

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Физико-технологический институт

ФИЗИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
ФТИ-2022

**IX Международная молодежная научная конференция,
посвященная 100-летию со дня рождения
профессора С. П. Распопина**

Екатеринбург, 16-20 мая 2022 г.

Тезисы докладов

Екатеринбург
2022

УДК 001.895:621.039 (063)
ББК 22.31я43+24.13я43+32.97я43
Ф 48

Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2022. [Электронный ресурс]: тезисы докладов IX Международной молодежной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора С. П. Распопина, Екатеринбург, 16-20 мая 2022 г. / отв. за вып. А. В. Ищенко. – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – 18 Мбайт. 1 электрон. опт диск (CDROM).

ISBN xxx-x-xxxx-xxxx-x

В сборнике опубликованы тезисы устных, стендовых, дистанционных и заочных докладов, представленных на традиционной научной конференции Физико-технологического института УрФУ молодых ученых, аспирантов, соискателей и студентов IX Международной молодежной научной конференции, Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2022, посвященной 100-летию со дня рождения профессора С. П. Распопина. На конференции обсуждаются вопросы по перспективным направлениям развития науки и техники. Конференция проводится при поддержке Физико-технологического института УрФУ и Эндаумент фонда «Физтех».

Редакционная коллегия: *И. С. Жидков, Е. Д. Нархов, И. В. Кашин, М. Д. Пышкина, Е. А. Бунтов, В. С. Семенищев, А. С. Дедюхин, М. И. Сутормина, А. А. Смирнов, Д. А. Метелев, А. В. Ищенко.*

УДК 001.895:621.039 (063)
ББК 22.31я43+24.13я43+32.97я43

ISBN xxx-x-xxxx-xxxx-x

©УрФУ, 2022
©Авторы, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1 Ядерные и радиационные технологии	54
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	
<i>Абдуллина А.Э.</i>	<i>55</i>
ВЫБОР СОРБЕНТА МАРКИ «ТЕРМОКСИД» ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА $^{68}\text{Ga}/^{68}\text{Ge}$	
<i>Белых И.С., Денисов Е.И.</i>	<i>57</i>
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ СЛОЖНО ДЕТЕКТИРУЕМЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ТРО	
<i>Десятов Д.Д., Екидин А.А.</i>	<i>59</i>
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДА С ХЛОРИДОМ САМАРИЯ В СРЕДЕ СОЛЕВЫХ РАСПЛАВОВ	
<i>Дорошенко Д.А., Рыжов А.А., Волкович В.А.</i>	<i>61</i>
ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО БАРЬЕРА ЯДРА НА ЗАМЕДЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ	
<i>Ермаков Д.А., Вольский В.И., Ошканов Н.Н.</i>	<i>63</i>
РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ОТВС В БАСЕЙНАХ ВЫДЕРЖКИ	
<i>Глухов С.М., Ширманов И.А., Стругов Е.Д., Тарасов А.Д., Шумков Д.Е., Та Ван Тхьонг, Ташлыков О.Л.</i>	<i>65</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПАХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ	
<i>Гоглачев А. В., Мясникова В. А.</i>	<i>67</i>
ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В НЕОДНОРОДНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЯХ С ПОСЕЩЕНИЕМ ЗАДАННЫХ ТОЧЕК	
<i>Григорьев А.М., Ташлыков О.Л., Кропачев Ю.А.</i>	<i>69</i>
УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КАМПАНИИ ТОПЛИВА РЕАКТОРА КЛТ-40С ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОСТАВА СТАРТОВОЙ ЗАГРУЗКИ	
<i>Юрченко М.Д., Балачков М.М., Белявский С.В.</i>	<i>71</i>
МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ	
<i>Кадочникова Е.Р., Екидин А.А.</i>	<i>73</i>

РЕАКЦИЯ СИНТЕЗА МОЛИБДЕНА ИЗ ТИТАНА <i>Кащенко Н.М., Кащенко М.П., Смирнов М.Б., Чепелев Ю.Л., Илюшин В.В., Николаева Н.В., Пушин В.Г.</i>	75
НЕЙТРОННО-ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ НОЖЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБНАРУЖЕННЫХ В КРЕПОСТИ УЗУНДАРА <i>Юлдашев Б.С., Таиметов М.Ю., Исматов Н.Б., Хакимов Ж.Б., Пидаев Ш.Р., Шахриёров Ш.Т.</i>	77
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЁННОЙ ДОЗЫ В РАЗНЫХ СРЕДАХ ДЛЯ ГАММА- ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕРАВАЛТ В ЦЯМИО <i>Комилов М.М., Калонов А.А., Айткалиев С.М., Айткалиев Ж.К.</i>	79
РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНЫ <i>Кораблев Д.А., Бреусова А.А., Бессонов И.А., Таилыков О.Л.</i>	82
РАДИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТАЛЫХ ПРИДОРОЖНЫХ ВОД В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ <i>Кривополенов Н.В., Гошев А.А.</i>	84
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОПНОЙ КИНЕТИКИ В ПЕТЛЕ РЕАКТОРА МБИР С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ ТОПЛИВОМ <i>Кузенкова Д.С., Бландинский В.Ю.</i>	86
ЭПР-ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБИРОК ДЛЯ ВЗЯТИЯ КРОВИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА <i>Максимова Т.А., Рябухин О.В., Иванов Д.В.</i>	88
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Мельникова А.С., Балачков М.М., Белявский С.В.</i>	90
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМЕРИЦИЯ 241 <i>Михалев А.В., Коробейников В.В.</i>	92
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ВЕТРОВОМ ПОДЪЕМЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ С БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ТЕЧЕНСКОГО КАСКАДА ВОДОЕМОВ <i>Назарович А.В., Екидин А.А., Антонов К.Л., Васянович М.Е.</i>	94

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫБРОСОВ ИНЕРТНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Никитенко Е.И., Екидин А.А., Кружалов А.В. 96

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫХОДА ОСНОВНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПЛИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ

Ротман Д.Н., Шабельников Е.В. 98

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА НА ГРАНИЦЕ ПОЛЯРНОЙ И НЕПОЛЯРНОЙ СРЕДЫ

Румянцева Д.А. 100

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ АЭС

Костарев В.С., Ширманов И.А., Щеклеин С.Е. 102

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИИМИДА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОБЕДНЁННОГО УРАНА

Смыков М.С., Литовченко В.Ю., Чалпанов С.В., Бессонов И.А., Лезов А.Д., Ташлыков О.Л. 104

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СТЕКОЛ С ДОБАВЛЕНИЕМ ОКСИДА НИОБИЯ

Стругов Е.Д., Ширманов И.А., Аладаилах М.В.А., Ташлыков О.Л., Глухов С.М. 106

РОЛЬ ВИРТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОПТИМИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА

Завадский Д.И., Ташлыков О.Л. 108

Секция 2 Физика конденсированного состояния 111

РАСЧЁТ СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ ОБРАЗЦОВ СНЯТЫХ ПОД ЗАЩИТНОЙ ПЛЕНКОЙ

Адамова А.В., Денисова О.В. 112

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ МОНЕТ ИЗ КРЕПОСТИ УЗУНДАРА МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ

Адизов С.М., Таиметов М.Ю., Исматов Н.Б., Юлдашев Б.С., Пидаев Ш.Р. 114

ПРЕЦЕССИЯ И КОРРЕЛЯЦИЯ ПУЛЬСАЦИЙ В СТРУЕ ВСКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ	
<i>Акашев А.А., Решетников А.В., Скоков В.Н., Панов Г.В.</i>	117
НАБЛЮДЕНИЕ ЯРКО-ЖЕЛТОЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ БРОМИДА СВИНЦА СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА	
<i>Сарычев М.Н., Ахатов М.В., Семенова О.И., Жевстовских И.В.</i>	119
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ Co_xTe ВБЛИЗИ ЭКВИМОЛЯРНОГО СОСТАВА	
<i>Акрамов Д.Ф., Селезнева Н.В., Шишкин Д.А., Баранов Н.В.</i>	121
ВЛИЯНИЕ НАТРИЯ НА ДЕФЕКТНОСТЬ И ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ЛИТИЙ-МАГНИЕВОГО ФОСФАТА	
<i>Акулов Д.А., Калинин М.О., Келлерман Д.Г., Абашев Р.М., Сюрдо А.И., Медведева Н.И.</i>	123
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ ПО АДСОРБЦИИ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ НАНОКЛАСТЕРОВ ZnO НА Si (111) ПОВЕРХНОСТИ	
<i>Альжанова А.Е.</i>	125
РАЗДЕЛЕНИЕ СПЕКТРОВ СЕЧЕНИЯ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ТОНКИХ ПЛЁНОК АЛЮМИНИЯ НА ВКЛАДЫ ОБЪЁМНОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРИРОДЫ	
<i>Андрющенко Т.А., Хохлова Т.Н., Паршин А.С.</i>	127
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАДИНАМИКИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИНТЕЗА ЦЕПОЧЕЧНЫХ СТРУКТУР	
<i>Арсланов К.П., Бунтов Е.А.</i>	129
БРИЗЕРНОЕ РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ КЛЕЙНА- ГОРДОНА В ПЕРЕДЕЛЕ МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ	
<i>Бадикова П.В., Завьялов Д.В., Конченков В.И.</i>	131
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ ZnWO_4 , ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ УГЛЕРОДА С ЭНЕРГИЕЙ 19,2 МЭВ	
<i>Бакыткызы А., Даулетбекова А.К., Попов А.И., Баубекова Г., Лисицын В.М., Здоровец М.В.</i>	133
RESEARCH OF HETEROANNIHILATION DYNAMICS IN MATRICES WITH DIFFERENT TOPOLOGY	
<i>Baratova A.A., Baktybekov K.S.</i>	135

ИСКАЖЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ $TbFe_2Mn_x$ ($0 \leq x \leq 0.4$)	
<i>Барташевич А.М., Герасимов Е.Г., Терентьев П.Б., Инишев А.А., Гавико В.С.</i>	137
ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ МЕТАЛЛ-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СУБОКСИДА КРЕМНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ	
<i>Бацанов С.А., Вдовин В.И., Гутаковский А.К., Замчий А.О., Баранов Е.А.</i>	139
STUDY OF THE IRON STATE IN PHARMACEUTICAL PRODUCTS USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY	
<i>Belyaev D.V., Moskvitin V.S., Alenkina I.V., Oshtrakh M.I.</i>	141
ПОЛИМЕРНЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ИК-ДИАПАЗОНА	
<i>Бессонова В.А., Наумов С.В., Телегин А.В.</i>	143
ТУННЕЛЬНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В СИСТЕМЕ ЯН-ТЕЛЛЕРОВСКИХ КОМПЛЕКСОВ В КРИСТАЛЛАХ ФЛЮОРИТА ДОПИРОВАННЫХ ИОНАМИ МЕДИ	
<i>Сарычев М.Н., Бондаревская А.С., Уланов В.А., Егранов А.В., Жевстовских И.В., Аверкиев Н.С., Гудков В.В.</i>	145
ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОНО- И ПОЛИКРИСТАЛЛОВ $MnBi_2Te_4$	
<i>Перевалова А.Н., Борболин А.Д., Наумов С.В., Марченкова Е.Б., Хуан Дж.К.А., Марченков В.В., Подгорных С.М.</i>	147
ОСТАТОЧНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ВАКАНСИЯМИ	
<i>Бородин К.И., Волков В.А.</i>	149
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА АКТИВАЦИИ РЕАКТИВНОГО ГАЗА НА СТЕПЕНЬ ДИССОЦИАЦИИ И ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ ДУГОВОГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ И СЕКЦИОННЫМ АНОДОМ	
<i>Брюханова Ю.А., Меньшаков А.И.</i>	151
ЭФФЕКТ ОБМЕННОГО СМЕЩЕНИЯ В ПЛЁНКАХ ТИПА $FeMn/FeNi$: ЭКСПЕРИМЕНТ И МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
<i>Быкова А. А., Горьковенко А.Н., Кулеш Н.А., Васьковский В.О.</i>	153
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ TiO_2-Ag ФОТОХИМИЧЕСКОЙ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ	
<i>Чжоу В.Р., Бакина О.В., Сулиз К.В.</i>	156

РОСТ НАПРЯЖЕННЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК InGaAsN НА ПОДЛОЖКЕ GaAs И Si МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ <i>Девяцкий О.В., Никулин Д.А.</i>	158
СИНТЕЗ И АТТЕСТАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ g-C ₃ N ₄ /TiO ₂ <i>Дорошева И.Б., Ремпель А.А.</i>	161
СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОПРОВОДОВ 3D-ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ МАТРИЦЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ <i>Дрягина А.Е., Горьковенко А.Н., Кулеш Н.А., Васьковский В.О.</i>	163
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОБСТВЕННЫХ И ПРИМЕСНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРОЗРАЧНЫХ НАНОКЕРАМИКАХ MgAl ₂ O ₄ :Cr ³⁺ <i>Дутов В.А., Киряков А.Н., Дьячкова Т.В., Тютюнник А.П., Зацепин А.Ф.</i>	166
ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА КОНВЕКТИВНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ВЕРТИКАЛЬНО ЗАВИХРЕННОЙ ЖИДКОСТИ <i>Бурмашева Н.В., Дьячкова А.В.</i>	168
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ПОВЕДЕНИЯ УСЛОЖНЕННОГО СПИНОВОГО ВЕНТИЛЯ, ОПИСЫВАЕМОГО АНИЗОТРОПНОЙ МОДЕЛЬЮ ГЕЙЗЕНБЕРГА <i>Егорова А.С., Прудников П.В.</i>	170
ПОЛОСКОВЫЙ МИКРОНАГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ 3 – ОМЕГА МЕТОДА <i>Федотов В.А., Тамбасов И.А., Горнаков М.О., Неделин С.В., Золотовский Н.А.</i>	172
ПРИМЕНЕНИЕ БУФЕРНЫХ СЛОЁВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ В ПЛЁНКАХ Cr-Mn/Fe <i>Фещенко А.А., Москалев М.Е., Лепаловский В.Н., Степанова Е. А., Васьковский В.О., Кравцов Е. А.</i>	174
ЭФФЕКТ КАТИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ MgAl ₂ O ₄ <i>Гаев С.С., Киряков А.Н., Щапова Ю.В., Сулейманов С.Х., Зацепин А.Ф.</i>	177
RECIPROCAL SPACE STUDY OF HEISENBERG EXCHANGE INTERACTIONS IN FERROMAGNETIC METALS <i>Kashin I. V., Gerasimov A., Mazurenko V. V.</i>	179
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОВУШЕК В КЕРАМИКАХ Al ₂ O ₃ -BeO <i>Герасимов М.Ф., Никифоров С.В., Ананченко Д.В., Штанг Т.В.</i>	181

ЭФФЕКТ АНИЗОТРОПИИ ФОРМЫ В МИКРОПОЛОСКАХ СПИНОВЫХ КЛАПАНОВ С СИНТЕТИЧЕСКИМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОМ	
<i>Гермизина А. А., Наумова Л. И., Миляев М. А., Павлова А. Ю.</i>	183
ЛОКАЛЬНОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА НЕПОЛЯРНОМ СРЕЗЕ НИОБАТА ЛИТИЯ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ ОТ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА	
<i>Грешняков Е.Д., Турыгин А.П., Пряхина В.И., Шур В.Я.</i>	185
FERRO-ANTIFERROMAGNETIC TRANSFORMATION IN $\text{La}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ AT LOW TEMPERATURES	
<i>Haneen M Alsafi, Pirogov A.N.</i>	187
ACTIVATION ENERGY OF THE JAHN-TELLER COMPLEXES IN $\text{CaF}_2:\text{Cu}^{2+}$ CRYSTAL	
<i>Sarychev M.N, Hosseney W.A.L., Ulanov V. A., Egranov A. V, Zhevstovskikh I.V, Averkiev N.S, Gudkov V.V</i>	189
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ И УСЛОВИЙ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ	
<i>Иевлева Е.В., Коротков Л.Н.</i>	190
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ К ЧАСТИЧНО-СМЕШИВАЮЩЕЙСЯ СМЕСИ С НКТР В ОПЫТАХ ПО ИМПУЛЬСНОМУ НАГРЕВУ	
<i>Игольников А.А., Рютин С.Б., Скрипов П.В.</i>	192
СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ	
<i>Ильяшенко И.Н., Мартемьянов Н.А, Камалов Р.В., Вохминцев А.С., Ищенко А.В., Вайнштейн И.А.</i>	194
МАГНИТОСТРИКЦИЯ В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ TbCo_2Mn_x	
<i>Инишев А.А., Герасимов Е.Г., Терентьев П.Б., Мушников Н.В.</i>	196
МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОЛИКЕТОНА ОБЛУЧЕННОГО ГАММА-КВАНТАМИ Co^{60}	
<i>Таиметов М.Ю., Саидов Р.П., Исматов Н.Б., Абдаминов А.Б.</i>	198
РАДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ГИДРОКСИАПАТИТА	
<i>Иванов Д.В., Байтимиров Д.Р., Слесарев Г.П., Наугольных В.Е., Конев С.Ф.</i>	201

ВЫСОКОСПИНОВОЕ СОСТОЯНИЕ ИОНОВ Fe В ГЕКСАФЕРРИТАХ $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ <i>Кантур И.Э., Яρμοшенко Ю.М., Долгих В.Е., Кузнецова Т.В., Живулин В.Е.,</i> <i>Винник Д.А.</i>	203
ПОКРЫТИЕ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЭФФЕКТА САЛЬВИНИИ <i>Капустин С.Н., Цыкарева Ю. В.</i>	205
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КЕРАМИК ОКСИДА МАГНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СИНТЕЗА <i>Касаткина Я.П., Ананченко Д.В., Никифоров С.В., Лисицын В.М., Голковский М.Г.</i>	206
НЕТРИВИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ДВУМЕРНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛОВ СТАНДАРТНЫХ ГЕОМЕТРИЙ <i>Кашин И.В.</i>	208
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ $\text{Bi}_{2-x}\text{Cr}_x\text{Se}_3$ С $x=0.1, 0.3$ И 0.6 <i>Хачатрян А.Ш., Чарная Е.В., Марченков В.В.</i>	210
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНОСТИ НЕРВНЫХ КЛЕТОК АДАПТИРОВАННЫМ МЕТОДОМ РАВНОВЕСНОЙ ДИНАМИКИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ <i>Кашин И.В., Хасанова А.С.</i>	212
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИЯ В ПРОВОДЯЩЕМ СИЛИЦИДЕ МАРГАНЦА, В РАМКАХ ПЕРВОПРИНЦИПНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Кильметов А.Ю., Кашин И.В.</i>	213
МОРФОЛОГИЯ И МИКРОСТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ MgAl_2O_4 :GRAPHENE <i>Киряков А.Н., Михайлович А.П., Дьячкова Т.В., Тютюнник А.П.</i>	214
МАГНИТОУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПИРОХЛОРЕ $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ <i>Клековкина В.В.</i>	217
ПРИМЕНЕНИЕ REDD ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ХАОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Клименко В.А.</i>	219
МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$ <i>Комарова В.А., Носова Н.М., Шерокалова Е.М.</i>	220

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛАСТИН С РАЗЛИЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ <i>Костин А.А., Капустин С.Н., Волков А.С.</i>	222
НАНОРАЗМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ, ВЫРАЩЕННЫЕ В АМОРФНЫХ МИКРОПРОВОДАХ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА ДЛЯ МАГНИТНЫХ СЕНСОРОВ <i>Козлов И.В., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Гудошников С.А.</i>	224
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК As-Se, ЛЕГИРОВАННЫХ ИТТЕРБИЕМ <i>Мочалов Л.А., Кудряшов М.А., Логунов А.А., Прохоров И.О., Вишивцев М.А., Кудряшова Ю.П., Малышев В.М.</i>	227
ПОВЫШЕНИЕ СХОДИМОСТИ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ МОДЕЛИ ИЗИНГА ПРИ ПОМОЩИ REDD <i>Кукушкин Д.Е., Кашин И.В.</i>	230
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛАСТИНАХ МЕТОДАМИ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ <i>Кузиев И.В., Долгобородов Д.А.</i>	232
ВЛИЯНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКИХ ДВУСЛОЙНЫХ ЖИДКОСТЕЙ <i>Ларина Е.А., Бурмашева Н.В.</i>	234
ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНВЕРТЕРЫ СВЕТА НА ОСНОВЕ МЕЗОГЕННЫХ В-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ <i>Лещёва А.А., Зиятдинова Р.М., Крупин А.С., Галеева А.И., Князев А.А., Галяметдинов Ю.Г.</i>	236
SHAPE TRANSFORMATION OF COPPER NANOPARTICLES IN WATER COLLOID DURING AGING <i>Lisjikh V.I., Pryakhina V.I., Shur V.Ya.</i>	238
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНИЛИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ТЕПЛОВЫХ АККАМУЛЯТОРАХ НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ <i>Логинова А.С., Капустин С.Н.</i>	240
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ FE ₂ С С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ <i>Майбах Е.А., Кашин И.В.</i>	242

MAGNETIC PROPERTIES OF FENI FILMS DEPOSITED BY OBLIQUE SPUTTERING AT DIFFERENT GROWTH CONDITIONS	
<i>Makarochkin I.A., Lepalovskij V.N., Pasyukova A.A., Feshchenko A.A., Kurlyandskaya G.V., Svalov A.V.</i>	244
РАССЕЯНИЕ АТТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛАХ	
<i>Макарова К.А.</i>	246
УПРАВЛЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПОДВОДЕ ПРИМЕСИ	
<i>Маковеева Е.В.</i>	248
PHASE TRANSITIONS IN TERBIUM OXIDE NANOPOWDERS SYNTHESIZED BY LASER ABLATION UNDER VARIOUS BUFFER GASES	
<i>Maksimov R.N., Platonov V.V., Shitov V.A., Yurovskikh A.S.</i>	250
МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Nd-Fe-B, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ	
<i>Мальцева В.Е., Уржумцев А.Н., Андреев С.В., Волегов А.С.</i>	252
LOW-TEMPERATURE LUMINESCENT SPECTROSCOPY AND CHARGE TRANSFER PROCESSES IN NANOMETER DIELECTRIC FILMS OF HAFNIUM-ZIRCONIUM-OXYGEN	
<i>Mamonov A.A., Sarychev M.N., Gritsenko V.A., Pustovarov V.A.</i>	254
MULTICOLOR EMISSION IN Gd ₂ O ₃ FILMS IMPLANTED WITH Bi IONS	
<i>Mamonov A.P., Kuznetsova Yu.A., Zatsepin A.F., Gavrilov N.V.</i>	256
ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА	
<i>Мартемьянов Н.А., Ильяшенко И.Н., Камалов Р.В., Вохминцев А.С., Ищенко А.В., Вайнштейн И.А.</i>	258
КВАНТОВО-КЛАССИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ	
<i>Матицев А.И., Бунтов Е.А.</i>	260
АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОДЕЛИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЛОВУШЕК	
<i>Мережников А.С., Никифоров С.В.</i>	262
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОТЕЧЕНИЙ ГАЗА	
<i>Михеева В. М., Токманцев В. И.</i>	264

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КОНКУРЕНЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ АНИЗОТРОПИИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИСЛОЙНЫХ СТРУКТУР	
<i>Минькова А.В., Прудников П. В.</i>	265
КОМПОЗИТНЫЙ ЭФФЕКТ В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОМ СЕЛЕНИДЕ ЖЕЛЕЗА	
<i>Мозговых С.Н., Баранов Н.В., Селезнева Н.В.</i>	267
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ MoS ₂ /WS ₂	
<i>Муксунов Н.Я.</i>	269
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ПЛОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛИМЕРАХ	
<i>Мусихин А. Ю., Зубарев А. Ю.</i>	271
ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВЕРХРЕШЕТКИ CoFeNi/Cu С КОНЦЕНТРАТОРАМИ МАГНИТНОГО ПОТОКА	
<i>Найданов И. А., Миляев М. А.</i>	273
ИНДУЦИРОВАННАЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДЕГРАДАЦИЯ Li _{3,95} Mn _{0,05} Ti ₅ O ₁₂	
<i>Никифоров А.А., Пелегов Д. В.</i>	275
СКОРОСТЬ РОСТА ОБЪЕМА ЧАСТИЦЫ В ОДНОКОМПОНЕНТНОМ И БИНАРНОМ РАСПЛАВАХ	
<i>Никишина М. А., Александров Д. В.</i>	277
ПАРАМАГНИТНЫЕ СПИНОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ И ТЕРМОЭДС ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Fe _{1-x} Co _x Si	
<i>Повзнер А.А., Волков А.Г., Бессонов С.А., Ноговицына Т.А.</i>	279
ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЯ И СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДВУХАТОМНОЙ МОЛЕКУЛЕ	
<i>Окилов Б.Р., Джалилов Ф., Мирзоев Д.Н., Шодиев Ш.Ш.</i>	281
INFLUENCE OF HIGH-CURRENT PULSED ELECTRON BEAM SURFACE TREATMENT ON TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF NON-EQUIMOLAR Al-Co-Cr-Fe-Ni HIGH-ENTROPY ALLOY	
<i>Osintsev K.A., Kononov S.V., Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Panchenko I.A.</i>	283
ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	
<i>Осипенко Е.А., Шарынов К.А.</i>	285

LUMINESCENT DOWNSHIFTING COLLOIDAL QUANTUM DOTS FOR LARGE-AREA SOLAR CELLS	
<i>Ospanova A.K., Eralieva A.A., Auelkan T., Kabdrashov Z., Kizatov M., Kuralbay A., Ryskeldy S., Kainarbay A.Z.</i>	287
ПОИСК И СИНТЕЗ НОВЫХ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ МАГНЕТИКОВ НА ОСНОВЕ Fe_3GeTe_2	
<i>Пальцева А.И., Селезнева Н.В., Баранов Н.В.</i>	289
МЕХАНИЗМЫ ПРОВОДИМОСТИ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЕ $[(Co_{40}Fe_{40}B_{20})_{34}(SiO_2)_{66}/ZnO]_{112}$	
<i>Панков С.Ю., Жилова О.В., Макагонов В.А., Фошин В.А., Бабкина И.В.</i>	291
MAGNETIC AND MAGNETOIMPEDANCE IMPEDANCE PROPERTIES OF COBALT-BASED AMORPHOUS RIBBONS WITH DIFFERENT GEOMETRIES	
<i>Pasynkova A.A., Timofeeva A.V., Lukshina V.A., Kurlyandskaya G.V.</i>	293
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИКОСЕКУНДНЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОЙ КОМПРЕССИИ ЭНЕРГИИ	
<i>Патраков В.Е.</i>	295
ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОТУБУЛЯРНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	
<i>Петренёв И.А., Вохминцев А.С., Камалов Р.В., Вайнштейн И.А.</i>	297
СИГНАЛЫ ЭПР НАБЛЮДАЕМЫЕ В МЕЛАНОПРОТЕИНОВОМ ВОЛОКНЕ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
<i>Подшивалов А.П., Байтимиров Д.Р., Конев С.Ф., Иванов Д.В.</i>	299
РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАНОКОМПОЗИТОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МАКСВЕЛЛА-ГАРНЕТТА И БРУГГЕМАНА	
<i>Потапова И.И., Яцьишен В.В.</i>	301
DEVELOPING A NEW EFFECTIVE MAGNETIC MODEL OF Fe_3GeTe_2 BASED ON AB-INITIO CALCULATIONS	
<i>Pushkarev G.V., Badrtdinov D. I., Yakovlev, I. A., Mazurenko V. G., Rudenko A. N., Mazurenko V. V.</i>	304
МОДЕЛИРОВАНИЕ СПИНОВЫХ СИСТЕМ С КОНКУРИРУЮЩИМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО	
<i>Пятков А.Ю., Панов Ю.Д., Улитко В.А.</i>	306

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ СОЕДИНЕНИЙ $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$	
<i>Аникин М.С., Тарасов Е.Н., Рагозина М.В., Потапов Е. В., Незнахин Д.С., Зинин А.В. ...</i>	307
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ КЕРАМИК Al_2O_3 , ОБЛУЧЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ C^+/H^+	
<i>Рамазанова Г.Р., Ананченко Д.В., Никифоров С.В., Баталов Р.И., Баязитов Р.М., Новиков Г.А.</i>	310
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ ИЗ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА, ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК	
<i>Разуева Д.А, Мальцева В.И., Андреев С.В., Волегов А.С., Степанова Е.А.</i>	312
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ МЕЗОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ(III) В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Романова К.А., Галяметдинов Ю.Г.</i>	314
АТТЕСТАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ $LiNi_{0.1}Co_{0.9}PO_4$	
<i>Ромашко П.Е., Семкин М.А.</i>	316
ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ОБЛУЧЕННОЙ СТЕАТИТОВОЙ КЕРАМИКИ SnO_2 МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ	
<i>Нуритдинов И., Саидахмедов К.Х., Эсанов З.У., Мажидов Х.М., Ирсов Ш.</i>	318
ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ InP/ZnS	
<i>Савченко С.С., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.</i>	320
ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО СЛОЯ $Cr_{20}Mn_{80}$ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕЖСЛОЙНОЙ СВЯЗИ В ПЛЁНКАХ $Cr_{20}Mn_{80}/Fe_{20}Ni_{80}$	
<i>Северова С.В., Фещенко А.А., Москалев М.Е., Лепаловский В.Н, Горьковенко А.Н, Васьковский В.О.</i>	322
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ И ИСКУССТВЕННЫХ СТРУКТУР НА ЭФФЕКТЫ ГИСТЕРЕЗИСА В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ	
<i>Шакиров Р.С., Прудников П.В.</i>	324
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ K_2SO_4 С ПРИМЕСЯМИ ВЫРАЩЕННЫХ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА	
<i>Шамиева Р.К., Нурахметов Т.Н, Толеков Д.А.</i>	326

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЯ $WMnB_2$ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ <i>Щанов В.А., Чукин А.В.</i>	328
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОСФОРЕНА МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ <i>Шеин Д.В., Завьялов Д.В., Жариков Д.Н.</i>	330
КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НАНОТРУБОК ДИОКСИДА ГАФНИЯ <i>Шилов А.О., Камалов Р.В., Карабаналов М.С., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.</i>	332
ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР Mg/C <i>Смирнов А. Н., Стогней О.В., Касаткин Н. А., Еровинков К. С.</i>	334
ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНАТА ЦИНКА <i>Старостин Г.Н., Звонарева И.А., Медведев Д.А., Звонарев С.В.</i>	336
АКТИВИРОВАННАЯ ВОЛЬФРАМОМ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ФТОРИДОВ МЕТАЛЛОВ <i>Стрелкова А.В., Жунусбеков А.М., Лисицына Л.А.</i>	338
САМОДИФУЗИЯ ВДОЛЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ ЗЕРЕН НАКЛОНА В ОЦК-ВОЛЬФРАМЕ <i>Ступак М. Е., Уразалиев М. Г., Попов В. В.</i>	340
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА, РАЗДЕЛЕННЫХ МЕДНОЙ ПЛАСТИНОЙ <i>Сухачев. Р.А., Мамонова М.В.</i>	342
СТРЕЙН-МАГНИТО-ОПТИКА В МАГНИТОСТРИКЦИОННОЙ ФЕРРИТ-ШПИНЕЛИ $CoFe_2O_4$ <i>Суржиков Е.А., Сухоруков Ю.П.</i>	344
ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ Mg-Al ШПИНЕЛИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ДИНАМИКА РЕШЕТКИ <i>Сушанек Л.Я., Щапова Ю.В., Киряков А.Н., Сулейманов С.Х., Зацепин А.Ф.</i>	346
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЕМЕЙСТВА A_2MnTeO_6 ($A = Li, Ni, Ag, Tl$), ОПРЕДЕЛЁННЫЕ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ ПОРОШКОВОЙ ДИФРАКЦИИ <i>Суслопарова А.Е., Курбаков А.И.</i>	348

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАНОСИСТЕМ В РЕЖИМЕ ПЕРЕДАЮЩИХ И ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Кашин И.В., Сырников Е.В. 350

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЧЕТВЕРНЫХ ГРАНАТОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ТРЕХВАЛЕНТНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Таврунов Д.А., Досовицкий Г., Гордиенко Е., Коржик М., Пустоваров В.А. 352

BROADBAND MICROWAVE ABSORPTION IN CO-BASED AMORPHOUS RIBBONS

Timofeeva A.V., Volchkov S.O., Pasynkova A.A., Melnikov G. Yu., Kurlyandskaya G.V. 354

INVESTIGATION OF THE LUMINESCENT CHARACTERISTICS OF Li_2SO_4 CRYSTAL GROWN FROM AQUEOUS SOLUTION

Tolekov D.A., Nurakhmetov T.N., Shamiyeva R.K. 356

PHASE TRANSITION BOUNDARY DYNAMICS IN THE PRESENCE OF CRYSTALS NUCLEATION

Makoveeva E.V., Zhukova, O. M., Alexandrov D.V., Toropova L.V. 358

СТРУКТУРА ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ (CoFeZr)-(MgF)

Трегубова Т.В., Стогней О.В., Трегубов И.М. 360

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЯДА БЕНЗОТИЕНОАЦЕНОВ

Трофимова К.Е., Ищенко А.В., Устюжанина Ю.Э., Иргашев Р.А., Вайнштейн И.А. 362

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ФАЗ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Цепилов М.В., Никифоров С.В. 364

ПРОСТЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ КВАНТОВОЙ ЗАПУТАННОСТИ НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ФОТОНОВ

Цыкарева Ю.В., Макаров Д.Н. 366

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ДО И ПОСЛЕ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ

Тютрин А.А., Мартынович Е.Ф. 368

САМО-ДИФфуЗИЯ ВДОЛЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ БОЛЬШЕУГЛОВЫХ ГРАНИЦ ЗЕРЕН НАКЛОНА В ГЦК-НИКЕЛЕ

Уразалиев М.Г., Ступак М.Е., Попов В.В. 369

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В СПЕЧЁННЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$	
<i>Уржумцев А.Н., Мальцева В.Е., Волегов А.С.</i>	371
ПЛАЗМОННЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ШПИНЕЛИ MgAl_2O_4	
<i>Вагапов А. Ш., Киряков А. Н., Зацепин А. Ф.</i>	373
ОСОБЕННОСТИ ЗАКОНОВ ДИСПЕРСИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН И ОКОН ПРОЗРАЧНОСТИ В КВАНТОВЫХ НАНОПРОВОЛОКАХ	
<i>Василевский Ф.А.</i>	375
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{Nd}:(\text{Y}_x\text{Gd}_{1-x})_2\text{O}_3$ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СРЕД	
<i>Васин Д.А., Максимов Р.Н., Осипов В.В., Шитов В.А.</i>	377
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЁВ, СОЗДАНЫХ В КОРУНДЕ ИК-ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ	
<i>Волошин А.М., Сюрдо А.И., Абашев Р.М.</i>	379
СВОЙСТВА И БИОСОВМЕСТИМОСТЬ КОЛЛОИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА КАДМИЯ	
<i>Воронцова Е.С., Кузнецова Ю.В., Улитко М.В., Ремпель С.В.</i>	382
ДЕФОРМАЦИЯ ИЗГИБА И МАГНИТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА СПИНОВОГО КЛАПАНА НА ПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКЕ	
<i>Захаров А.А., Наумова Л.И., Миляев М.А., Максимова И.К.</i>	384
Секция 3 Приборостроение и робототехника	386
РАЗРАБОТКА БЛОКА ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДЯНОЙ БАНИ НА БАЗЕ ARDUINO UNO R3	
<i>Чичигина Е.Е., Лагунов А.Ю.</i>	387
СРАВНЕНИЕ РЕЛЕЙНОГО И ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРОМ	
<i>Чупин И.А.</i>	389
СОЗДАНИЕ КРИОКАМЕРЫ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАДИОУРОВНЕМЕРОВ	
<i>Чупин М.М., Латыпов Р.Р., Нурмухаметов Р.Р.</i>	391

СЧИТЫВАТЕЛЬ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МАССИВОВ СЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АНАЛИТЫ В ГАЗАХ	
<i>Чувашов Р.Д., Хохлов К.О., Вербицкий Е.В., Баранова А.А.</i>	393
ПРАКТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ GPS-ПРИЕМНИКОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ	
<i>Евдокимов В.В., Киселев В.А., Сапунов В.А., Нархов Е.Д., Сергеев А.В.</i>	395
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН	
<i>Ищенко Е.А., Пастернак Ю.Г., Пендюрин В.А., Фёдоров С.М.</i>	397
СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ (МЗИ)	
<i>Фофанов А.С., Шмидберский П.А., Шмидберская А.А.</i>	399
ДВУХФАЗНАЯ СИСТЕМА ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ С КАПИЛЛЯРНЫМ НАСОСОМ	
<i>Фоменко В.Е., Кисеев В.М., Судаков Р.Г.</i>	401
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ	
<i>Смирнов В.И., Сергеев В.А., Гавриков А.А.</i>	403
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ ФОТО-, РАДИО-, ТЕРМО- И ОПТИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЛЮМИНЕСЦЕНТНО АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛАХ	
<i>Горев Н.Д., Бояринцев А.И., Абашев Р.М., Сюрдо А.И.</i>	405
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ПРИ МАГНИТНОМ МЕТОДЕ КОНТРОЛЯ	
<i>Шлеенков А.С., Пастухов А.Б., Губанов Я.В.</i>	407
РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ ПЛОСКАЯ РЕФЛЕКТОРНАЯ АНТЕННА НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЫ	
<i>Баранников И.А., Ischenko E.A., Fedorov S.M.</i>	410
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОЧКИ КЮРИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ (РЕГУЛИРОВАНИЯ) ТЕМПЕРАТУРЫ	
<i>Иванов И.А., Савин П.А.</i>	412
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Кочнев А.В., Трофимова С.Ю., Ригмант М.Б., Корх М.К.</i>	414

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЗОНДЫ ДЛЯ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И ТЕРМОГРАФИИ	
<i>Тураби А., Корсакова Е.А., Акифьева Н.Н., Корсаков А. С., Жукова Л. В., Южакова А.А., Салимгареев Д. Д., Львов А. Е.</i>	416
A SIMPLE WAY OF DECREASING THE AMOUNT OF PHOTO/VIDEO DATA WHILE TRANSMITTING VIA UNDERWATER COMMUNICATION SYSTEMS	
<i>Kuznetsov V. V.</i>	418
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ВЫСОКИМ ДИАПАЗОНОМ ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ	
<i>Кузовлева А.А., Хохлов К.О.</i>	420
ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАРЯДА ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ «РАДАН 303»	
<i>Лисовский Д.А., Осипенко Е.А.</i>	422
РАЗРАБОТКА АНАЛОГОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ПРИБОРА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЦВЕТА ПОВЕРХНОСТИ	
<i>Муродова С.Н., Орлов А.В., Бардюг Д.Ю., Елимова Т.В.</i>	424
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ В ПЛАНЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ	
<i>Шлеенков А.С., Пастухов А.Б., Губанов Я.В.</i>	427
УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ	
<i>Полетаев Д.А., Соколенко Б.В., Присяжнюк А.В., Якубов С.И.</i>	430
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТНЫХ УЧАСТКОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	
<i>Пухов Д.А., Ромащенко М.А., Васильченко Д.В.</i>	432
ПРОГРАММА РАСЧЕТОВ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ДЛЯ НАКЛОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ЭХО-МЕТОДЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ	
<i>Рябухин М.О., Бирюков Д.Ю., Зацепин А.Ф.</i>	434
DIRECT STATISTICAL SIMULATION OF RAREFIED GAS FLOW IN CHANNELS OF VARIABLE CROSS-SECTION	
<i>Sazhin A.</i>	436
УНИВЕРСАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ	
<i>Сертаков В.В., Прохоров Д. Л.</i>	438

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПЕЧАТНЫХ АНТЕНН	
<i>Шишкин М.С.</i>	440
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕХНИКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОТОКА	
<i>Сидельников М.С., Вещунов И.С., Винников Л.Я.</i>	443
СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ	
<i>Симонов Н.А., Моисейкин Е.В., Устьянцев Ю.Г.</i>	445
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ГРУППЫ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ НЕЗНАКОМОГО ОБЪЕКТА ТИПА ЛАБИРИНТ	
<i>Субботин Н.В., Чудинова К.В.</i>	448
ИЗМЕРЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ В СТАЛИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ИТС С УЧЕТОМ ПОЛУЧЕННОГО ОПЫТА	
<i>Суханов А.Ю.</i>	450
ЛАБОРАТОРНАЯ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА	
<i>Баранова А.А., Суворова О.И., Хохлов К.О.</i>	452
ФОРМИРОВАТЕЛЬ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЗАПУСКА ГАЗОРАЗРЯДНОГО ГЕНЕРАТОРА ПОТОКА ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ	
<i>Торопов Ф.А., Щербинин С.В., Бекетов И.В.</i>	454
ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМАЯ НАГРУЗКА	
<i>Унзвигский Г.И., Моисейкин Е.В., Устьянцев Ю.Г.</i>	455
РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОНЦЕНТРАЦИЕЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И МЕТЕОПАРАМЕТРАМИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА	
<i>Васильева Д.Е., Гуляев Е.А., Маркелов Ю.И., Поддубный В.А., Щелканов А.А., Гадельшин В.М.</i>	457
МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СТЫКОВЫХ ШВОВ В ТОНКИХ ПЛАСТИНАХ ВОЛНАМИ ЛЭМБА	
<i>Васильев А.В., Бирюков Д.Ю., Зацепин А.Ф.</i>	459
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ	
<i>Артамонов Е.В., Костив В.М., Воронин В.В.</i>	461

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ	
<i>Зиядиев Р.Р., Масленникова Ю.С., Шерстюков О.Н.</i>	463
Секция 4 Химические технологии	465
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВАЛИДАЦИЯ CFD-МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ БАРБОТАЖНОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ CO ₂	
<i>Кирьянов В.А., Абаимов Н.А., Рыжков А.Ф.</i>	466
КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ «ОДНОСТЕННАЯ УГЛЕРОДНАЯ НАНОТРУБКА – НЕОРГАНИЧЕСКИЙ ИНТЕРКАЛЯНТ»	
<i>Анучин Н.М., Еняшин А.Н.</i>	468
ICP-OES ELEMENTAL VARIATION ON BOTTLED DRINKING WATER	
<i>Awad H. A., Zakaly H. M., El-Taher A.</i>	470
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ Се И Sn МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРЕХМАРШРУТНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ	
<i>Бакшеев Е.О., Аликин Е.А., Денисов С.П., Машковцев М.А.</i>	471
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СУСПЕНЗИИ НА СВОЙСТВА ЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ХОДЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ	
<i>Баженова Е.С., Машковцев М.А.</i>	473
АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВА LiF-BeF ₂ В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ	
<i>Бекмансурова Л.И., Домбровская М.А., Лисиенко Д.Г.</i>	475
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГ Sr-90 В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ	
<i>Белоконова Н.В., Воронина А.В.</i>	477
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ РУТИЛ И ЕГО СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ As(III)	
<i>Белозерова А.А., Печищева Н. В., Валеева А.А., Сушникова А.А., Петрова С.А., Шуняев К.Ю., Ремпель А.А.</i>	479
ЛЕГИРОВАНИЕ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА СВИНЦА МАРГАНЦЕМ Mn ²⁺	
<i>Бельцева А.В., Маскаева Л.Н., Марков В.Ф., Поздин А.В.</i>	481

ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ СЕРЕБРА В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ NaCl–KCl–CsCl	
<i>Бессонова Д.А., Иванов А.Б., Волкович В.А.</i>	483
ВОДОРОДНЫЕ ИНИЦИАТИВЫ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	
<i>Бичевина Е.А.</i>	485
ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЯ pH НА СВОЙСТВА ГИДРОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ХОДЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ	
<i>Буйначев С.В., Поливода Д.О.</i>	487
КАТИОННАЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЯ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА $\text{Eu}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$	
<i>Черепанова Л.А., Эстемирова С.Х., Митрофанов В.Я., Упоров С.А.</i>	489
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ИОНОВ ВАНАДИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВАХ МЕТОДАМИ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ	
<i>Чернышов М.В., Ребрин О.И., Половов И.Б.</i>	491
ПЕРЕРАБОТКА УРАНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КОНВЕРСИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ	
<i>Демидов Р.М., Титова С.М., Наливайко К.А., Скрипченко С.Ю.</i>	493
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ МОДЕЛЬНОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ НА ОТРАБОТАННОМ КАТАЛИЗАТОРЕ ГИДРООЧИСТКИ	
<i>Докучаев И. С., Максимов Н. М.</i>	495
СИНТЕЗ КТ ДОПИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ	
<i>Дүйсенбай Б.А., Дауренбеков Д.Х., Мыктыбаева М.Б, Акжалбекова А.Е.</i>	497
СОСТАВ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ ПЛЕНОК CdPbS	
<i>Селянина А.Д., Дёмина Д.А., Поздин А.В., Маскаева Л.Н., Марков В.Ф.</i>	499
ADAPT AND MAKE ACCESSIBLE THE TRI-N-OCTYLPHOSPHINE-ASSISTED SILAR METHOD	
<i>Eralieva A.A., Ospanova A.K., Abdillaeva A., Kagazbek A., Kainarbay A.Z.</i>	501
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОНКОСЛОЙНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФИДА КАДМИЯ	
<i>Ермолаева В.Д., Семенищев В.С.</i>	503

СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА И ПЛАТИНЫ В ШЛАКЕ ПРИ ПЛАВКЕ СУЛЬФИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Амдур А.М., Федоров С.А.</i>	505
СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3$ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАУРИНОВОЙ КИСЛОТЫ <i>Галиаскарова М.Р., Машиковцев М.А., Бакшеев Е.О., Степанова М.Ю.</i> ,	507
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСАЖДЕНИЯ НА КРУПНОСТЬ ЧАСТИЦ ФТОРИДА НЕОДИМА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ <i>Гасимова А. Ф., Щетинский А.В., Дедюхин А.С., Машиковцев М.А.</i>	509
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ СОЕДИНЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ НА ПРИМЕРЕ ВИТАМИНОВ С И Е <i>Газизуллина Е.Р., Старчеусова В.А., Герасимова Е.Л., Иванова А.В.</i>	511
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ПРИ ПАРОВОМ РИФОРМИНГЕ МЕТАНА В ПРОГРАММЕ DWSIM <i>Голдобин Т.А., Никитин А.Д., Рыжков А.Ф.</i>	513
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАКЦИИ НА ПРОЦЕСС ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛАНТАНА И АКТИНИЯ ИЗ КОЛЛЕКТИВНОГО РАСТВОРА РЗЭ <i>Гордеева М.А., Кириллов Е.В., Кириллов С.В.</i>	515
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИСУЛЬФАТОВ И ГИБРИДОВ НА ОСНОВЕ Y-Eu <i>Гордеев Е.В., Гордеева М.А., Косых А.С., Харисова К.А., Поливода Д.О., Машиковцев М.А.</i>	517
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА ФЕРМЕНТИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАДРУПОЛЬНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА <i>Губина Е.В., Чередникова А.А., Зайцева А.Ю., Титов Ю.А., Кузьмин А.Г.</i>	519
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЗНОЙ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР НА ИЗМЕНЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБКЕ ВЫПАРНОГО АППАРАТА ПЛЕНОЧНОГО ТИПА <i>Гушиамова В. Н., Хомяков А. П., Морданов С. В., Хомякова Т. В.</i>	521
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЯ PH ОСАЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ <i>Исмагулов Д.Б.</i>	524

ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ <i>Иванцова М.Н., Нейн Ю.И.</i>	526
ПЕРЕРАБОТКА УРАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КОНВЕРСИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ АЗОТНОКИСЛОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ <i>Кабаков А.С., Титова С.М., Наливайко К.А., Скрипченко С.Ю.</i>	528
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СИНТЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ MoS ₂ НА ПОВЕРХНОСТИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ <i>Калинина В.В., Конопацкий А.С., Барилюк Д.В., Штанский Д.В.</i>	530
ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСОВ Ag(I) С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ И БЕНЗОТРИАЗОЛОМ <i>Камышева А.А., Асанова М.С., Жилин А.С., Ребрин О.И.</i>	532
КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА ВО ФТОРИДАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ <i>Карташова Е.С., Данилов Д.А., Ившина А. А., Половов И. Б.</i>	534
ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЛИТИЕВОБОРАТНЫХ РАСПЛАВОВ <i>Хохряков А.А., Арсланов К.П.</i>	536
ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ МЫШЬЯКА(III) НА МОНТМОРИЛЛОНИТЕ <i>Холманских И. А., Белозерова А.А., Ординарцев Д.П., Печищева Н.В., Шуняев К.Ю.</i>	538
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗАХ <i>Хорькова А.Н., Данилов Д.А.</i>	540
СОРБЦИЯ УРАНА ВИНИЛПИРИДИНОВЫМИ АНИОНИТАМИ ИЗ СМЕШАННЫХ СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ <i>Конькова А.В., Новиков И.В., Титова С.М., Рычков В.Н.</i>	542
РАЗРАБОТКА ГЕТЕРОГЕННЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ И ДВУМЕРНОГО НИТРИДА БОРА <i>Конопацкий А.С., Калинина В.В., Барилюк Д.В., Штанский Д.В.</i>	544
ПРИМЕНЕНИЕ БИОМИКРОГЕЛЕЙ® ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА <i>Косенкова А.Р., Куимов В.М.</i>	546
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА СЛОИСТЫХ ГИДРОКСИДОВ ГАДОЛИНИЯ-ТЕРБИЯ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВ ГИБРИДНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ <i>Косых А.С., Алёшин Д.К., Гордеев Е.В.</i>	548

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА <i>Козлова М.М., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н.</i>	550
ВЫБОР СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБМЕННЫХ РЕАКЦИЙ <i>Крылосов А.В.</i>	552
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГАЗОФАЗНОГО СИНТЕЗА КРЕМНИЯ <i>Кудякова В.С., Шишкин Р.А.</i>	554
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ И ДИФФУЗИИ МИКРОКОЛИЧЕСТВ РАДИЯ-224 ТОНКОСЛОЙНЫМИ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА МАРГАНЦА <i>Куляшова Е.Н., Семенищев В.С.</i>	556
DEEP EUTECTIC SOLVENTS BASED ON CHOLINE CHLORIDE AND POLYOLS AS 'GREEN' EXTRACTANT FOR AZEOTROPIC MIXTURES <i>Liubichev D.A.</i>	558
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПЕЧНОГО И КОВШЕВОГО ШЛАКОВ <i>Лобанов Д.А., Шешуков О.Ю., Егиазарьян Д.К.</i>	559
РАЗРАБОТКА ГИДРОФОБНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ <i>Малых М.А., Жилин А.С., Ребрин О.И.</i>	561
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВОВ НИКЕЛЯ С ТЕЛЛУРОМ МЕТОДАМИ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ХРОНОПОТЕНЦИОМЕТРИИ <i>Маркелов В.И., Телешев А.Ю., Иванов В.А., Половов И.Б., Волкович В.А.</i>	563
КИНЕТИКА КАРБОНИЗАЦИЯ ЗОЛЫ-УНОСА МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНОГО ЗАВОДА ДЛЯ СЕКВЕСТРАЦИИ CO ₂ <i>Масленников Г.Е., Матюхина А.К., Рыжков А.Ф.</i>	565
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ХЛОРАМФЕНИКОЛА НА ПЛАНАРНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕКТРОДАХ В МИКРОЯЧЕЙКЕ <i>Медведева М.В., Козырина Ю.А., Свалова Т.С., Козицина А.Н.</i>	567

ЭКСТРАКЦИЯ МО ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ НИКЕЛЬ-АЛЮМО-КОБАЛЬТОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Меркучева К.А., Малышев А.С., Дюрягин В.В., Кириллов С.В., Кириллов Е.В.,
Бочкарева Ж.С..... 569

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАТРИЕВОЙ СОЛИ 2-МЕТИЛТИО-6-НИТРО-7-ГИДРОКСИ-4Н-1,2,4-ТРИАЗОЛО-4,7-ДИГИДРО[5,1-С]-1,2,4-ТРИАЗИНИД МОНОГИДРАТА

Можаровская П.Н., Ивойлова А.В, Иванова А.В., Козицина А.Н., Русинов В.Л..... 571

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ РАФИНИРОВАНИЕ УРАНОВЫХ СПЛАВОВ В РАСПЛАВАХ $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$

Никитин Д.И., Половов И.Б., Мухамедьянов А.Д., Волкович В.А., Ребрин О.И..... 573

ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

Наливайко К.А., Скрипченко С.Ю., Титова С.М. 574

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЕКАТЕРИНБУРГА И СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Насонова Ю.И., Семенцев В.С. 576

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОТЕНЦИАЛА СПЛАВОВ U-Pd В РАСПЛАВАХ $3\text{LiCl}-2\text{KCl}-\text{UCl}_3$

Никитин Д.И., Половов И.Б., Фофанов Г.Л., Фурта А.П., Волкович В.А.,
Ребрин О.И..... 578

LIPOSOMES LOADED WITH A NOVEL ANTITUBERCULAR COMPOUND; OPTIMIZATION AND CHARACTERIZATION STUDIES

Obiedallah M.M., Mironov M.A. 580

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД, ПОЧВ И РАСТЕНИЙ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Окунева Т.Г., Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Солошенко Н.Г., Панкрушина Е.А.,
Рянская А.Д., Уразова К.К., Сидорук А.Р., Карпова С.В..... 582

СОРБЦИЯ Sr-90 ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ И РАСТВОРОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КАРБОНАТ-ИОНОВ

Онуфриева А.В., Воронина А.В. 584

УСЛОВНЫЙ СТАНДАРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПАЛЛАДИЯ В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ $\text{LiCl}-\text{KCl}-\text{CsCl}$

Осипенко А.А. 586

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ХЛОРАЛЮМИНАТА КАЛИЯ	
<i>Палаева Т.В., Данилов Д.А., Ившина А.А., Половов И.Б.</i>	588
СОВМЕСТНОЕ ОСАЖДЕНИЕ ФОСФАТОВ СТРОНЦИЯ, БАРИЯ И ГАДОЛИНИЯ ИЗ РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ХЛОРИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Павлова Е.А., Иванов А.Б., Волкович В.А.</i>	590
ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ СРАВНЕНИЯ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ ФТОРИДОВ ЛИТИЯ, НАТРИЯ И КАЛИЯ ДЛЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ РФА	
<i>Печищев И.В., Абрамов А.В., Ребрин О.И., Шихалева М.А.</i>	592
УСТОЙЧИВОСТЬ ЭФФЕКТА ИЗМЕНЕНИЯ PH ПРИ ИНФРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ВОДУ	
<i>Пентюхин Е.И., Богатов Н.А., Болдырев В.С., Савина А.С., Зоткин А.П.</i>	594
КИНЕТИКА СОРБЦИИ СКАНДИЯ И ПРИМЕСЕЙ КАТИОНИТОМ PUROLITE S957 ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ИЗ ГИДРОЛИЗНОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ	
<i>Пикуло А.А., Наливайко К.А., Титова С.М., Кириллов Е.В.</i>	597
ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЯ PH НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОЛИЗА СУЛЬФАТИРОВАННОГО ЦИРКОНИЯ	
<i>Поливода Д.О., Гордеев Е.В., Харисова К.А., Машковцев М.А.</i>	599
ДЕСОРБЦИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ НАСЫЩЕННОГО АНИОНИТА PUROLITE A830 РАСТВОРАМИ АММИАКА	
<i>Потоцкая С.И., Титова С.М., Буньков Г.М.</i>	601
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ХРОМОМ НА МОРФОЛОГИЮ ПЛЕНОК PbS	
<i>Поздин А.В., Маскаева Л.Н., Марков В.Ф.</i>	603
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Мочалов Л.А., Прохоров И.О., Логунов А.А., Кудряшов М.А., Вшивцев М.А., Спивак Ю.М., Князев А.В., Мошников В.А., Буланов Е.Н., Пряхина В.И.</i>	605
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИОКСИДА ЦЕРИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЗЭ	
<i>Пронина М.О., Бакшеев Е.О., Машковцев М.А., Бажукова И.Н.</i>	608
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ В ФОТОКАТАЛИЗЕ ЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА НА ПОРИСТОМ СУБСТРАТЕ	
<i>Радайкин Д.Г., Бобков А.А.</i>	610

СОРБЦИЯ НЕПТУНИЯ-237 НА ТОНКОСЛОЙНЫХ СОРБЕНТАХ <i>Рогожников В.А., Семенцев В.С.</i>	612
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ВЫСОКОЧИСТЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ <i>Львов А.Е., Южакова А.А., Салимгареев Д.Д., Жукова Л.В., Корсаков А.С.</i>	613
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ Ni-In <i>Звягинцева А.В., Самофалова А.С.</i>	615
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА НА БАЗЕ МНОГОПЕРИОДНЫХ РАСЧЕТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Савина А.А.</i>	617
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СТАЛЯХ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА С УЧЕТОМ МАТРИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ И СПЕКТРАЛЬНЫХ НАЛОЖЕНИЙ <i>Шихалева М.А., Абрамов А.В., Печищев И.В., Шак А.В.</i>	619
A NOVEL FUEL REACTOR WITH A RETURN VALVES CASCADE FOR THE CHEMICAL LOOPING WITH OXYGEN UNCOUPLING PROCESS <i>Shishkin R.A.</i>	621
ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЛИКОЛИДА ОТ ЕГО ЧИСТОТЫ <i>Шмелева А. В., Пономарева Н. А., Ишмухаметова А. Ф., Спиридонова Р.Р.</i>	623
РАЗДЕЛЕНИЕ МОЛИБДЕНА И РЕНИЯ НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТАХ <i>Печищев Н.В., Коробицына А.Д., Скрыльник М.Ю., Булдакова Ю.О., Ординарцев Д.П.</i>	625
СТОХАСТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ БОЛЬШИХ АМПЛИТУД В ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ХОЛОДНОПЛАМЕННОГО ГОРЕНИЯ СМЕСИ УГЛЕВОДОРОДОВ <i>Слепухина Е.С., Ряшко Л.Б.</i>	627
ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗА В РАСПЛАВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ ФТОРИДОВ ЛИТИЯ, НАТРИЯ И КАЛИЯ <i>Смирнова В.В., Волкович В.А.</i>	629

DEPENDENCE OF ALUMINUM OXIDE SORPTION PROPERTIES ON DEPOSITION pH VALUE AND COHERENT SCATTERING REGION SIZES <i>Solodovnikova P.A., Mashkovtsev M.A.</i>	631
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛИНЕЙЧАТОЙ ГРАДУИРОВКИ ПРИ АТОМНО-ЭМИССИОННОМ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ФЕРРОБОРА <i>Спевак Р.А., Зайцева П.В., Пупышев А.А., Шуняев К.Ю.</i>	632
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ГАЛЛИЯ И ГЕРМАНИЯ НА СОРБЕНТАХ МАРКИ «ТЕРМОКСИД» <i>Спицина А.В., Денисов Е.И.</i>	634
ОПРЕДЕЛЕНИЕ Cs-137 В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ И ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ <i>Суетина А.К., Воронина А.В.</i>	636
СТАДИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СТРОНЦИЯ-90 И ИТТРИЯ-90 В МЕТОДИКЕ ЭКСПРЕССНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРОНЦИЯ-90 В ВОДНЫХ ПРОБАХ <i>Тарасовских Т.В., Недобух Т.А.</i>	638
ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЛИЙСОДЕРЖАЩИХ ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ <i>Токарев О.В., Волкович В.А.</i>	640
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДА ФОСФОРА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИОБИЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ <i>Кель И.Н., Заякин О.В., Ренев Д.С., Толмачев М.</i>	642
АНТИКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА СПЛАВЕ Д16 СПОСОБОМ ПЭО <i>Чан Ван Туан, Хабибуллина З.В., Ракоч А.Г.</i>	644
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНДИЯ ИЗ СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ТВЕРДЫМИ ЭКСТРАГЕНТАМИ <i>Трофимов А.В., Свирский И.А., Титова С.М.</i>	646
СИНТЕЗ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ЛАНТАНОМ И ГАДОЛИНИЕМ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ <i>Тюшняков М.И.</i>	648
РАСТВОРИМОСТЬ ДВОЙНОГО СУЛЬФАТА СКАНДИЯ - ЦЕЗИЯ В СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ <i>Вармаховская Е.С., Медянкина И.С., Пасечник Л.А.</i>	650

СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХАЛЬКОГЕНИДОВ КАДМИЯ
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТАНДЕМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ

*Мочалов Л.А., Логунов А.А., Кудряшов М.А., Вишневцев М.А., Прохоров И.О., Теруков Е.И.,
Бобыль А.В., Аболмасов С.Н., Пряхина В.И. 652*

ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ЦИРКОНИЯ И СПЛАВОВ ЦИРКОНИЙ-ГАЛИЙ
В РАСПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ LiCl-KCl-CsCl

Яковлев А.В., Солдатова М.Н., Волкович В.А. 654

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Яркова Е.А., Газизуллина Е.Р., Герасимова Е.Л., Иванова А.В. 656

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ДЛЯ
РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Южакова А.А., Салимгареев Д.Д., Львов А.Е., Жукова Л.В., Корсаков А.С.,
Южаков И.В., Барыкина С.Е. 658*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ШЛИКЕРА НА
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ 5Y-ZrO_2

Жестева А. Н., Харисова К. А., Жиренкина Н.В. 660

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ФТОРИД-ИОНОВ НА
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЦИРКОНИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВАХ

Жикина М.В., Рыжов А.А., Волкович В.А. 662

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СУЛЬФАТИРОВАНИЯ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА
СВОЙСТВА КЕРАМИКИ

Жиренкина Н.В., Харисова К.А., Поливода Д.О., Карташов В.В. 664

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА
ОСНОВЕ ФТОРИДОВ ЛИТИЯ И БЕРИЛЛИЯ МЕТОДОМ АТОМНОЙ ЭМИССИИ С
ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

Зотова Э.Л., Лисиенко Д.Г., Домбровская М.А. 666

Секция 5 Материаловедение 668

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ $\text{BaLaIn}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$)

Абакумова Е.В., Галишева А.О., Тарасова Н.А., Анимца И.Е. 669

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ AlN НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА МЛ12

Ахмадиева А.А., Кахидзе Н.И., Мубараков Р.Г., Жуков И.А. 671

СИНТЕЗ И ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОПЛОТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
СТАННАТОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ТВЕРДОФАЗНЫМ МЕТОДОМ
СИНТЕЗА

Акопян М.Т., Звонарева И.А., Медведев Д.А......673

RESEARCH OF PHYSICAL, OPTICAL AND RADIATION SHIELDING ABILITIES
OF ZINC OXIDE (ZnO) FILLED POLYDIMETHYLSILOXANE

*Aladailah M. W., Tashlykov O.L., Volozheninov T.P., Kaskov D.O., Iuzbashieva K. S.,
Al-Abed R., Bozeza A., Al naimi A.*.....675

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФИКСАЦИИ
ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ И
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЯМИ ВРАЩЕНИЯ

Аникеев А.Н., Алексеев И.А......677

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СПЛАВА ХН62М В
РАСПЛАВЛЕННОЙ СОЛИ НА ОСНОВЕ LiCl

*Алимгулов Р.Р., Абрамов А.В., Трубченинова А.И., Половов И.Б., Золотарев Д.А.,
Беликов С.В., Жиляков А.Ю., Попкова Д.С.*.....679

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФАЗ В СИСТЕМАХ
Eu₂O₃-(Ba, Co)O-Fe₂O₃

Альхамова А.Д., Волкова Н.Е., Гаврилова Л.Я., Черепанов В.А......681

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА УГЛЕРОДНОГО «ЗАГРЯЗНЕНИЯ» НА ФАЗОВЫЙ
СОСТАВ КЕРАМИК, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО
ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Андреев П.В., Дрожилкин П.Д., Сметанина К.Е., Алексеева Л.С......683

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ СОСТАВА Ba₅In_{1.9}Ca_{0.1}Al₂ZrO_{12.95} И
Ba₅In_{1.9}Zr_{0.1}Al₂ZrO_{13.05}

Андреев Р.Д., Анимица И.Е......685

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЕРАМИКИ Gd_{2-x}Mg_xZr₂O_{7-δ}
С РАСПЛАВАМИ LiCl-Li₂O И LiF-NaF-KF

*Анохина И.А., Павленко О.Б., Карфидов Э.А., Никитина Е.В., Анимица И.Е.,
Зайков Ю.П.*.....687

MACHINE LEARNING INTERATOMIC POTENTIAL FOR CoCrFeMnNi IN WIDE
PRESSURE-TEMPERATURE RANGE

Balyakin I.A., Rempel A.A......689

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР ZnO/h-BN

Барилюк Д. В., Конопацкий А. С., Калинина В. В., Штанский Д. В......691

ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАСТЫ ДЛЯ ПАЙКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ВОЛНОВОДОВ ВЫСОКИХ ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ <i>Базан Д.А., Горохов Ю.В., Усков И.В., Божко Д.Н., Иванов А.В.</i>	693
ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕНИЯ НА СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ВНЕЗЕМНОМ ВЕЩЕСТВЕ <i>Бегунова А.С., Яковлев Г.А., Камалов Р.В., Гроховский В.И.</i>	695
ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ В СИСТЕМЕ $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{--BaO--CoO}$ <i>Беляева М.В., Базуева М.В., Волкова Н.Е., Гаврилова Л.Я.</i>	698
СИНТЕЗ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ СТРОНЦИЙ ЗАМЕЩЕННЫХ СЛОИСТЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$ <i>Черемисина П.В., Галишева А.О., Тарасова Н.А., Анимцица И.Е., Кремеш Х.</i>	700
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ <i>Рыжков М. А., Данилов С. В., Урцев Н. В., Лобанов М. Л.</i>	702
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОСФОРЗАМЕЩЕННЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ НА ОСНОВЕ ЦИРКОНАТА КАЛЬЦИЯ <i>Давлетбаев К., Галишева А.О., Тарасова Н.А.</i>	704
ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ <i>Дрожилкин П.Д., Андреев П.В., Алексеева Л.С., Болдин М.С., Мурашов А.А., Щербак Г.В.</i>	705
СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОИЛИТА ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ РАЗНЫХ ТИПОВ <i>Дюндик С.С., Максимова Е.М., Наухацкий И.А., Петрова Е.В.</i>	707
ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ЛАЗЕРНОЙ 3D ПЕЧАТЬЮ, НА ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИОННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ <i>Ежов И.В., Коэмец Ю.Н., Казанцева Н.В., Давыдов Д.И., Афанасьев С.В., Меркушев А.Г.</i>	709
СИНТЕЗ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ДОПИРОВАННЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ НА ОСНОВЕ $\text{BaNd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ СО СТРУКТУРОЙ РАДДЛЕСДЕНА-ПОППЕРА <i>Федорова И.С., Галишева А.О., Тарасова Н.А., Анимцица И.Е.</i>	711

ПРЕДСКАЗАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ УДВОЕННЫХ ПОЛУ-ГЕЙСЛЕРОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	
<i>Филанович А.Н., Повзнер А.А.</i>	713
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СОЛЕВОЙ СИСТЕМЫ KI-KBr-K ₂ CO ₃ -K ₂ SO ₄	
<i>Финогенов А.А., Фролов Е.И.</i>	715
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
<i>Гибдуллина А.Ф., Хотинов В.А., Ребрин О.И.</i>	717
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНЛИЗА ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ГИГРОСКОПИЧНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЛЕЙ	
<i>Ившина А.А., Чукин А.В., Денисова О.В., Половов И.Б., Ребрин О.И.</i>	718
ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg-Er, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРИДНОЙ ЛИГАТУРЫ	
<i>Кахидзе Н. И., Селиховкин М. А., Синкина И. Л.</i>	720
СТРУКТУРА И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ YAG:Ce, Gd, Ga КЕРАМИКИ СИНТЕЗИРОВАННОЙ РАДИАЦИОННЫМ СПОСОБОМ	
<i>Жилгильдинов Ж.С., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Жунис Е., Мусаханов Д.А.</i>	722
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА КЕРМЕТНОГО КАТОДА ТОЭ	
<i>Харисова К.А., Гордеев Е.В., Поливода Д.О., Жестева А.Н.</i>	724
ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ И КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	
<i>Хорошавцева Н.В., Поимцева В.Ю., Денисова Э.И., Карташов В.В., Денисова О.В., Марков А.А.</i>	726
ИНДУЦИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ НЕСВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОЕДИНЕНИЯ Fe _{1.1} Te ДОПИРОВАНИЕМ ХАЛЬКОГЕНИДАМИ ТИТАНА	
<i>Кислов Е.В., Селезнева Н.В., Баранов Н.В.</i>	728
СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ИЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ МИКРОСФЕР ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА	
<i>Кох Д., Шабанова К.А., Шабанова О.В.</i>	730

АНАЛИЗ НА АУКСЕТИЧНОСТЬ БЕТА-ТВЕРДОГО РАСТВОРА С ОЦК-РЕШЕТКОЙ В БИОСОВМЕСТИМЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ <i>Корнев А.А., Литшван Р.Н., Илларионов А.Г.</i>	732
РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПРОТИВ КАВИТАЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОКОРОЗИЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОГО ОКРАСА С ДОБАВЛЕНИЕМ УНТ <i>Коршаков Н.А.</i>	735
РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>Котенков П. В., Гилев И.О., Попова Э.А., Подкин Е.С.</i>	737
ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ЖИДКОГО РАСПЛАВА ПРИ АБЛЯЦИИ ОКСИДА ИТТРИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННОГО ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА <i>Кременецкий М.В., Осипов В.В., Евтушенко Г.С., Платонов В.В., Тихонов Е.В., Васнев Н.А., Гембух П.И., Тригуб М.В., Кочурин Е.А.</i>	739
МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН НИТРИДОМ ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARC PVD МЕТОДА <i>Куклин И.Э., Хлебников Н.А., Поляков Е.В., Барашев Н.Р., Здоровец М.В., Козловский А.Л.</i>	741
НОВЫЙ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ: СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА <i>Кузнецова Ю.В., Путилова В.Д., Попов И.Д.</i>	743
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРНА <i>Ланцев Е.А., Нохрин А.В., Чувильдеев В.Н., Сметанина К.Е., Мурашов А.А.</i>	745
ИССЛЕДОВАНИЕ УПАКОВОЧНЫХ ПЛЁНОК С ЭЛЕКТРЕТНЫМ ЭФФЕКТОМ <i>Лаврова Д.Д., Загидуллина И.А., Гужова А.А., Перушкина Е.В.</i>	747
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Леухин С.А., Шмидберский П.А.</i>	749
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ БИОСОВМЕСТИМОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ Ti-Nb НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА, ФОРМИРУЕМЫЕ ПРИ ОТЖИГЕ <i>Литшван Р.Н., Корнев А.А., Илларионов А.Г.</i>	751

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ In_2Se_3	
<i>Лобанов А.Д., Сулимов М.А., Сарычев М.Н., Корх Ю.В., Иванов В.Ю., Кузнецова Т.В., Бондарь И.В.</i>	753
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ $\text{La}_{1.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Ni}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_{4+\delta}$	
<i>Максимчук Т.Ю., Пикалова Е.Ю., Пикалов С.М., Филонова Е.А., Пикалова Н.С., Гилев А.Р., Яремченко А.А., Захарчук К.В.</i>	755
МЕТАМАТЕРИАЛЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ, АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ	
<i>Манько И.Д.</i>	758
ГИДРОДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ КАПЛИ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА В РАСПЛАВЕ ФЛЮСА	
<i>Матвеева М.А., Чуманов И.В., Сергеев Д.В.</i>	760
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДНАТЯНУТЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ЛОПАТОК ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ	
<i>Мелихов И.В.</i>	762
МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ МАРКИ ШХ15СГ ДЛЯ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
<i>Михайлов Л.В., Михайлов А.В., Костин В.Н., Смородинский Я.Г.</i>	764
IR SPECTROSCOPIC STUDY OF PHOTOSTIMULATED PROCESSES ON THE TITANIUM DIOXIDE SURFACE WITH ADSORBED CO MOLECULES	
<i>Mikheleva A.Y., Bulanin K.M., Rudakova A.V.</i>	766
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХОНДРИТОВ С ИЗМЕНЕННОЙ УДАРОМ СТРУКТУРОЙ	
<i>Муфтахетдинова Р.Ф., Гроховский В.И., Хотинков В.А., Яковлев Г.А., Брусницына Е.В.</i>	768
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖКРИСТАЛЛИТНЫХ ГРАНИЦ В СПЛАВЕ ВТ6	
<i>Насчетникова И.А., Степанов С.И.</i>	770
РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИКИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ОБЛУЧЕНИЮ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ	
<i>Назаров А.А., Нохрин А.В., Юнин П.А., Андреев П.В., Потанина Е.А.</i>	771

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ КОРПУСА КЛАПАНА-ОТСЕКATEЛЯ <i>Рыбалко С.В., Новгородов Д.В., Сурков А.Ю.</i>	773
ИССЛЕДОВАНИЕ $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}$ МЕТОДОМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В СИММЕТРИЧНОЙ ЯЧЕЙКЕ НА ОСНОВЕ $(\text{Ce}, \text{Sm})\text{O}_{2-\delta}$ <i>Ожиганов М.Э., Гилев А.Р., Киселев Е. А., Черепанов В.А.</i>	775
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{In}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_{2.95-0.5x}$ <i>Пачина С.П., Белова К.Г., Егорова А.В., Анимица И.Е.</i>	777
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni <i>Кириллова А.В., Коновалов С.В., Громов В.Е., Осинцев К.А., Иванов Ю.Ф., Панченко И.А.</i>	779
ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ <i>Павлов И.С., Куклин И.Э., Валиев Р.М., Зозуля С.Н.</i>	781
ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ СО СТРУКТУРОЙ МАГНЕТОПЛОМБИТА В РЕАКЦИЯХ ГОРЕНИЯ НИТРАТ-ОРГАНИЧЕСКИХ ПРЕКУРСОРОВ <i>Пермякова А.Е., Максимчук Т.Ю., Русских О.В., Остроушко А.А.</i>	783
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОВОДОВ СИСТЕМЫ AgBr – AgI <i>Пестерева П.В., Южакова А.А., Салимгареев Д.Д., Львов А.Е., Жукова Л.В., Корсаков А.С.</i>	785
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ ИЗ МИКРОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ <i>Пилюгина О.В., Нестерова И.А., Денисова Э.И., Карташов В.В.</i>	787
МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНОВ КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ Cu С Zr И Cu С Ti <i>Подкин Е.С., Котенков П.В., Гилёв И.О., Попова Э.А.</i>	789
ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ СЛОЖНООКСИДНЫХ МОЛИБДАТОВ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ <i>Политов Б.В., Сунцов А.Ю.</i>	791

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА СВАРКИ НА СТРУКТУРУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА С4	
<i>Попкова Д.С., Жилияков А.Ю., Беликов С.В., Казанцева Е.А., Пырин Д.В.</i>	793
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СТАБИЛЬНОСТЬ И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА КАДМИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ	
<i>Попов И.Д., Кузнецова Ю.В.</i>	795
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ $Fe_{0.6}Co_{0.4}@C$ МЕТОДОМ ЯМР	
<i>Прокопьев Д.А., Гермов А.Ю., Конев А.С., Голобородский Б.Ю., Курмачёв И.А., Суворкова Е.В.</i>	797
ДЕФОРМАЦИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ НАПЫЛЕНИИ НА МЯГКУЮ И ТВЕРДУЮ ПОДЛОЖКУ: СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И SRH- МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Рябинкина П.А.</i>	799
ФРАГИЛЬНОСТЬ ЩЕЛОЧНОБОРАТНЫХ РАСПЛАВОВ $xLi_2O-(100-x)B_2O_3$	
<i>Самойлова М.А., Хохряков А.А.</i>	801
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ НА ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К ЛОКАЛЬНЫМ УДАРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ	
<i>Седухин В.В., Чуманов И.В.</i>	803
ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ АЛМАЗА НА СТРУКТУРУ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВОГО СПЛАВА Mg-Ca-Zn	
<i>Селиховкин М.А., Валихов В.Д., Ефремов М.А.</i>	806
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НА ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ	
<i>Семенуха О.В., Воронина С.Ю.</i>	808
ON THE ISSUE OF NITROGEN SOLUBILITY IN CHROMIUM-NICKEL GRADES OF STEELS	
<i>Sergeev D.V., Sedukhin V.V., Anikeev A.N., Chumanov I.V.</i>	810
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ИНВЕРСНЫХ ОПАЛОВ ИЗ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ	
<i>Шабанова К.А., Кох Д., Шабанова О.В.</i>	812

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА	КАТИОННОГО ОКСИДОВ	СОСТАВА $\text{La}(\text{MnFeCoNiCu})\text{O}_{3-\delta}$	В-ПОДРЕШЕТКИ НА	
<i>Шаламова А. М., Баженова П. А., Сунцов А. Ю.</i>				814
ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОСТИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАКОВ СИСТЕМЫ $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОКСИДА ХРОМА				
<i>Бабенко А. А., Шартдинов Р. Р., Уполовникова А. Г., Сметанников А. Н., Лобанов Д. А.</i>				816
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКЭФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ОКСИБУТИРАТА И МАГНЕТИТА ПОСЛЕ БИОДЕГРАДАЦИИ IN VITRO				
<i>Шлапакова Л. Е., Чернозем Р. В., Прядко А. С., Сурменева М. А.</i>				819
КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ В СИСТЕМЕ $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{-BaO-Fe}_2\text{O}_3$				
<i>Шулаева Е. В., Волкова Н. Е., Гаврилова Л. Я.</i>				822
МЕХАНИЗМ ИОННОГО И МОЛЕКУЛЯРНОГО ТРАНСПОРТА В МЕМБРАНЕ НАФИОН ПО ДАННЫМ ЯМР				
<i>Слесаренко Н. А., Черняк А. В., Волков В. И.</i>				824
STUDY OF PHASE COMPOSITION HOMOGENEITY IN DEPTH OF TUNGSTEN CARBIDE CERAMICS PRODUCED BY SPARK PLASMA SINTERING				
<i>Smetanina K. E., Andreev P. V., Lantsev E. A., Vostokov M. M.</i>				826
ПОСЛОЙНЫЙ СИНТЕЗ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ MIG-PULSE-НАПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АУСТЕНИТНОЙ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ С АЗОТОМ				
<i>Смоленцев А. С., Березовский А. В., Трушников Д. Н., Пермьяков Г. Л.</i>				828
НАХОЖДЕНИЕ МНОЖЕСТВА ЗАСТОЙНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ				
<i>Просвиряков Е. Ю., Соколов А. С.</i>				831
ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРЕДЕЛЬНОЙ КРИВОЙ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ				
<i>Соколов Р. А., Новиков В. Ф., Муратов К. Р.</i>				833
ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЦИРКОНИЯ				
<i>Сухачев П. В., Черных С. Е., Костин В. Н., Комоликов Ю. И.</i>				835

- СИНТЕЗ, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ ($y=0.2, 0.3, 0.4$)
Суханов К.С., Гилев А.Р., Киселев Е.А., Черепанов В.А. 837
- ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ
СТРУКТУРУ ОКСИДА ТИТАНА Ti_3O_5
Дорошева И.Б., Сушникова А.А., Валеева А.А. 839
- ПОЛУЧЕНИЕ Co -СОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ
АМОРФНОГО SiO_2
Светлакова К.И., Медянкина И.С., Пасечник Л.А. 842
- МОРФОЛОГИЯ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Li-In СПЛАВА КАК
ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА АНОДА В ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ
ЛИТИЕВЫХ БАТАРЕЯХ
Ильина Е. А., Лялин Е. Д., Таланкин И. И., Филиппов Е. А., Панкратов А. А. 844
- ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗОЛОТОХЛОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЫ В ВОДНОЙ
СРЕДЕ
Теплякова Т.О., Конопацкий А.С. 846
- СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ
ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОГИДРАТА
 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М., Попова Е.С. 848
- КОРРОЗИОННЫЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СПЛАВОВ ТИПА NM20 В СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ НА ОСНОВЕ FLiNAK
*Трошина П.А., Абрамов А.В., Трубоченинова А.И., Алимгулов Р.Р., Половов И.Б.,
Гибадуллина А.Ф., Жилияков А.Ю., Хотинков В.А.,* 850
- ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА A7 , УПРОЧНЁННОГО ВОЛОКНАМИ БАЗАЛЬТА
Валихов В.Д., Хрусталёв А.П., Мирошкина В.Д. 852
- МЕТОД СИНТЕЗА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО КАРБИДА ПЕРЕХОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ В СОЛЕВОМ РАСПЛАВЕ
Вараксин А.В., Петрова С.А., Ремпель А.А. 854
- СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ
ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКА WC НА
АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ AMr6
Васильева М.П., Крылова Т.А. 856

SYNTHESIS, STRUCTURE AND CONDUCTIVITY OF SOLID SOLUTIONS BASED ON $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$ DOPED WITH CaO	
<i>Verinkina E.M., Egorova A.V., Belova K.G., Animitsa I.E.</i>	858
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{-SrO-CoO}$	
<i>Власова М.А., Маклакова А.В., Волкова Н.Е., Черепанов В.А., Иванов И.Л.</i>	860
РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА, ПОЛИУРЕТАНА С НАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ НАНОПОРОШКОВ ZnO/TiO_2	
<i>Воложенинов Т.П., Аладаилах М.В., Ташлыков О.Л., Касков Д.О., Юзбашиева К. Ш., Аль-Абед Р., Бозея А.</i>	862
OBTAINING AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF Ni-DOPED NANOTUBULAR TITANIUM OXIDE	
<i>Yuferov Y.V., Zykov F.M., Selyanin I.O., Kartashov V.V.</i>	864
МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ZrO_2 МЕТОДОМ НАМАЗКИ	
<i>Закиров И.Ф., Банных С.А., Шак А.В.</i>	866
СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ЦИРКОНАТОВ БАРИЯ ДОПИРОВАННОГО ИТТРИЕМ	
<i>Закирьянов П.О., Иванов И.Л., Цветков Д.С., Зуев А.Ю.</i>	868
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО МЕДЬ-НИОБИЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ИНСТРУМЕНТА	
<i>Зайцев Е.Ю., Спирин А.В., Крутиков В.И., Паранин С.Н., Заяц С.В., Колеух Д.С.</i>	870
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОЛУЭЛЕМЕНТОВ ТВЕРДОКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ МЕТОДОМ КАЛАНДРОВАНИЯ	
<i>Зебзеева А.А., Вылков А.И., Денисова Э.И.</i>	872
COBALT DOPED NANOTUBULAR TITANIUM OXIDE	
<i>Zykov F.M., Yuferov Y.V., Selyanin I.O., Kartashov V.V.</i>	874
Секция 6 Информационные системы и технологии	876
РЕАЛИЗАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО ОТБОРА НА ОСНОВЕ ТЕХНИК MAP REDUCE	
<i>Алексеева А.А.</i>	877

ПРОБЛЕМАТИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНУТРЕННИХ СИЛ ПО СЕЧЕНИЮ БРОНХОПЛАСТИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ ПРИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЯХ ЛЕГКИХ	
<i>Андреева С.Ю.</i>	879
AUTOMATIC APPLE LEAF DISEASES DETECTION AND CLASSIFICATION USING MULTILAYER CONVOLUTION NEURAL NETWORK	
<i>Antor Mahamudul Hashan, Rizu Md Rakib Ul Islam</i>	881
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО УЧЕТУ И ВЕДЕНИЮ РАЦИОНАЛИЗАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	
<i>Арсентьева А.В., Смирнов Г.Б., Гольдштейн С.Л., Летавин Г.Э.</i>	883
ПРОБЛЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ РЕЦИДИВИРУЮЩЕЙ ГЛИАЛЬНОЙ ОПУХОЛИ ОТ НЕКРОЗА ПО МРТ ИЗОБРАЖЕНИЯМ	
<i>Сурова Е. Е., Аскарлова Е.Ф., Соловьева С.Н.</i>	885
О ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДСКАЗЧИКА ПРИ ГРАВИРОВКЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ПАНЕЛЕЙ	
<i>Банников И. К., Гольдштейн С. Л.</i>	887
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ЧАТ-БОТА С КОРПОРАТИВНЫМИ БАЗАМИ ЗНАНИЙ И ВНЕШНИМИ СИСТЕМАМИ	
<i>Базаров В.Ж.</i>	889
СТОХАСТИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ В МОДЕЛИ МЕТАПОПУЛЯЦИИ, СВЯЗЫВАЮЩЕЙ РАВНОВЕСНУЮ И ХАОТИЧЕСКУЮ ПОДСИСТЕМЫ	
<i>Беляев А.В., Ряшко Л.Б.</i>	891
РЕШЕНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПРИ РАДИАЛЬНОМ ВЫТЕСНЕНИИ ЖИДКОСТИ В ЯЧЕЙКЕ ХЕЛЕ-ШОУ	
<i>Черноскутов А.С., Мартюшев Л.М.</i>	893
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА РН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ	
<i>Давыдов Д.Р., Антонов Д.О., Ковалева Е.Г.</i>	895
О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ ИТ-СПЕЦИАЛИСТА И ЕГО РУКОВОДИТЕЛЯ	
<i>Донцов О.Г., Гольдштейн С.Л., Грицюк Е.М.</i>	897
ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПАТОГЕНЕЗА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЯЗЫКАХ	
<i>Дордюк В.Д., Демичева Е.И., Ушенин К.С.</i>	899

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИТ-ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОВАНИЕМ ТОПЛИВА В ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ <i>Евсеенко А.С., Заплатин М.И., Смирнов Г.Б.</i>	901
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ <i>Фадеева А.Д., Касатиков Н.Н.</i>	904
РАЗРАБОТКА КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКА RAW С КАМЕРЫ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА В СТАНДАРТНОЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО <i>Фатеев А.С.</i>	906
УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА <i>Калиева А.А., Бекетов Г.Ш., Куракбай М.Б.</i>	908
ВИХРЕВЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОГО СЛОЯ ВОДЫ. ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ <i>Керекелица И.В., Мартюшев Л.М.</i>	910
АЛГОРИТМ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ НА ГРАФАХ <i>Халмакишинов Е.А.</i>	912
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ВАРИАНТОВ ВОПРОСОВ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА <i>Киселев В.А., Евдокимов В.В., Некрасов К.А., Денисова О.В.</i>	915
МОДЕЛЬ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ГАРМОНИК С МНОГОКРАТНЫМ ВЛОЖЕНИЕМ <i>Климов А.М., Кашин И.В.</i>	917
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПАТТЕРНЫ В МОДЕЛЯХ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ: МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТЬ, БАСЕЙНЫ ПРИТЯЖЕНИЯ, СТОХАСТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ <i>Колниченко А.П., Ряшко Л.Б.</i>	919
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИКУ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕДАЧ С УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ШАРНИРАМИ <i>Конюшевский А.В.</i>	921
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ДИОКСИДА УРАНА <i>Костарев Г.К., Бормотова О.В., Некрасов К.А.</i>	923

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ДИНАМИКИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ И ЕГО СВЯЗИ С ТЕОРИЕЙ ИГР	
<i>Ковалев А.А., Кашин И.В.</i>	924
VISUAL METAPHORS OF MATHEMATICAL OBJECTS AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN HIGH EDUCATION	
<i>Krochin A.L., Spitsin S.E., Krokhin L.A.</i>	926
КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА, ОСНОВАННАЯ НА МЕТОДЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Лисовенко А.С., Лимановская О.В.</i>	928
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ КООРДИНАТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
<i>Логунов А.В., Шлык Ю.К.</i>	930
СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА ОЦЕНКИ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЯ	
<i>Мальцев А.Ю., Гольдштейн С.Л., Грицюк Е.М.</i>	932
ПРОТОТИП И ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПОМОЩНИКА РАЗРЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ	
<i>Малышев П.В., Гольдштейн С.Л., Кудрявцев А.Г.</i>	934
ВЫБОР ПРОТОТИПА ДЛЯ СПОСОБА ВЫВОДА НА СЕМАНТИЧЕСКИХ ГРАФАХ	
<i>Моторин В.С., Гольдштейн С.Л., Кудрявцев А.Г.</i>	936
АНАЛИЗ ВЫЖИВАЕМОСТИ ПАЦИЕНТОВ ОНКОДИСПАНСЕРА ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНОЙ ЦИСТЭКТОМИИ	
<i>Огородникова С.Ю., Магер В.О., Вараксин А.Н., Константинова Е.Д., Маслакова Т.А., Анцыгин И.Н.</i>	938
АНАЛИЗ ИНДУЦИРОВАННЫХ ШУМОМ ЯВЛЕНИЙ В МУЛЬТИСТАБИЛЬНОЙ СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	
<i>Павлецов М.М., Первалова Т.В.</i>	941
РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Петухова В.В., Огородников А.И.</i>	942

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРИСТАЛЛОВ UC , U_2C_3 И UC_2 , ВКЛЮЧАЮЩАЯ ВАРЬИРОВАНИЕ ЗАРЯДОВ	
<i>Пицхелаури С.С., Сеитов Д.Д., Некрасов К.А.</i>	944
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА РОБОТА- МАНИПУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ КАМЕРЫ И МАШИННОГО ЗРЕНИЯ	
<i>Рублева Е.А., Мудрич А.Б.</i>	945
ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА МАММОГРАММАХ В СКРИНИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ	
<i>Сабитова Д.Р., Соловьева С.Н.</i>	947
МОДЕЛЬ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АВРОРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ГНСС, ПОСТРОЕННАЯ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ RANDOM FOREST	
<i>Серебренникова С.А.</i>	949
ВОЗМОЖНОСТИ МАСШТАБИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ РАСХОДА ТОПЛИВА	
<i>Серогодский А.Е.</i>	951
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ШАБЛОНОВ ПРОЕКТА ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ПРОИЗВОДСТВА АО «ПКК МИЛАНДР»	
<i>Шалапанова К.Н., Орлов А.В., Бардюг Д.Ю., Елимова Т.В.</i>	953
DEVELOPMENT OF A QUESTION AND ANSWER FOR THE SUBJECT AREA “MANAGEMENT OF A METALLURGICAL PLANT”	
<i>Aksynov K.A., Sichona C.L., Ziomkovskaya P.E., Aksyonova O.P., Aksyonova E.A.</i>	955
КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭКСПОРТНОГО КОНТРОЛЯ	
<i>Скрипов А.П.</i>	956
РАЗРАБОТКА ИТ-ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЁЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА	
<i>Стрельникова А.С., Каримова О.Х.</i>	958
СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХРОТОРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МОДАЛЬНОГО СИНТЕЗА	
<i>Тесленко А.Р., Ермаков А.А.</i>	960

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR DESCRIPTION OF PATTERNS IN TWO-DIMENSIONAL SPACE IN AUTOIT BY THE METHOD OF COORDINATES ON THE PLANE

Tikhomirov R.V...... 962

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ (MBSE)

Торгашова А.С...... 964

АНАЛИЗ ДЛИН СЛОВ НА ПРИМЕРЕ ИНАУГУРАЦИОННЫХ РЕЧЕЙ ПРЕЗИДЕНТОВ США

Цижмовска Н.Л., Мартюшев Л.М...... 966

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY FOR OPTIMIZING DURABILITY SPECS AND MUTUAL ARRANGEMENT OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

Tsykarev A.N., Zakharov M.V...... 968

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ - МИКРОГРИД

Жаворонков А.Е., Аксенов К.А., Ситников И.О...... 970

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ НА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДАХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Журавлев А.В., Аксенов К.А., Стольников К.Ю...... 972

DEVELOPMENT OF A TEXT ANALYSIS AGENT FOR THE SUBJECT AREA "TRAIN SCHEDULE"

Aksyonov K.A., Sichona Chizo Limpo, Ziomkovskaya P.E., Aksyonova O.P., Aksyonova E.A. 974

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БИОВОЗРАСТА ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Зотов А.О., Лимановская О.В., Гаврилов И.В., Мещанинов В.Н...... 975

Секция 7 Биоинженерия и биотехнологии..... 977

THEORETICAL ANALYSIS OF CLUSTERS LIKE-DENSE FERROPARTICLES IN MAGNETIC HYPERTHERMIA THERAPY

Abu-Bakr A., Zubarev A...... 978

STUDY OF THE BIOTISSUE HISTOTRIPSY BASED ON MICROBUBBLE DYNAMICS IN HYDROGELS	
<i>Abu-Nab A.K., Mohamed K.G., Abu-Bakr A.F.</i>	979
FUNCTIONAL PROPERTIES OF CORN STARCH EXTRACTED FROM FOUR VARIETIES OF MAIZE (ZEA MAYS)	
<i>Adepoju F.O.</i>	980
MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING APPLICATION FOR DIABETES PREDICTION	
<i>Alzuabi A., Smirnov A.A.</i>	981
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СУБСТРАТОВ НА АКТИВНОСТЬ БИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ СВЕТЯЩИХСЯ БАКТЕРИЙ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ	
<i>Аламанова А.А., Торгашина И.Г., Есимбекова Е.Н.</i>	982
СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ КЛЕТОК ДРОЖЖЕЙ ПОД МИКРОСКОПОМ ПРИ ПОМОЩИ U-NET АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОСЕТИ	
<i>Аристова Е.В., Смирнов А.А.</i>	984
BIOFUELS: PRESENT AND FUTURE	
<i>Asase R.V., Ivantsova M.N.</i>	986
МОБИЛЬНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ	
<i>Бочкарев Ю.А., Севастьянов М.С., Хохлов К.О., Панкин В.В.</i>	987
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КЛЕТОК, ОСНОВАННОЕ НА АКТИВНОМ ТРАНСПОРТЕ ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ	
<i>Бондарь В.В., Мелких А.В.</i>	989
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ КОЖНЫХ АНОМАЛИЙ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ	
<i>Бояркин А.М., Долгополов А.Н., Корсакова Е.А.</i>	991
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР	
<i>Буханов Е.Р.</i>	993
MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING METHODS OF MICROORGANISMS' SEGMENTATION SURVEY	
<i>Vertenberger E.I., Chechulina M.Y., Smirnov A.A.</i>	995

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЛЕГОЧНОЙ ПНЕВМОНИИ У ПАЦИЕНТОВ С COVID-19 <i>Чернобровкин Т.В., Краев Д.В., Курсанов А.Г.</i>	996
СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОПУХОЛЕВОЙ ДИНАМИКИ В УСЛОВИЯХ ХИМИОТЕРАПИИ <i>Чухарева А.А., Баширцева И.А.</i>	998
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ТВЕРДЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ <i>Чукина А.А., Денисова О.В.</i>	1000
THE ROLE OF ANTIOXIDANTS FROM FRUITS IN DISEASE PREVENTION <i>Danyo E.K., Ivantsova M.N.</i>	1002
МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА И КАТИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ БИОСИСТЕМ <i>Гаврилова А.А., Константинова М.А., Никонорова Д.А., Кашина Е.С.</i>	1003
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕРРОСУЛЬФАТНОГО ДОЗИМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОМОДИФИКАЦИИ <i>Герасимов А.С., Балезин М.Е., Ильвес В.Г., Соковнин С.Ю.</i>	1005
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИОЗИНА В РАЗНЫХ ОТДЕЛАХ СЕРДЦА КРЫС <i>Гребенищикова А.В., Пермьякова Ю.В., Носкова В.С., Селезнёва И.С., Набиев С.Р., Герцен О.П., Никитина Л.В.</i>	1007
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАНЖИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ИОННОГО СОСТАВА ГРУДНОГО МОЛОКА <i>Гузенко М.М., Семенцова И.В., Зайцева А.Ю.</i>	1009
ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОРНЫЙ ГИДРОГЕЛЬ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ <i>Изможсера К.Д., Чувашов Р.Д., Вербницкий Е.В., Баранова А.А., Хохлов К.О.</i>	1011
ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОСЛЕДУЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ <i>Кругликов Н.А., Беляев А.Ю., Шарова Е.А., Калонов А.А.</i>	1013
BIOCHIPS: FUTURE AND PRESENT <i>Kambele J., Ivantsova M.N.</i>	1015

EXTRACTION OF RESVERATROL FROM FALLOPIA JAPONICA ROOTS <i>Kamel M.M.</i>	1016
BIOLOGICAL DEPHOSPHATATION IN A TWO-STAGE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM <i>Khasanova A.A., Perushkina E.V.</i>	1017
ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ГОМПЕРТЦА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ СИГНАЛОВ АНАЛИЗАТОРОВ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ <i>Клименко Д.Ю., Белов Д.А.</i>	1019
CHARACTERIZATION OF MINE WASTES AS A POTENTIAL SOURCE OF HEAVY METALS PROPAGATION TO NEARBY SOILS (CASE OF THE FORMER KIPUSHI CONCENTRATOR) <i>Lwamba B.C., Ivantsova M.N., Lumbu S.J., Banza I.B., Kaya D.</i>	1021
ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ И НОРМАЛЬНОМ СИНУСОВОМ РИТМЕ <i>Марков Н.С., Ушенин К.С., Божко Я.Г., Архипов М.В., Соловьёва О.Э.</i>	1023
ФЕМТОСЕКУНДНАЯ НАНОХИРУРГИЯ: ЛАЗЕРНАЯ ЭНУКЛЕАЦИЯ ХРОМАТИНА В ООЦИТЕ <i>Мартиросян Д.Ю., Залесский А.Д., Осыченко А.А., Точило У.А., Надточенко В.А.</i>	1025
EDIBLE VACCINES: PROBLEMS AND PROSPECTS <i>Mensah E.O., Ivantsova M.N.</i>	1027
АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАНСОВ СОКРАЩЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ КАРДИОМИОЦИТОВ ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ <i>Михрякова П.П., Бутова К.А., Мячина Т.А., Хохлова А.Д.</i>	1028
MICROALGAE TECHNOLOGY: A REVIEW OF ITS DEVELOPMENT IN SOUTH AMERICAN COUNTRIES <i>Mora Villalba C.M., Ivantsova M.N., Mora Leon O.D.</i>	1030
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО СИГНАЛА ЭПР В КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМАХ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ <i>Нархова А.А., Вазиров Р.А.</i>	1031
УСТАНОВКА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТАКТИЛЬНОЙ СИЛЫ ДИСТАЛЬНОЙ ФАЛАНГИ ПРОТЕЗА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОПОРОЙ <i>Никитин В.С., Волков А.С.</i>	1033

ГЕНЕРАЦИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АУГМЕНТАЦИИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТИВНО-СОСЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	
<i>Новоселов И.Э., Смирнов А.А.</i>	1035
ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПРОЯВЛЯЕМУЮ БИОКАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ	
<i>Офицерова Н.Ю., Бажукова И.Н., Мышкина А.В.</i>	1037
PROXIMATE, FUNCTIONAL AND SENSORY PROPERTIES OF BREAD FROM WHEAT - PLANTAIN (MUSA SPP) FLOUR BLENDS	
<i>Okereke S.O., Ojileh P.C., Okechukwu Q.N.</i>	1039
РАЗРАБОТКА КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА, ОБОГАЩЕННОГО ПРЕБИОТИЧЕСКИМ И РАСТИТЕЛЬНЫМ ИНГРЕДИЕНТАМИ	
<i>Панин М.В., Гейде И.В., Селезнева И.С., Губина А.С.</i>	1040
ИНДУЦИРОВАННАЯ ШУМОМ САМООРГАНИЗАЦИЯ В ДИФфуЗИОННОЙ МОДЕЛИ ГЛИКОЛИЗА	
<i>Панкратов А.А.</i>	1042
ОЦЕНКА СБАЛАНСИРОВАННОСТИ РАЦИОНА ВЕГАНОВ ПО АМИНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ	
<i>Перминова А.А.</i>	1043
БЫСТРОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЦЕПЕЙ МИОЗИНА В ПОЛИАКРИЛАМИДНОМ ГЕЛЕ	
<i>Пермякова Ю.В., Гребенщикова А.В., Костромина Ю.Е., Селезнёва И.С., Набиев С.Р., Герцен О.П., Никитина Л.В.</i>	1044
COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENTIAL GENE EXPRESSION ON PATIENTS WITH ISCHEMIC AND IDIOPHATIC CARDIOMYOPATHY IN R PROGRAMMING LANGUAGE	
<i>Polanco F.E., Zuzunaga R.R.</i>	1046
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПУЧКА УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ УСТАНОВКИ УВНИПА-1-001	
<i>Прокопьева О.Е., Райков Д.В., Войнов В.С.</i>	1048
ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ОБРАБОТКЕ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ	
<i>Пустотина А.А., Баранова А.А., Селезнева И.С.</i>	1050

INFARCTION INJURY TRANSLATION FROM RAT HEART TO HUMAN HEART. STUDY OF ARRHYTHMIAS	
<i>Rokeakh R.O.</i>	1052
THE POSSIBILITY OF USING MAST CELLS AS INDICATORS OF THE ACCUMULATION OF AGE-RELATED CHANGES IN DIFFERENT TISSUES	
<i>Sadek A., Khramtsova Y.S.</i>	1054
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ КУРСОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	
<i>Сафронова А.В., Вазиров Р.А., Коротовских О.И.</i>	1056
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГРАФЕНОВЫХ НАНОЧАСТИЦ С ТОПОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ХИРАЛЬНЫХ МЕМБРАН НА ПРИМЕРЕ МОЛЕКУЛ ТЕТРАЦИКЛИНА	
<i>Шабиева А.В., Шабиев Ф.К., Сафаргалиев Р.Ф.</i>	1058
ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ DAPHNE MEZEREUM L	
<i>Шлыков И.В., Абизов Е.А., Назаренко А.К.</i>	1060
РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОПОМЕТРИЯ БИОКИНЕТИКИ РФП(РН) ЧЕЛОВЕКА	
<i>Сидоров А.Н.</i>	1062
ПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦЕРИЯ В МАЛЬТОДЕКСТРИНОВОЙ ОБОЛОЧКЕ	
<i>Латина П.К., Смольникова Е.Н., Бажукова И.Н., Мышкина А.В.</i>	1063
THE RESEARCH OF POSSIBILITY OF THE EVALUATING LASER EXPOSURE BY METHODS OF OPTICAL SPECTROSCOPY DURING MINIMALLY INVASIVE ENDOSCOPIC OPERATIONS	
<i>Tereshenkova O.A., Kim A.A.</i>	1065
РАСПОЗНАВАНИЕ НАРУШЕНИЙ ГОЛОСА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	
<i>Целищева А.В., Смирнов А.А.</i>	1067
ОБРАБОТКА СИГНАЛА ТРАНСМЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	
<i>Ушенин К.С., Марков Н.С., Демичева Е., Дордюк В.</i>	1069
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМЕТОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ СКРАБОВ	
<i>Ужнева В.А., Баранова А.А., Селезнева И.С.</i>	1070

ИЗУЧЕНИЕ КРАЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЭТИЛЕНТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА (ЕТФЕ)	
<i>Вазирова Е.Н., Абашев Р.М., Сюрдо А.И., Мильман И.И.</i>	1072
МЕДИЦИНСКИЙ УЛЬТРАЗВУК КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАГНИТО- ДЕФОРМАЦИОННОГО ЭФФЕКТА В ФЕРРОГЕЛЯХ	
<i>Ярышев И.О., Динисламова О.А., Бугаёва А.В., Кузнецова Д.В., Шкляр Т.Ф., Сафронов А.П., Бляхман Ф.А.</i>	1074
Секция 8 Инновации и социальные технологии	1077
РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	
<i>Астахова Е.А.</i>	1078
SOCIAL IMPACTS AND OPPORTUNITIES OF RELOCATING INDUSTRIAL AREAS OUTSIDE THE CITY	
<i>Bareicheva M.A., Kubina E.A., Sergeev E.A., Daineko L.V.</i>	1080
DECISION MAKING TOOL TO DETERMINE IMPLEMENTATION INNOVATIONS IN THE TIMBER PROCESSING SECTOR OF RUSSIA	
<i>Bormotov A.S., Smirnov V.V.</i>	1082
КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ	
<i>Давыдов Ю.В., Баранов А.Д., Латыпов Р.Р., Попов М.А., Мухаметзянов Ф.Ф., Бабаев Р.Ф.</i>	1083
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗРЕЛОСТИ ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Хохлов Д.С.</i>	1085
КАЧЕСТВО ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ РОССИИ: АНАЛИЗ, ДИНАМИКА, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ	
<i>Корюкова Ю.Д., Дайнеко Л.В.</i>	1087
INNOVATIVE APPROACH TO THE TEACHER-STUDENT COMMUNICATION PROCESS VIA SPECIALIZED TELEGRAM BOTS	
<i>Krochin A.L., Krokhin L.A., Spitsin S.E.</i>	1089
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОПК	
<i>Мионов А.П., Метелев Д.А.</i>	1091

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ ПОДВОДНОГО ТРАНСПОРТА «АКВАКАР» В ПРОГРАММЕ ЭВМ «LIGROGAME»	
<i>Молоднякова А.В.</i>	1092
АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛЕЙ ГИБКОГО ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ	
<i>Озорнин С. Ю., Терлыга Н. Г.</i>	1095
СОПРОВОЖДЕНИЕ И ЗАЩИТА ВКР В ФОРМАТЕ «СТАРТАП КАК ДИПЛОМ»	
<i>Филиппов Д.А.</i>	1097
АДАПТАЦИЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ: ПОСТАНОВКА И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ	
<i>Прохоров Д.Л., Сертаков В.В.</i>	1099
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КИМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ	
<i>Шкляев В.Д., Спиридонов Д.М.</i>	1101
НЕДООЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ ПРИ ПЕРВОМ ПУБЛИЧНОМ РАЗМЕЩЕНИИ АКЦИЙ И ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ ФАКТОРЫ	
<i>Соловьев А.С., Терлыга Н.Г.</i>	1103
УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТАМИ: ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ	
<i>Светлова О.А., Шульгин Д.Б.</i>	1104
АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ БИОХАКИНГА ДАННЫХ «УМНЫХ ЧАСОВ» ПРИ ОЦЕНКЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЛОВЦА	
<i>Тарханова Е.А.</i>	1106
ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА В СФЕРЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Тиунова Т.С.</i>	1108
ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ, ВКЛЮЧАЯ SAR, ДЛЯ СЕТЕЙ 5G: ЖИЗНЬ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА В РФ	
<i>Целиковский В.Д., Ковтун Н.А., Попов И.В., Швачкин И.Е.</i>	1110

СЕКЦИЯ 1

ЯДЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Абдуллина А.Э.¹

¹) ГАУЗ Свердловской области "Свердловский Областной Онкологический Диспансер", Екатеринбург, Россия
E-mail: abdullina.adel@mail.ru

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SUPPORTIVE DEVICES IN RADIOTHERAPY

Abdullina A.E.¹

¹) State autonomous health institution of sverdlovsk region "Sverdlovsk regional oncological dispensary", Yekaterinburg, Russia

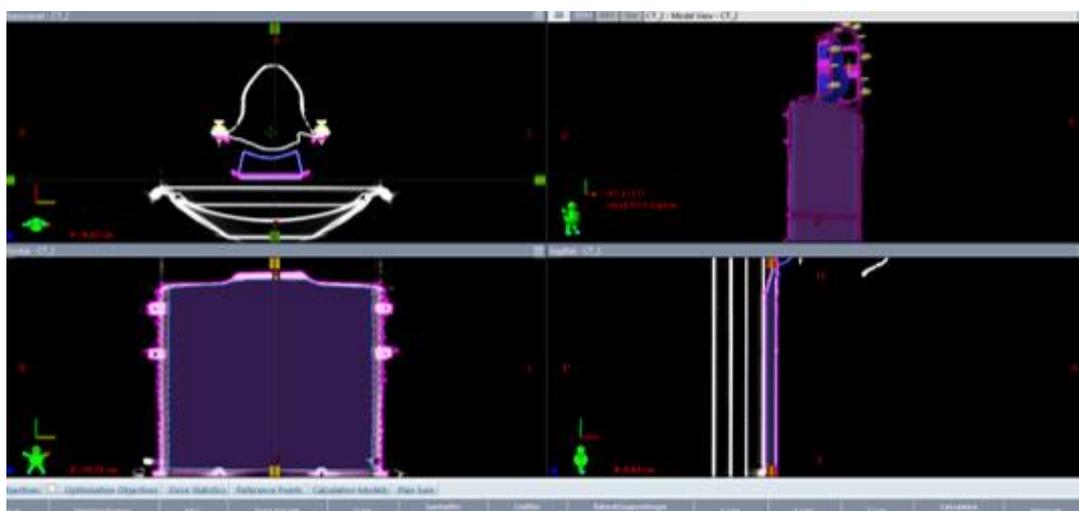
This article focuses on one aspect of external beam radiation therapy. During radiation therapy, supports are used to fix the patient.

Вековая история клинического использования ионизирующего излучения в онкологии убедительно доказывает необходимость этого метода в лечении злокачественных новообразований.

Предметом исследования являются поддерживающие устройства, предназначенные для одинаковой укладки пациента во время каждой процедуры.

В рамках работы проводится отбор пациентов, назначенным дистанционно-лучевая терапия фотонами, со злокачественным новообразованием в области головы и шеи.

Одним из пунктов процедуры ЛТ является планирование дозы на облучаемый объем и учет дозы на здоровые ткани. Для более объективной оценки доз на органы, располагающиеся вблизи опухоли необходимо учитывать устройства, используемые для укладки пациента.



В работе было выполнено: добавление поддерживающих устройств в систему для планирования Eclipse, оконтуривание поддерживающих устройств, а также подголовника, крепежей для маски и воздушной прослойки в подставке.

В ближайшее время планируется: определение плотностей данных устройств; облучение на линейном ускорителе с разных углов; сравнение планов с подставкой и без; обоснование в необходимости данной оценки.

1. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1296r_web.pdf

ВЫБОР СОРБЕНТА МАРКИ «ТЕРМОКСИД» ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА $^{68}\text{Ga}/^{68}\text{Ge}$

Белых И.С.¹, Денисов Е.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: irinane2000@mail.ru

SELECTION OF THE "THERMOXIDE" BRAND SORBENT FOR THE $^{68}\text{Ga}/^{68}\text{Ge}$ GENERATOR

Belyh I.S.¹, Denisov Y.I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This work is aimed at studying the physico-chemical and sorption characteristics of various sorbents of the Thermoxide brand used in the $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ generator, which is the most promising for the synthesis of radiopharmaceuticals used in positron emission tomography.

Радионуклид ^{68}Ga , получаемый из радионуклидного генератора $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$, является наиболее перспективным для синтеза радиофармацевтических препаратов РФП, применяемых в позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), которая за последние годы стала одним из главных достижений ядерной медицины.

Целью данной работы является изучение физико-химических и сорбционных характеристик различных сорбентов марки «Термоксид», применяемых в генераторе $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. В ходе эксперимента проводилось сравнение неорганического сорбента диоксида титана TiO_2 , модифицированного 5 мол. % диоксида циркония ZrO_2 , марки «Термоксид», с температурой обработки 100, 450 и 600°C. Проводили измерения твердой фазы рентгено-флюоресцентным методом с использованием энергодисперсионного спектрометра QUANT'X.

В данной работе проводилось исследование сорбционных свойств сорбента, и одной из важных характеристик является - полная обменная емкость ионита, зависящая от значений pH среды, у сорбентов с различной температурой прокаливания. В работе был использован метод кислотно-основного потенциометрического титрования, который позволил построить и проанализировать кривые титрования исследуемого сорбента в растворе $\text{NaCl}(0,5\text{M})$. Для анализа зависимости изменения полной обменной емкости сорбента от значений pH среды, в каждую исследуемую пробу добавляли разное значение кислоты $\text{HCl}(0,5\text{M})$ и щелочи $\text{NaOH}(1\text{M})$, тем самым изменяя диапазон pH.

В результате исследований было обнаружено, что при увеличении температуры прокаливания сорбента марки «Термоксид» идет уменьшение количества обменных центров. Например, сорбент с температурой прокаливания 100°C имеет 3 обменных центра в каждой области pH, а также данный сорбент имеет самую большую полную обменную емкость в районе 1,7 ммоль/мг в щелочной области. Так

же наблюдается зависимость уменьшения полной обменной емкости ионита с уменьшением температуры прокалки.

Следующим этапом нашей исследовали зависимости «S – рН» для Ga и Ge на сорбенте Т-5. Для германия эта зависимость имеет вид слегка возрастающей кривой во всем диапазоне рН от 2 до 8. Для галлия степень сорбции начинает возрастать при рН = 2 и достигает максимума при рН = 3,8, затем наблюдается незначительный спад степени сорбции в области рН = 5 – 6. Полученные результаты влияния концентрации на степень сорбции можно объяснить процессами конкуренции за Ga.

Данные сорбенты марки «Термоксид» являются наиболее перспективными для генератора $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ и имеют большой потенциал развития.

1. Методы получения радиофармацевтических препаратов и радионуклидных генераторов для ядерной медицины: учебное пособие для вузов / Г.Е. Кодина, Р.Н. Красикова. - М.: Издательский дом МЭИ, 2014. - 282 с.: ил.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ СЛОЖНО ДЕТЕКТИРУЕМЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ТРО

Десятов Д.Д.¹, Екидин А.А.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет

²) Институт промышленной экологии УРО РАН

E-mail: desyatovdenis1995@gmail.com

NON-DESTRUCTIVE APPROACH FOR DETERMINING THE ACTIVITY OF DIFFICULT-TO-MEASURE RADIONUCLIDES IN SRW

Desyatov D.D.¹, Ekin A.A.^{1,2}

¹) Ural Federal University

²) Institute of Industrial Ecology of RAS

An approach for determining the SRW radiation parameters based on the correlation dependencies between «difficult-to-measure nuclide» and «key nuclides» is presented. The nuclides that form the most contribution to the SRW activity generated at NPPs with PWR and BWR type have been identified.

Одной из важнейших задач в области ядерной энергетики является безопасное обращение с РАО, непременно образующимися на всех стадиях ядерно-топливного цикла. МАГАТЭ, национальная и международная общественность относит данную задачу к высшему приоритету. Важнейшие российские нормативные документы [1-2] в области обращения с РАО предписывают контроль параметров РАО (радионуклидный состав и их активность) на всех стадиях обращения с ними, включая сбор, сортировку, трансфер, переработку и хранение. Одной из неразрешенных практических задач является установление полного состава и активностей радионуклидов в контейнерах с РАО, включая тритий, альфа-, бета-излучающие и трансурановые радионуклиды [3]. Для этого используют разрушающие (отбор проб, радиохимический анализ и различные методы спектрометрии) и неразрушающие методы анализа (гамма-спектрометрия). Однако данные методы требуют больших временных и финансовых затрат, и вдобавок не позволяют определить активность труднодетектируемых радионуклидов.

В работе представлен неразрушающий метод определения активности труднодетектируемых радионуклидов в контейнерах с РАО, образованных на АЭС с реакторными установками типа PWR и BWR. Данный метод основан на поиске корреляционных связей между двумя группами радионуклидов – «difficult-to-measure-nuclide» (DTM) и «key nuclides» (KN). Определены основные радионуклиды, которые вносят наибольший вклад в активность ТРО, образованных на АЭС с РУ PWR и BWR. Показаны критерии отнесения нуклидов к группам «DTM» и «KN».

1. Decree of the Government of the Russian Federation of 19 October 2012 No.1069 “On the criteria of designation of solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, criteria of radioactive waste designation as non-retrievable radioactive waste and retrievable radioactive waste and criteria of classification of retrievable radioactive waste”
2. NP-093-14. Federal codes and standards in the field of use of atomic energy “Criteria for acceptance of radioactive waste for disposal”
3. Vasiliev A.V., Ekidin A.A., Yusupov R.I., Pudovkin A.V. Procedures for Confirmation of Acceptance Criteria for Geological Disposal of NPPs Radioactive Waste. ASEP. 2017. V 91. № 4 P. 23-30

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДА С ХЛОРИДОМ САМАРИЯ В СРЕДЕ СОЛЕВЫХ РАСПЛАВОВ

Дорошенко Д.А.¹, Рыжов А.А.¹, Волкович В.А.¹

¹ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: Choi_1999@mail.ru

ELECTROCHEMICAL STUDY OF REACTION OF OXYGEN WITH SAMARIUM CHLORIDE IN MOLTEN SALT MEDIA

Doroshenko. D.A.¹, Ryzhov. A.A.¹, Volkovich. V.A.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Reaction of oxygen with samarium chloride was investigated in melts based on 3LiCl–2KCl eutectic and NaCl–KCl equimolar mixtures at 550 and 750 Celsius degrees above zero, respectively. Cyclic and square wave voltammetry were used to monitor the course of the reaction.

Расплавы на основе хлоридов щелочных металлов могут быть использованы в качестве рабочих сред в различных технологических процессах с участием редкоземельных металлов. Одним из перспективных направлений использования хлоридных расплавов является пирохимическая переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Редкоземельные элементы присутствуют в ОЯТ как продукты деления. Кислород является одной из распространенных технологических примесей в атмосфере. Поэтому исследование возможного влияния кислорода на ионно-координационное состояние и поведение элементов, присутствующих в технологических расплавах, является актуальной задачей. Целью настоящей работы являлось исследование кинетики взаимодействия хлоридных расплавов, содержащих ионы самария(III) с кислородом.

Эксперименты выполняли в расплавах на основе эвтектической смеси хлоридов лития и калия при 550 °С и эквимольной смеси хлоридов натрия и калия при 750 °С. В качестве методов исследования были использованы нестационарные электрохимические методы – циклическая и квадратно-волновая вольтамперометрия. Исходную концентрацию хлорида самария в расплаве варьировали от 0,05 до 0,5 моль/л. Во всех экспериментах был использован избыток кислорода. Чистый кислород пропускали через расплав со скоростью около 0,1 л/мин.

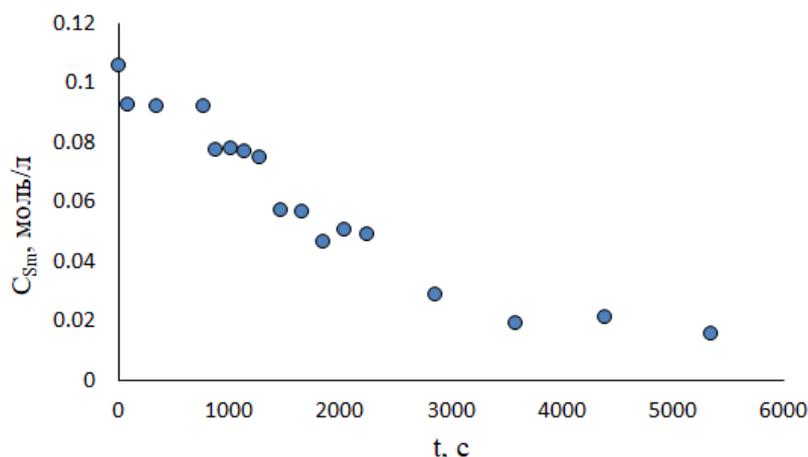


Рис. 1. Изменение концентрации хлорида самария в расплаве NaCl-KCl при 750 градусах Цельсия в процессе пропускания кислорода

Самарий относится к числу редкоземельных металлов, образующих в хлоридных расплавах устойчивые ионы двух степеней окисления, +2 и +3. Поэтому при исследовании поведения самария для контроля его содержания в расплавленном электролите был использован перезаряд $Sm(III)/Sm(II)$. Интенсивность катодного пика, соответствующего восстановлению ионов $Sm(III)$ до $Sm(II)$ пропорциональна концентрации ионов самария. Взаимодействие кислорода с хлоридом самария приводит к образованию малорастворимого оксихлорида самария $SmOCl$. Поэтому в процессе пропускания кислорода через расплав происходило закономерное уменьшение интенсивности катодных пиков на циклических и квадратноволновых вольтамперограммах, соответствующее снижению концентрации хлорида самария в расплаве. Пример зависимости, отражающей изменение концентрации $SmCl_3$ от продолжительности пропускания кислорода через расплав, полученная в результате анализа вольтамперограмм, представлена на рисунке 1. По наклону линейного участка зависимости можно определить скорость реакции. Полученные результаты показали, что скорость реакции взаимодействия кислорода с самарийсодержащими расплавами имеет значения в интервале от $2,4 \cdot 10^{-5}$ до $8,8 \cdot 10^{-4}$ моль л s^{-1} и закономерно возрастает с увеличением температуры и концентрации хлорида самария в расплаве.

ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО БАРЬЕРА ЯДРА НА ЗАМЕДЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

Ермаков Д.А.¹, Вольский В.И.¹, Ошканов Н.Н.¹

¹) Уральский Федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: danil.ermackow@mail.ru

EFFECT OF THE CENTRIFUGAL BARRIER OF THE NUCLEAR FOR NEUTRON MODERATION

Ermakov D.A.¹, Volskiy V.I.¹, Oshkanov N.N.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

The aim of the work was to study the parameters of the elastic moderation of neutrons in the potential field of the centrifugal barrier of the moderator nuclei. It has been established that due to the action of the centrifugal potential field of the moderator nuclei, the neutron energy decreases.

Целью работы явилось исследование параметров упругого замедления нейтронов в потенциальном поле центробежного барьера ядер замедлителя.

Упругое рассеяние нейтронов является весьма важным процессом в реакторах на тепловых нейтронах, составляющих основные источники энергии в ядерной энергетике. Именно благодаря этому процессу происходит замедление нейтронов деления ядер в реакторе, без которого невозможно существование атомной энергетике на тепловых нейтронах.

Физика ядерных реакторов рассматривает упругое рассеяние нейтронов, используя метод непосредственного столкновения нейтронов с ядрами как упругих шариков. Однако, такой контакт нейтронов с ядрами замедлителя невозможен, т.к. величина препятствующего этому центробежного потенциала ядер замедлителя выше энергий нейтронов деления ядерного топлива. Поэтому нейтрон, который «направляется» к ядру, будет либо «отброшен» потенциальным полем ядра без контакта с нейтроном, либо изменит траекторию движения и «пролетит» мимо ядра. В первом случае он не теряет энергии (не замедляется), во втором случае произойдет потеря энергии (замедление нейтрона) вследствие изменения траектории.

Эффект действия ядер на поток пролетающих через вещество заряженных частиц известен задолго до создания квантовой теории. Резерфорд связал отклонения направления движения альфа-частиц при их прохождении через вещество за счет действия на них некоего положительно заряженного сосредоточенного центра структуры атома. Математическая обработка результатов отклонения альфа-частиц позволила Резерфорду обосновать существование центрального ядра атома.

Развитие квантовой теории позволило установить центробежный потенциал отталкивания $V(r) = L^2/2\mu R$, где r – расстояние от нейтрона до центра ядра; L – орбитальный момент движения ядра;

μ – приведенная масса нейтрона и ядра; R – радиус ядра. Однако теория нейтронной физики использует центробежный потенциал только для оценки контакта/проникновения нейтрона в ядро.

Между тем, центробежный потенциал можно использовать в целях определения замедления. Для этого вполне применима методика Резерфорда, который модернизирована в данной работе

Рисунок для определения формулы замедления приведен ниже

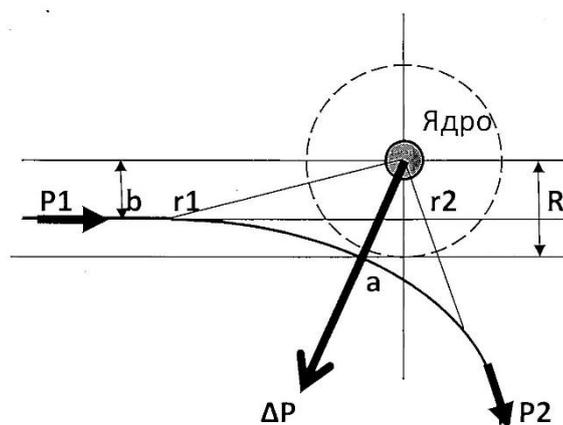


Рис. 1. Влияние центробежного потенциала ядра на траекторию нейтрона

Установлено, что вследствие действия центробежного потенциального поля ядер замедлителя происходит снижение энергии нейтронов. Выведена формула снижения энергии E нейтронов на величину ΔE в центробежном потенциальном поле ядер активной зоны реактора с учетом микроскопического сечения рассеяния нейтронов σ_s

$$\Delta E/E = (V/2E)^2 \sigma_s$$

Численный эксперимент показал, что замедление нейтронов вследствие контакта нейтронов с ядрами замедлителя (неупругое рассеяние и упругое резонансное рассеяние) вносит меньший вклад в сравнении с потенциальным рассеянием.

1. Мухин К. Н. Экспериментальная физика. Т.2 / К. Н. Мухин. – Москва : Лань, 2009. – 336 с.
2. Knief R. A. Nuclear Energy Technology. Theory and Practice of Commercial Nuclear Power / R. A. Knief. – Hemisphere Publishing Corporation : New York, 1981. – 605 pp.
3. Бом Д. Квантовая теория / Д. Бом. – Москва : Наука, 1965. – 725 стр
4. Орир Д. Физика / Д. Орир. Москва : КДУ, 2015. – 752 с.

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ОТВС В БАССЕЙНАХ ВЫДЕРЖКИ

Глухов С.М.¹, Ширманов И.А.¹, Стругов Е.Д.¹, Тарасов А.Д.¹, Шумков Д.Е.¹,
Та Ван Тхыонг¹, Ташлыков О.Л.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: stepmihgl@mail.ru

ESTIMATED ESTIMATION OF THE RESIDUAL HEAT RELEASE OF SFAS IN THE HOLDING POOLS

Glukhov S.M.¹, Shirmanov I.A.¹, Strugov E.D.¹, Tarasov A.D.¹, Shumkov D.E.¹,
Ta Van Thuong¹, Tashlykov O.L.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. The paper presents a calculated estimate of the residual heat release of irradiated fuel assemblies (SFAS) in the holding pools, depending on the fuel parameters (burn-out depth, uranium-235 loading mass, etc.)

Использование атомной энергии в различных отраслях науки со временем неуклонно растет. При этом важнейшим условием использования ядерных реакторов (ЯР) является обеспечение их безопасности.

Главным условием безопасности ЯР является сохранение герметичности оболочек тепловыделяющих элементов, как в активной зоне при работе реактора, так и при хранении ОТВС в бассейнах выдержки (шахте-хранилище). Для обеспечения этого условия необходимо обеспечивать надежное охлаждение ОТВС как при нормальной эксплуатации, так и в нештатных ситуациях работы реактора, включая полную потерю электроснабжения.

При работе ядерной установки могут возникать ситуации, когда необходима полная выгрузка ОТВС из активной зоны реактора. В таком случае в бассейне выдержки должны быть обеспечен надежный теплоотвод от ОТВС, исключая вскипание теплоносителя.

В работе представлен расчет и оценка остаточных тепловыделений ОТВС ЯР с легко-водным теплоносителем, для расчета использовалась методика [1].

Методика, может быть использована для расчета мощности остаточного тепловыделения ОТВС легко-водных реакторов в зависимости от выгорания топлива, удельной мощности, времени распада и обогащения урана-235. Данный метод определяет процедуры и данные для всех констант и переменных, необходимых для расчета мощности остаточного тепловыделения.

Определение остаточного тепловыделения включает в себя расчет индивидуального вклада в остаточное тепловыделение следующих категорий: продукты деления, образующиеся при делении урана – 235; нуклиды, образующиеся при

захвате нейтронов продуктами деления; актиниды, образующиеся при захвате нейтронов исходными изотопами урана в топливе, продукты активации в сборочной конструкции и облицовочных материалах.

Получены значения мощности остаточных тепловыделений ОТВС при различных характеристиках топлива. Проведен анализ мощности остаточных тепловыделений ОТВС в зависимости от времени работы ТВС в активной зоне.

1. Sotomayor-Rivera A. Spent fuel heat generation in an independent spent fuel storage installation / A. Sotomayor-Rivera // U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. - Режим доступа: <https://www.nrc.gov/docs/ML1822/ML18228A808.pdf>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПАХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Гоглачев А. В.¹, Мясникова В. А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: Alex.V.Goglachev@urfu.ru

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF USING THE THORIUM FUEL CYCLE IN EXISTING TYPES OF NUCLEAR POWER REACTORS

Goglachev A. V.¹, Myasnikova V. A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The growing need for the use of alternative fuel elements for nuclear power reactors makes a deep research of the topic of the thorium fuel cycle, especially a closed one, very relevant. The choice of Th as a nuclear fuel and the use of this technology has great potential for development.

Возрастающая потребность использования альтернативных топливных элементов для ядерных энергетических реакторов делает очень актуальным глубокое исследование темы ториевого топливного цикла. Выбор Th в качестве ядерного топлива обуславливают следующие основные факторы: запасы Th значительны, при использовании тория в реакторе нет избыточной реактивности, лучшие физические и ядерные свойства, а также отсутствие особых проблем с утилизацией отходов. Использование данной технологии имеет большой потенциал для развития.

Интерес к торию, как топливу для ядерных реакторов основан на возможности образования делящегося изотопа уран-233 в результате захвата теплового нейтрона природным торий-232. Так как уран-233 не существует в природе, топливный цикл может начаться лишь на существующем в природе делящемся изотопе, а именно на уране-235. Если в топливе накоплено достаточное количество урана-233, то реактор может работать длительное время лишь на Th и воспроизводимом уране-233.

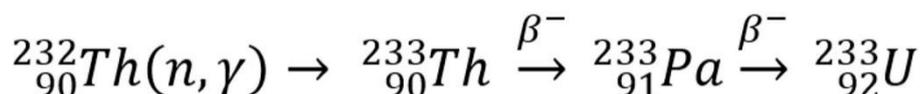


Рис. 1. Ядерная реакция образования урана-233

В ходе нашего исследования планируется привести обоснование и расчеты ториевого топливного цикла, определить параметры ядерного топлива при замене в топливе изотопа урана-238 на торий-232.

При использовании ториевого топлива вместо уранового возникает ряд проблем.

Для реакторов с «тесными» решетками спектр нейтронов обеднен нейтронами резонансных энергий. Источником резонансных нейтронов является замедлитель, откуда они проникают в топливный блок. Однако вследствие сильного поглощения они исчезают на первых же десятых долях миллиметра, то есть в тонком поверхностном слое топлива. Таким образом, при замене в топливе изотопа урана-238 на торий-232 вероятность избежать резонансного поглощения изменяется незначительно.

Во всех ядерных реакторах происходит деление ядер, вызванное надтепловыми нейтронами. При этом значение коэффициента размножения на быстрых нейтронах уменьшается в топливном блоке с торием, по сравнению с урановым. Для решения этой проблемы необходимо увеличить диаметр блока, так как с увеличением диаметра блока величина коэффициента размножения на быстрых нейтронах в нём растёт.

В реакторах ВВЭР основная доля деления ядер происходит тепловыми нейтронами, коэффициент использования тепловых нейтронов повышается при переходе на ториевое топливо.

Таким образом, использование тория в реакторах типа ВВЭР реализуемо, так как эффективный коэффициент размножения для холодного реактора удовлетворяет всем требованиям, но для горячего нуждается в дополнительных исследованиях.

Топливо ThO_2 может быть использовано в реакторе ВВЭР без изменения конструкции активной зоны, конструкции ТВС, а также системы управления и контроля защиты. Возможности системы управления и защиты, а также системы регулирования ВВЭР позволяют гибко изменять параметры реакторов в течение длительных периодов эксплуатации.

При этом замена топлива UO_2 на топливо ThO_2 приводит к существенным изменениям параметров нестационарных процессов, которые необходимо всесторонне исследовать.

1. Касьян А. И., Хамидуллин Р. Я. Перспективы ториевого цикла. Часть 1, 2. Двигатель, 2012, № 1, №2.
2. Nelson A. T. Thorium: Not a near-term commercial nuclear fuel / Bulletin of the Atomic Scientists: journal. 2012. Vol. 68, no. 5.

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В НЕОДНОРОДНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЯХ С ПОСЕЩЕНИЕМ ЗАДАННЫХ ТОЧЕК

Григорьев А.М.¹, Ташлыков О.Л.², Кропачев Ю.А.³

¹ ИММ УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

³ Белоярская АЭС, Заречный, Россия

E-mail: ag@uran.ru

OPTIMIZATION OF THE ROUTE OF PERSONNEL MOVEMENT GIVEN SET OF POINTS IN INHOMOGENEOUS RADIATION FIELDS

Grigoryev A.M.¹, Tashlykov O.L.², Kropachev Yu.A.³

¹ N.N. Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics, Yekaterinburg, Russia

² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

³ Beloyarsk NPP, Zarechny, Russia

The developed program of automated formation of the route of the dosimetrist in a radiation-hazardous room with a visit to the specified points for the purpose of radiation measurements, is described. The calculated and experimental data are compared in the conditions of nuclear power plants.

С момента перехода атомной отрасли на новые нормы радиационной безопасности (НРБ-96/99/2009) коллективные дозы облучения на всех АЭС снизились в 3-3,5 раза и достигли некоторого стационарного уровня, незначительно различаясь по годам из-за различных объемов регламентных ремонтных работ. Для дальнейшего сокращения облучаемости необходима оптимизация радиационной защиты персонала и управление индивидуальными дозами. Среди основных способов снижения дозовых нагрузок можно выделить воздействие на радиационный параметр (например, дезактивация, экранирование), увеличение расстояния от источника излучения до работника (использование дистанционных средств) и уменьшение времени пребывания в радиационных полях (например, использование автоматизированных средств, тренировки в чистой зоне).

Значительный потенциал в снижении облучаемости персонала имеет маршрутная оптимизация при проведении работ в неоднородных радиационных полях (определение оптимального маршрута перемещения, в том числе с посещением заданных точек с учетом обхода препятствий, оптимальной последовательности демонтажа элементов радиоактивных систем) [1], [2], [3].

В представленном докладе приводится решение «задачи дозиметриста» [4], в которой специалист должен посетить ряд заданных точек в радиационно-опасном помещении, в которых необходимо измерить радиационные параметры или взять пробу среды для определения удельной или поверхностной радиоактивности. Кроме того, необходимо учесть имеющиеся препятствия в виде

оборудования, стен и т.д., то есть определяемый маршрут должен проходить в обход этих препятствий. Целевой функцией при решении «задачи дозиметриста» является нахождение оптимального маршрута, обеспечивающего минимальную интегральную дозу облучения.

Исходными данными для определения оптимального маршрута являются данные о мощности дозы излучения в так называемых опорных точках помещения. Поскольку, не всегда имеются сведения по всем необходимым реперным точкам помещения, для их определения рассматривается возможность использования интерполяции известных данных по мощности дозы на основе радиальных базисных функций. Проведена оценка погрешности интерполяции при различном количестве точек, для которых отсутствует информация по мощности дозы излучения. Результаты проведенной оценки погрешности подтверждены экспериментальными данными для реальных помещений Белоярской АЭС.

1. Grigoryev A. M., and Tashlykov O. L. Solving a routing optimization of works in radiation fields with using a supercomputer: AIP Conference Proceedings 2015, 020028 (2018); doi: 10.1063/1.5055101 – <https://doi.org/10.1063/1.5055101>
2. Grigoryev A. M., Tashlykov O. L. Route optimization during works in non-stationary radiation fields with obstacles. December 2019. AIP Conference Proceedings 2174(1): 020216. DOI: 10.1063/1.5134367
3. Grigoryev Aleksey M., Tashlykov Oleg L., Popel Andrey A., and Kropachev Yuriy A. Determination of radiation field parameters for the problems of routing optimization based on interpolation with radial basis functions AIP Conference Proceedings 2313, 020007 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0032248>
4. Кропачев Ю.А., Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П. Подсистема автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки Ядерная и радиационная безопасность. 2019. № 3 (93). С. 26-35

УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КАМПАНИИ ТОПЛИВА РЕАКТОРА КЛТ-40С ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОСТАВА СТАРТОВОЙ ЗАГРУЗКИ

Юрченко М.Д.¹, Балачков М.М.¹, Белявский С.В.¹

¹) Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет
E-mail: mdy2@tpu.ru

INCREASING FUEL LIFE TIME FOR KLT-40S REACTOR BY MEANS OF SWITCHING THE INITIAL NUCLIDE COMPOSITION

Iurchenko M.D.¹, Balachkov M.M.¹, Beliavskii S.V.¹

¹) National Research Tomsk Polytechnic University

In this study there was simulated the homogeneous core of RITM-200 (a small modular 200 MWth pressurized water reactor) and was calculated the fuel lifetime by two methods. From our findings, switching to thorium-uranium fuel is likely to extend the fuel lifetime by 27%.

В настоящее время существует около 50 различных проектов малых модульных реакторов. Такие реакторы обладают малыми размерами и могут быть доставлены в труднодоступные регионы, чтобы обеспечить децентрализованное производство электроэнергии либо опресненной морской воды.

Один из таких реакторов - КЛТ-40С, установленный на ПАТЭС “Академик Ломоносов”. Два таких реактора обеспечивают электроэнергией г.Певек, расположенный на Крайнем Севере, вдали от централизованного энергообеспечения.

Длительность кампании ядерного топлива (а также частота перегрузок топлива) является одним из главных экономических показателей энергоисточника. Этот показатель можно улучшить, продлив кампанию ядерного топлива путём перехода с уран-плутониевого топливного цикла на ториевый топливный цикл при одинаковом содержании делящегося изотопа.

Чтобы подтвердить это, проведены расчёты элементарной ячейки КЛТ-40С многогрупповым методом [1] и методом Монте-Карло (MCU-PTR) [2]. Многогрупповой расчёт основан на решении системы уравнений диффузии нейтронов итерационным методом. Элементарная ячейка в расчёте заменяется на гомогенизованную. Выгорание нуклидов смоделировано при помощи конечно-разностной решения системы дифференциальных уравнений накопления и деления изотопов.

При расчёте методом Монте-Карло также была описана гомогенизованная ячейка с идентичным нуклидным составом, как и в многогрупповом методе. Моделирование выгорания производилось при помощи пакета BURNUP, входящего в программу MCU-PTR.

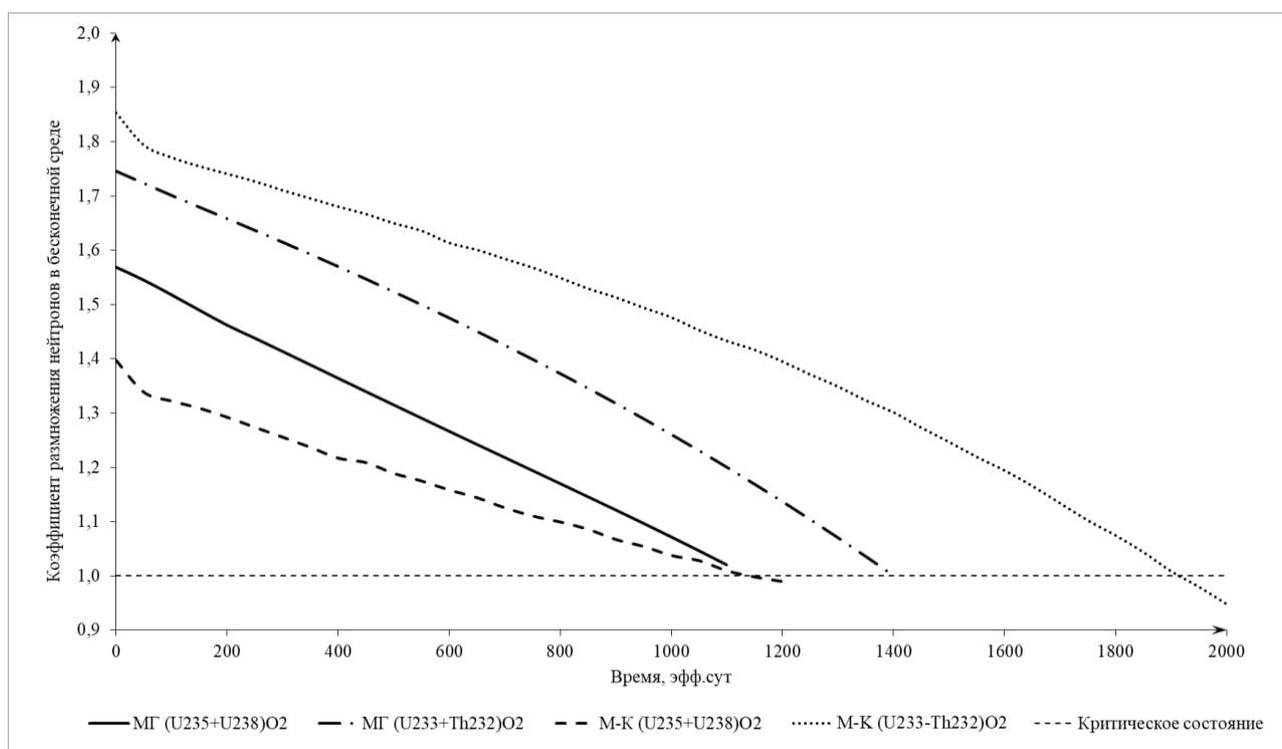


Рис. 1. Зависимость коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде от времени для различных методов и композиций

На рисунке представлены зависимости коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде от времени для обеих композиций и методов.

Исходя из зависимостей на рисунке, можно увидеть, что оба метода показывают значительный прирост кампании ядерного топлива при переходе на ториевый топливный цикл (27% для многогруппового метода и 80% для метода Монте-Карло).

1. Beliavskii S. V. et al. Effect of fuel nuclide composition on the fuel lifetime of reactor KLT-40S //Nuclear Engineering and Design. – 2020. – Т. 360. – С. 110524.
2. Alekseev N. I. et al. The status of MCU-5 //Physics of Atomic Nuclei. – 2012. – Т. 75. – №. 14. – С. 1634-1646.

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

Кадочникова Е.Р.¹, Екидин А.А.¹

¹) Уральский Федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия
E-mail: ekaterina.kadochnikova.romanov@gmail.com

MONITORING OF RADIOACTIVE RELEASES IN THE MIDDLE URALS

Kadochnikova E.R.¹, Ekidin A.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

The report presents the results of long-term monitoring of the ambient dose equivalent rate, total beta-activity of atmospheric fallout and aerosols, as well as the activity of Cs-137 and Sr-90 radionuclides in atmospheric fallout and aerosols at the Verkhneye Dubrovo weather station.

Избежать облучения ионизирующим излучением невозможно. Облучение является постоянной и неотъемлемой частью повседневной жизни. Радиационный фон Земли складывается из трех компонентов:

1. Космическое излучение;
2. Излучение от рассеянных в почве, воздухе, воде и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
3. Излучение от техногенных радионуклидов.

Радиационный фон не постоянен, так, например, величина космического излучения зависит от высоты местности над уровнем моря и активности солнечного цикла. Кроме непосредственного космического излучения в атмосфере в результате ядерных реакций образуются радиоактивные ядра H-3, Be-7, C-14, Na-22 и других.

Помимо космического излучения, на человека воздействует облучение земного происхождения. На сегодняшний день на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 107 лет и выше. Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения для человека составляет около 0,35 мкЗв за год. Однако уровень земной радиации неодинаков в различных районах Земли, поэтому считать данную оценку универсальной не корректно.

Но самое пристальное внимание для изучения уделяется излучению от источников, созданных человеком. В результате деятельности человека во внешней среде появились искусственные радионуклиды и источники излучения. В природную среду стали поступать в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из недр Земли вместе с углем, газом, нефтью,

минеральными удобрениями, строительными материалами. Это приводит к увеличению дозы облучения, получаемой как отдельными людьми, так и населением в целом.

Оценить влияния радиационного излучения помогает непрерывный мониторинг. В докладе представлены результаты многолетнего мониторинга мощности амбиентного эквивалента дозы, суммарной бета-активности атмосферных выпадений и аэрозолей, а также активности радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в атмосферных выпадениях и аэрозолях на метеостанции Верхнее Дуброво. В работе рассматривается мониторинг атмосферных выпадений с суточной экспозицией, аэрозолей с экспозицией пять суток с 1998 года по 2021 год.

Данная метеостанция выбрана не случайно, она входит в 30-км зону влияния Белоярской атомной электростанции, что позволит оценить дополнительный вклад в общий радиационный фон, образующийся при штатной деятельности БАЭС.

1. О.И. Василенко. - "Радиационная экология" – М.: Медицина, 2004. – 216 с.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам от 23.06.2015г. выпуск 12 «Наблюдения за радиоактивным загрязнением компонентов природной среды».

РЕАКЦИЯ СИНТЕЗА МОЛИБДЕНА ИЗ ТИТАНА

Кащенко Н.М.¹, Кащенко М.П.^{1,2}, Смирнов М.Б.², Чепелев Ю.Л.²,
Илюшин В.В.², Николаева Н.В.³, Пушин В.Г.^{1,3}

¹⁾ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург,
Россия

³⁾ Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: nad.kashenko@yandex.ru

SYNTHESIS REACTION OF MOLYBDENUM FROM TITANIUM

Kashchenko N.M.¹, Kashchenko M.P.^{1,2}, Smirnov M.B.², Chepelev Yu.L.²,
Pyushin V.V.², Nikolaeva N.V.³, Pushin V.G.^{1,3}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

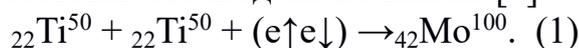
²⁾ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

³⁾ Institute of Physics of Metals, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

The composition of the powder obtained by electric current discharges in water in the case of titanium-based alloy electrodes is given. The formation of molybdenum and zirconium testifies in favor of the nuclear fusion reaction with the absorption of electron pairs bound by contact interaction.

Имеется достаточно много экспериментальных фактов, свидетельствующих о протекании низкотемпературных ядерных реакций синтеза, например, при пропускании импульсов электрического тока в воде или водных растворах солей (см., например, [1]). Результаты адронной механики [2] позволяют предложить модель синтеза ядер, обобщающую идеологию мюонного катализа [3], в которой взаимодействующие ядра сближаются на расстояние $R_s \sim 10^{-13}$ м за счет притяжения к отрицательному заряду КК-активаторов [4]. КК-активаторы – это катализирующие процесс ядерного синтеза кольцевые орбиты, содержащие компактные массивные (е⁻)-пары электронов, связанных контактным взаимодействием. Как показано в [5], формирование (е⁻)-пар оказывается возможным при сравнительно небольших кинетических энергиях (порядка 10эВ) относительного движения электронов.

Принципиальную роль играет вывод о возможности синтеза массивных ядер в реакциях с захватом (е⁻)-пар. При этом синтез должен сопровождаться выделением энергии, несмотря на то, что массовое число синтезированного ядра относится к нисходящей части зависимости удельной (на один нуклон) энергии связи ядра от массового числа А. Как известно [6], синтез подобных ядер должен протекать как эндотермическая реакция. Примером экзотермической реакции синтеза может служить образование молибдена из титана [4]



Отметим, что наличие пяти стабильных изотопов титана (Ti-46,47,48,49,50) позволяет синтезировать весь набор стабильных изотопов молибдена (Mo-92, 94, 95, 96, 97, 98, 100), как и относительно долгоживущий Mo-93 (период полураспада ≈ 4000 лет). Очевидно, что в случае захвата двух (ee)-пар возможен синтез циркония, однако не полного набора его стабильных изотопов.

Для проверки возможности протекания реакций синтеза молибдена из титана в установке, использовавшейся ранее в [7], были использованы электроды из сплава титана. Увеличение электропроводности дистиллированной воды осуществлялось добавлением азотной кислоты. Разряды электрического тока сопровождалась появлением порошка при заметной эрозии электродов.

Энерго-дисперсионный анализ показал, что материал электродов имеет следующий состав (указывается символ элемента, а далее в круглых скобках приводится его содержание в весовых и атомных процентах): Al (07.70, 12.76), P (00.86, 01.24), S (01.75, 02.43), Ti (88.28, 82.43), Fe (01.41, 01.13). Приведем для сравнения один из результатов анализа химического состава порошка: Al (16.62, 27.40), Si (01.35, 02.13), Zr (02.63, 01.28), Mo (02.40, 01.11), Ti (58.90, 54.67), Fe (08.17, 06.51), Cu (06.81, 04.77), Zn (03.13, 02.13).

Появление в составе порошка значимого содержания молибдена и циркония свидетельствует, по нашему мнению, в пользу реализации реакций синтеза массивных ядер с захватом (ee)-пар, типа реакции (1). В связи с этим большой интерес представляет анализ состава порошка на масс-спектрометре.

1. V. F. Balakirev, V. V. Krymskiy, B. V. Bolotov et al. Interconversion of chemical elements. Ekaterinburg, UB RAS (2003) 97 p.
2. R. M. Santilli. Foundations of Hadronic Chemistry. With Applications to New Clean Energies and Fuels. Boston-Dordrecht-London, Kluwer Academic Publishers (2001) 554 p.
3. S. S. Gershtein, Yu. V. Petrov, L. I. Ponomarev, Sov. Phys. Usp. 33(8), 591-615 (1990).
4. М.П. Кащенко, Н.М.Кащенко. Низкотемпературный ядерный синтез: введение в проблему и ее концептуальное решение. Екатеринбург, УГЛТУ (2022) 180 с.
5. M. P. Kashchenko, N. M. Kashchenko, Letters on Materials. 10 (3), 266-271 (2020).
6. Де Бенедетти С. Ядерные взаимодействия. М., Атомиздат (1968) 476 с.
7. M. P. Kashchenko, V. F. Balakirev, N. M. Kashchenko, M. B. Smirnov, Yu. L. Chepelev, V. V. Ilyushin, N. V. Nikolaeva, V. G. Pushin, Letters on Materials. 10 (4), 486-490 (2020).

НЕЙТРОННО-ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ НОЖЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБНАРУЖЕННЫХ В КРЕПОСТИ УЗУНДАРА

Юлдашев Б.С.¹, Ташметов М.Ю.¹, Исматов Н.Б.¹, Хакимов Ж.Б.¹,
Пидаев Ш.Р.², Шахриёров Ш.Т.³

¹) Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан

²) Институт искусствознания Академии наук Республики Узбекистан

³) Национальный Университет Узбекистана им. Мирзо-Улугбека

E-mail: jalilbek008@gmail.com

NEUTRON-TOMOGRAPHIC STUDY OF THE INTERNAL STRUCTURE OF KNIFE PRODUCTS FOUND IN THE UZUNDARA FORTRESS

Yuldashev B.S.¹, Tashmetov M.Yu.¹, Ismatov N.B.¹, Khakimov J.B.¹,
Pidayev Sh.P.², Shakhriyorov Sh. T.³

¹) Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic
of Uzbekistan

²) Institute of Art Studies of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

³) National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

This thesis examines the internal structure using neutron tomography of two knife products (of different composition), which were found in the Uzundara. From the received information, the method of their processing when forging an object and internal defects in the material are described.

Известно, что археологические находки дают нам ценную информацию о культуре того периода, образе жизни населения и о том, насколько развиты были наука и техника. Поэтому информация об археологических находках и их изучении имеет большое значение. Одной из таких археологических находок является крепость Узундара, которая датируется III-II веками до нашей эры. Данный крепость была найдена и обследована академиком Э.В. Ртвеладзе в 1991 г [1].

По данном российско-узбекской археологической экспедиции, крепость Узундара которая находится в Байсунском районе Узбекистана, на горе Сусизтаг на высоте 1700 м над уровнем моря, было построена в начале III века до нашей эры и пала после штурма войск кочевников во II веке до нашей эры [2]. В крепости Узундара были найдены металлические изделия таких как луковые стрелы, доспехи, фибулы, ножи, монеты, гвозди, шили и т. д.

Исследование и анализ внутренней структуры некоторых находок (металлический ножи), найденных в крепости Узундара методом нейтронной томографии, были проведены с использованием комплексных программ. В частности, была проведена трехэтапная программная обработка для нейтронной томографии. В этих программах:

– На первом этапе файлы нейтронного томографа в формате TIFF обрабатывались с помощью программы ImageJ. В соответствии с ним были очищены лишние части изображения (томографированного) объекта от так называемых помех и пятен, а также одной из сложных задач, повышение четкости и резкости изображения, которой можно достичь в этой программе.

– На втором этапе файлы TIFF преобразованы в формат TDF с помощью STP (SYRMEP Tomo Project v. 1.2.5). После определения оси вращения и удаления линий (колец) между слоями с помощью «de-stripping (ring removal)» методом «Oimoen, 2000» выполняется конвертация формата TDF обратно в TIFF.

– На третьем этапе с помощью программы Avizo создается трехмерный вид объекта с использованием окончательных файлов TIFF, полученных от программы STP. Затем объект тщательно изучался с использованием нескольких фильтров и операций в программе Avizo. [3]

Один из образцов является бронзовый ножи, найденные в крепости (рис.1). Геометрические размеры бронзового клинка, следующие: длина 16,4 см, толщина в некоторых частях достигает до 0,64 см, а ширина доходит до 3,3 см.

В процессе изучения образца обнаружены небольшие поры. Из 2-ой рисунки видно, что в процессе изготовления ножа образовались не однородные участки в материале. Результаты измерений показали, что размер пор, входящих в состав ножа, составляет в среднем 1,1 – 2,6 мм. Примечательно, что в рукоятке ножа не были обнаружены поры.

На рис.4 показаны разрезы, по которым хорошо видны поры в основном в толстой части ножа. Это означает что при обработке большое внимание уделялось режущей части, а обратная сторона, можно сказать, практически не обрабатывалась, о чем свидетельствует большое количество пор в основном именно в этой части.

1. Двуреченская Н.Д. // Узундара – форпост на краю эллинистической ойкумены. Наука и жизнь Узбекистана 2021 г. №3–4. с. 39.
2. <https://scientificrussia.ru/articles/na-granice-ellinisticeskogo-mira-kak-byla-postroena-krepost-uzundara#:~:text=%D0%91%D1%8B%D0%BB%D0%BE%20%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%2C%20%D1%87%D1%82%D0%BE%20%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%B1%D1%8B%D0%BB%D0%B0,%D0%B4%D0%BE%20%D0%BD>
3. M.Yu. Tashmetov, B.S. Yuldashev, N.B. Ismatov, J.B. Khakimov. Virtual-three-dimensional image of the object studied by the method of neutron tomography. Modern problems of nuclear energetics and nuclear technologies. Tashkent-2021, pp. 237- 238.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЁННОЙ ДОЗЫ В РАЗНЫХ СРЕДАХ ДЛЯ ГАММА-ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО АППАРАТА TERABALT В ЦЯМИО

Комилов М.М.^{1,4}, Калонов А.А.², Айткалиев С.М.³, Айткалиев Ж.К.³

- ¹⁾ Худжандский политехнический институт Технического университета Таджикистана имени академика М.С.Осими, Худжанд, Таджикистан
²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия
³⁾ Центр ядерной медицины и онкологии, г. Семей, Казахстан
⁴⁾ Худжандский государственный университет им. академика Б. Гафурова
 E-mail: mirhabib93@gmail.com

QUALITY CONTROL OF RADIOTHERAPY FOR DETERMINING THE ABSORBED DOSE RATE IN VARIOUS ENVIRONMENTS FOR THE GAMMA THERAPEUTIC DEVICE TERABALT

Komilov M.M.^{1,4}, Kalonov A.A.², Aitkaliyev S.M.³, Aitkaliyev Zh.K.³

- ¹⁾ Khujand Polytechnic Institute of the Technical University of Tajikistan named after Academician M.S.Osimi, Khujand, Tajikistan
²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the UB RAS, Yekaterinburg, Russia
³⁾ Center for Nuclear Medicine and Oncology, Semey, Kazakhstan
⁴⁾ Khujand State University named after academician B. Gafurov

This article presents the results of determining the absorbed dose rate in water for the gamma therapeutic device Terabalt in the Center of Nuclear Medicine and Oncology in Semey.

Актуальность

Дистанционная лучевая терапия считается один из важных методов лечения онкологических заболеваний. Основным требованием к радиологическим комплексам и определяющим, фактически эффективность их работы, является возможность формирования и подведения заданного количества дозы к очагу поражения, с учетом дозиметрических и анатомических особенностей области облучения[2,3].

Контроль качества радиотерапевтического оборудования является составной частью гарантии качества лучевой терапии – системы мероприятий по контролю качества всего технологического процесса лучевой терапии. Поскольку аппараты для облучения больных являются главным элементом в процессе лучевого лечения, проверка качества их работы имеет особое значение для достижения успешного результата.

Центр ядерной медицины и онкологии г. Семей один из ведущих центров по борьбе с онкозаболеваниями и улучшением качества жизни пациентов в

Республике Казахстан. В центре имеется современное оборудование для проведения лучевой терапии.

Цель работы

Провести контроль качества в лучевой терапии и определить мощность дозы на разных средах.

Материалы и методы исследования

Проводился контроль качества по определению мощности поглощенной дозы в разных средах на гамма-терапевтическом аппарате Terabalt ^{60}Co (производства Чешская Республика, дата выпуска 2008). Абсолютная дозиметрия: определение мощности поглощённой дозы в воде (дистиллированная) для фотонных пучков, согласно международному дозиметрическому протоколу TRS-398. Используя RW3 Slab Phantom "Белая вода" определили мощности поглощенной дозы в твердой воде. В качестве стандартной среды для измерений поглощенной дозы для пучков ^{60}Co размер фантома должен не превышать по крайней мере 5 см все четыре стороны размера поля, определенного на глубине измерения и иметь толщину на 5 г/см² больше максимальной глубины, до которой производятся измерения. При измерении поглощенной дозы использовался цилиндрическая ионизационная камера.[1]

Обсуждение

При анализе полученных измерений мощности поглощённой дозы было выявлено, что мощность поглощённой дозы в воде несколько больше, чем мощность поглощённой дозы в водозквивалентного фантоме RW3, но повторяемость выявленных данных, полученные на фантоме RW3 стабильные по сравнению в дистиллированной воде.

На результат исследований проведенных на водной среде повлияли факторы температуры, давления, испарения и образование волн на поверхности. При проведении исследования на водозквивалентном фантоме RW3 влияние данных факторов стремилось к незначительным величинам, которые можно не учитывать.

Выводы

Таким образом, можно предположить, что проведение контроля качества и определения мощности дозы предпочтительно проводить на водозквивалентного фантоме RW3.

Авторы выражают признательность руководству и сотрудникам Центра Ядерной Медицины и Онкологии города Семей (Республика Казахстан) за оказанную помощь при проведении исследования и подготовки данного материала.

Авторы выражают благодарность Департамент технического сотрудничества, Международное агентство по атомной энергии за предоставленную возможность проведения данной работы.

1. Рд-50-691-89. Методические указания. Определение поглощенных доз фотонного (1-50 МэВ) и электронного (5-50 МэВ) излучений в лучевой терапии. М., Изд. стандартов 1989

2. Программа гарантии качества лучевой терапии [Электронный ресурс] / Под ред. Н. А. Артемова — Электрон, дан. — М.: Справочно-информационный интернет-портал «Государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова», 2012. — Режим доступа: <http://omr.med.by/>, свободный. — Загл. с экрана.
3. Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer [Text] - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2004. - 281 p.: il.: 24 cm. - ISBN 92-0-105304-5 (eng.).

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНЫ

Кораблев Д.А.¹, Бреусова А.А.¹, Бессонов И.А.¹, Ташлыков О.Л.¹

¹) Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

E-mail: korabliev_ekb@bk.ru

COMPUTATIONAL MODELING OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF CLAY

Korablev D.A.¹, Breusova A.A.¹, Bessonov I.A.¹, Tashlykov O.L.¹

¹) Ural federal university named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

Annotation. The paper presents a method for shielding gamma radiation. The absorption capacity of clays of various compositions with various fillers was calculated. A model of the manufacture of a brick product is presented.

В настоящее время особо остро стоит задача по реализации принципа оптимизации в радиологической защите персонала, как эксплуатирующего существующие энергоблоки, так и занимающегося снятием с эксплуатации [1].

Существует три основных способа сокращения дозовых затрат персонала: экранирование источников ионизирующего излучения (ИИ), увеличение расстояния, сокращение времени пребывания в радиационных полях.

Совершенствование радиационной защиты становится важной задачей. В последнее время появилось большое количество статей, в которых сообщалось о защитных способностях недорогих, эффективных и экологически чистых новых строительных материалов и бетонов.

Одним из основных критериев радиационной защиты является мобильность и скорость установки экранирующего материала. В качестве такого материала можно использовать кирпичи, способные ослаблять гамма-излучение.

Кирпичи изготавливаются с использованием различных материалов и считаются одним из важнейших компонентов здания. Основным компонентом кирпича является глина. Глина - это мелкозернистый природный минерал. Она обладает пластичными свойствами при смешивании с водой, в то время как при сушке или обжиге приобретает высокую твердость. Во многих работах были изменены теплофизические, изоляционные и радиационно-защитные характеристики кирпичей с использованием различных добавок.

Тяжелые металлы, которыми легируются глиняные кирпичи, обладают выраженными радиационно-защитными свойствами. При добавлении тяжелых металлов в глиняные кирпичи решаются такие задачи, как получение строительных материалов с защитными свойствами и утилизация промышленных отходов, которые могут быть использованы для создания быстровозводимой защиты при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Необходимость

во временной быстровозводимой защите оборудования периодически возникает в помещениях, где планируется выполнение демонтажных работ [2].

Была проведена серия расчетов глин различных составов. Также в глину добавлялись различные наполнители, обладающие хорошими радиационно-защитными свойствами.

Для определения массовых коэффициентов ослабления излучения была использована база данных NIST XCOM.

В итоге, были выбраны три финальных состава глины, из которых были изготовлены образцы кирпичей, а также были добавлены наполнители, которые улучшали радиационно-защитные свойства исследуемых материалов. Результаты проделанной работы говорят о том, что наполнители, введенные в матрицу глины, дают положительный эффект, который демонстрируется в уменьшении толщины слоя половинного ослабления излучения примерно на 25-30%[3].

1. Country statistics [Electronic resource]. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=RU> (date of acces: 03.12.2021)
2. Русских И. М. Экспериментально-теоретическое исследование органометаллических радиационно-защитных материалов, адаптированных к источникам излучения со сложным изотопным составом / И. М. Русских, Е. Н. Селезнев, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин // Ядерная физика и инжиниринг. 2014. Том 5. № 5. С. 449-455.
3. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений: справочник / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с

РАДИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТАЛЫХ ПРИДОРОЖНЫХ ВОД В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Кривополенов Н.В.¹, Гошев А.А.¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
Архангельск, Россия
E-mail: krivopolenov.n@yandex.ru

RADIOLOGICAL ANALYSIS OF ROADSIDE MELTWATER IN URBAN ENVIRONMENTS

Krivopolenov N.V.¹, Goshev A.A.¹

¹Northern (Arctic) University named after M.V. Lomonosov, Archangelsk, Russia

This paper presents an extended study of melted roadside water in the urban agglomeration (Arkhangelsk) in the springtime at the time of active snow melting for the presence of radioactive isotopes.

Большую угрозу для экологической обстановки представляет процесс таяния загрязненного снега. Талая вода, содержащая большое количество тяжелых металлов, полимеров, радиоактивных изотопов, может перемещаться на тысячи километров, нанося вред местной флоре [1-4].

Значительная часть радионуклидов первичного загрязнения среды смывается с загрязненных поверхностей и с талыми, а также дождевыми водами поступает в открытые и, частично, в грунтовые воды.

В данной работе приводится расширенное исследование талых придорожных вод в городской агломерации (г. Архангельск) в весеннее время в момент активного таяния снега на предмет наличия радиоактивных изотопов.

Образцы талого снега взяты в разных частях города, в активных транспортных зонах местах работы промышленных предприятий, спальных районах.

После необходимой пробоподготовки образцы загрузились в аппарат Hidex 300 SL, где на основе метода жидкого сцинтилляционного счета [5] (LSC) происходил процесс измерения, результатом которого стала зависимость интенсивности (количества зарегистрированных импульсов) от энергии (кэВ)

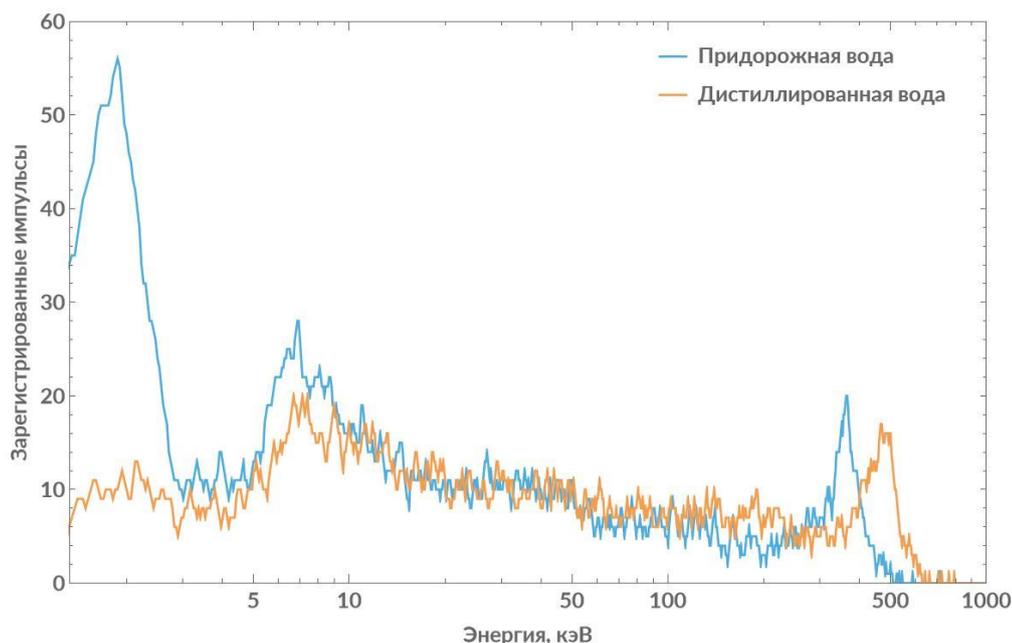


Рис. 1. Бета-спектры излучения образца дистиллированной и придорожной воды

Характерные зависимости позволили сделать вывод о радиологическом состоянии городской агломерации, определить тип изотопа и меру загрязнения.

1. Салонен, Л. Жидкостная сцинтилляционная α/β – спектрометрия как метод обследования грунтовых вод Финляндии / Л. Салонен // Радиохимия. – 2006. – Т. 48. – № 6. – С. 544-550.
2. Olfert, J. M. Rapid determination of $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ in water samples by liquid scintillation and Cherenkov counting / Olfert, J. M., Dai, X., Kramer-Tremblay, S. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry - 2014. – V.300(1) - P.263-267.
3. Lefebvre K, Barbecot F, Ghaleb B, Larocque M, Gagné S. Full range determination of ^{222}Rn at the watershed scale by liquid scintillation counting / K. Lefebvre, F Barbecot, F, Ghaleb, B, Larocque M, Gagné S.// Appl Radiat Isot. – 2013 V. 75 P.71-76.
4. Povinec P.P. Isotope tracing of submarine groundwater discharge offshore Ubatuba, Brazil: results of the IAEA-UNESCO SGD project/ Povinec Pavel P [et.all] // J Environ Radioact. - 2008 V. 99(10) P.1596-1610
5. Мякинен.П. Руководство по жидкостному сцинтилляционному счету./ инст. техн., отдел, 1995. - 54 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОПНОЙ КИНЕТИКИ В ПЕТЛЕ РЕАКТОРА МБИР С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ ТОПЛИВОМ

Кузенкова Д.С.¹, Бландинский В.Ю.¹

¹) НИЦ «Курчатовский институт», г Москва, Россия
E-mail: darya.kuzenckowa@yandex.ru

ISOTOPIC KINETIC SIMULATION IN MBIR REACTOR LOOP CHANNEL WITH CIRCULATING FUEL

Kuzenkova D.S.¹, Blandinskiy V.Yu.¹

¹) NRC «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

A computational algorithm for isotopic evolution of circulating fuel salt in the MBIR reactor loop channel was developed in accordance with the previously calculated parameters of this channel.

Жидкосолевые топливные композиции могут использоваться как в перспективных реакторах деления [1], так и в blankets гибридных термоядерных реакторов [2].

Работа посвящена моделированию эволюции изотопного состава жидкосолевой топливной композиции в экспериментальном канале реакторной установки МБИР [3].

Рассматриваются две задачи моделирования системы (петли) с циркулирующим топливом:

- 1) моделирование равновесного изотопного состава соли в системе с циркулирующим топливом;
- 2) разработка методики моделирования нестационарной изотопной кинетики в петле реактора МБИР.

Моделирование нестационарной изотопной кинетики может быть реализовано в виде последовательного выгорания нуклидов в поле нейтронов (петля в активной зоне реактора) и выдержки во время движения во внешнем контуре.

Разработан алгоритм и программное средство на языке программирования Python 3.9 с использованием модулей ПС ISTAR [4] для моделирования изотопной кинетики исследуемой топливной композиции, циркулирующей между зонами с полем нейтронов и без него, на любом наперед заданном интервале времени (вплоть до топливной кампании реактора МБИР – 500 сут).

В настоящее время ведутся работы по упрощению расчетного алгоритма в целях сокращения времени счета.

1. Alekseev, et al., Nuclear Reactors with Enhanced Safety (analysis of conceptual developments), Energoatomizdat, Moscow (1993).

2. Велихов Е. П. и др. Приемлемость замыкания топливного цикла ядерной энергетики //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. – 2021. – Т. 44. – №. 1. – С. 5-12.
3. Blandinskii V. Y., Kuzenkova D. S. Computational Validation of Experiments with Molten-Salt Thorium-Uranium Fuel Compositions in MBIR Test Loop //Atomic Energy. – 2020. – Т. 128. – №. 5. – С. 271-276.
4. Blandinskiy V. Yu., Dudnikov A. A. Calculations of spent fuel isotopic composition for fuel rod from VVER440 fuel assembly benchmark using several evaluated nuclear data libraries, Kerntechnik, 83, No. 4, 325–330 (2018).

ЭПР-ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБИРОК ДЛЯ ВЗЯТИЯ КРОВИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Максимова Т.А.¹, Рябухин О.В.¹, Иванов Д.В.²

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

²) Институт Физики Металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: t.a.maksimova@urfu.ru

EPR INVESTIGATION OF BLOOD TEST TUBES ON THE BASE OF PET

Maksimova T.A.¹, Riabukhin O.V.¹, Ivanov D.V.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) M.N. Miheev Institute of Metal Physics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

EPR investigation of blood test tubes on the base of PET irradiated by 8 MeV electrons were carried out. Time dependence of EPR signal intensity, formed after irradiation, were determined. The results will be useful for standard dose measurements providing at industrial facility.

В инновационно-внедренческом центре радиационной стерилизации УрФУ ведутся производственные работы по стерилизации пробирок (АО «Здравмед-тех») для взятия крови с использованием электронного излучения. Пробирки изготавливаются из полиэтилентерефталата, стерилизующая доза составляет 11 кГр [1]. Стерильность достигается за счет взаимодействия и уничтожения биологической загрязненности на поверхности данных изделий. Вместе с тем физическое воздействие ускоренных электронов на материал пробирки ведет к его деградации. Для сохранения свойств материала и изделия в процедуре радиационной стерилизации устанавливается максимально допустимая доза облучения, превышения которой, не должно происходить во время обработки. Тем не менее, для реальной продукции представляет интерес в какой степени происходит деградация материала пробирки в зависимости от поглощенной дозы.

Для изучения степени деградации был выбран метод ЭПР – спектрометрии [2], являющийся чувствительным к образованию радикалов под действием ускоренных электронов. Для достоверного установления наличия процесса формирования радикалов и их дальнейшего поведения пробирка была облучена заведомо высокой дозой - 100 кГр. В течение 40 часов после облучения был измерен ЭПР спектр пробирки, представленный на рисунке. Видим, что действие излучения приводит к образованию радикалов, о чем свидетельствует формирование в спектре двойного ЭПР сигнала с $g=2,016$ и ширинами линий приблизительно 11 и 24 Гс.

Кроме этого была измерена временная зависимость интенсивности сформированного после облучения ЭПР – сигнала для оценки скорости распада образующегося радикала и его термической устойчивости при комнатной температуре. По зависимости видно, что формирующиеся радикалы являются не

устойчивыми и распадаются, следствием чего является экспоненциальное уменьшение интенсивности ЭПР-сигнала.

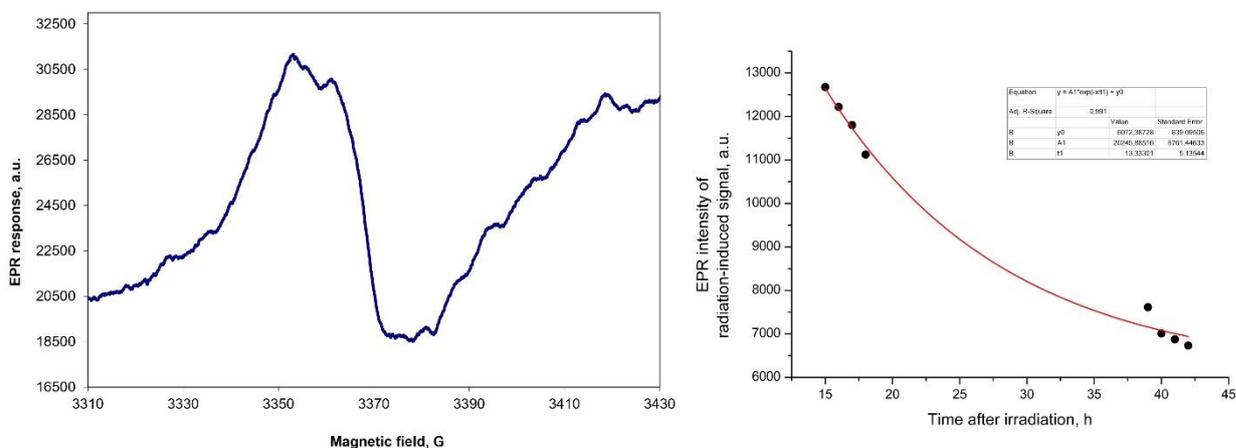


Рис. 1. ЭПР сигнал облученной пробирки и изменение его интенсивности с течением времени

Далее планируется провести облучение дозами в пределах максимального значения до 30 кГр, установленного для данного типа продукции, исследовать ЭПР-спектры облученных образцов, оценить степень деградации пробирок для забора крови при облучении дозами, соответствующими процедуре стерилизации.

Полученные результаты и способ ЭПР – спектрометрии можно использовать в производственном процессе для подтверждения доставленной дозы данному виду медицинского товара, что может быть дополнительным способом контроля поглощенной дозы помимо предписанной стандартом процедуры ее измерения с использованием пленочных дозиметров.

1. Инструкция по радиационной стерилизации пробирок для взятия крови
2. Radiation and Environmental Biophysics (2018) 57:357–363

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Мельникова А.С.¹, Балачков М.М.¹, Белявский С.В.¹

¹) Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия
E-mail: asm97@tpu.ru

USE OF RADIATION SHIELDING MADE OF RECYCLED HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)

Melnikova A.S.¹, Balachkov M.M.¹, Beliavskii S.V.¹

¹) National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

In this work we describe a method of radiation shielding production by means of hot molding using high density polyethylene (HDPE) waste. According to our findings, recycled polyethylene protects from neutrons as great as standard lab polyethylene.

При использовании нейтронного излучения встаёт вопрос об обеспечении безопасности персонала и население. Один из методов уменьшения дозовых нагрузок - установка защитных экранов. Сначала нейтроны необходимо замедлить с помощью водородсодержащих сред, чтобы частицы можно было эффективнее поглощать защитным экраном.

Полиэтилен - один из наиболее распространенных материалов упаковки для бытовой химии и крышек для ПЭТ-бутылок ввиду таких свойств как: химическая инертность, твердое агрегатное состояния при нормальных условиях, простота механической обработки, а также безвредность для человека. Однако жизненный цикл полиэтилена заканчивается на полигонах захоронения отходов, где он разлагается на протяжении 200 лет. В контексте ядерных и радиационных технологий полиэтилен интересен из-за высокого содержания водорода, что делает его хорошим замедлителем нейтронов [1].

Таким образом, существует возможность переработки бытовых отходов из полиэтилена в защитные экраны от нейтронов. Чтобы проверить это, изготовлены таблетки из полиэтилена высокой плотности методом горячего формования. Затем, при помощи Am-Li источника нейтронов и радиометра-дозиметра МКС-01Р с кадмиевым фильтром (для исключения влияния отраженных нейтронов), определялись замедляющие и поглощающие свойства полученных заготовок. Также для сравнения использовался лабораторный полиэтилен схожих габаритов.

На рисунке представлено сравнение защитных свойств экранов из лабораторного и переработанного полиэтиленов.

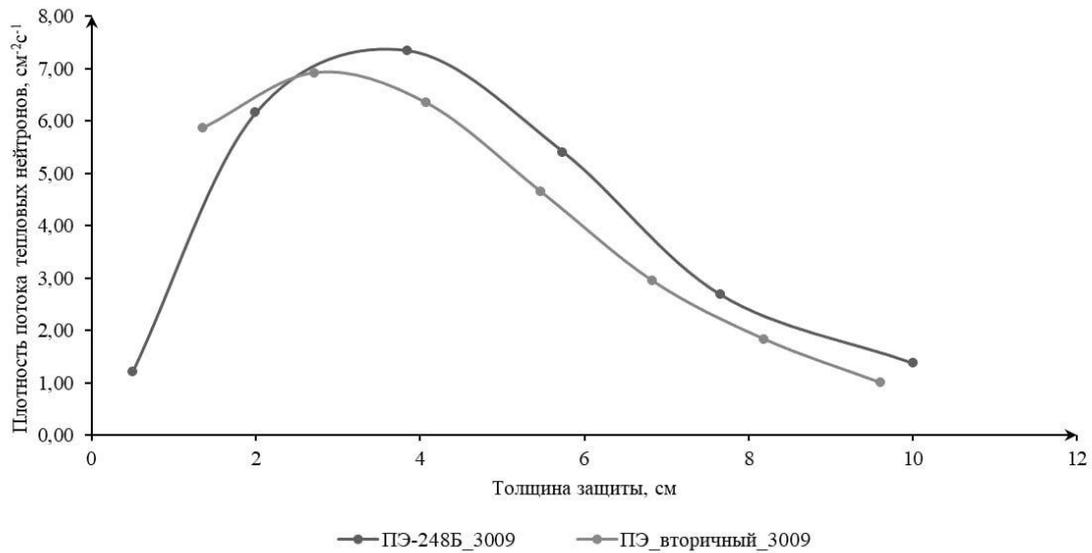


Рис. 1. Плотность потока нейтронов в зависимости от толщины защитного материала

Из рисунка видно, что существенных различий в защитных свойствах материалов не наблюдается, значит пластик, полученный таким методом является хорошим замедлителем нейтронов и не уступает заводскому.

1. Balasundar S. et al. Investigations on neutron attenuation properties of poly-boron materials using Am-Be and ²⁵²Cf sources neutron spectra //Annals of Nuclear Energy. – 2021. – V. 153. – P. 108083.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМЕРИЦИЯ 241

Михалев А.В.¹, Коробейников В.В.²

¹) Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия

²) Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского», г. Обнинск, Россия
E-mail: mikhalev.alexandr2017@yandex.ru

ECONOMIC ESTIMATE OF THE USE OF AMERICIUM 241

Mikhalev A.V.¹, Korobeinikov V.V.²

¹) Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia

²) State Scientific Centre of the Russian Federation – Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering, Joint-Stock Company, Obninsk, Russia

The authors consider potential uses for americium 241 and provide an economic assessment of these approaches. This will make it possible to begin the transmutation of minor actinides in a shorter time to reduce the amount of spent nuclear fuel.

Наибольшее количество америция 241 сегодня сосредоточено в отработавшем ядерном топливе атомных электростанций и, наряду с плутонием и другими минорными актинидами, усложняет процессы обращения с отработавшим топливом. При этом, в отличие от плутония, америций не рассматривается в качестве источника расширения топливной базы, что не способствует скорейшему его выделению из ОЯТ.

С другой стороны, америций 241 обладает большим набором положительных характеристик: длительный период полураспада, удельное тепловыделение на уровне 0,1 Вт/г, невозможность поддержания цепной реакции деления в тепловом спектре нейтронов [1]. Благодаря этому америций-241 широко используется в промышленности и медицине в качестве источника альфа-излучения, но нарабатывается целенаправленно, не затрагивая ОЯТ. В данной работе проанализирована экономическая возможность его использования в качестве источника тепловой или электрической энергии в регионах Крайнего Севера в сравнении с более традиционными вариантами обращения с ОЯТ: долгосрочное хранение или захоронение.

При оценке были рассмотрены следующие составляющие, влияющие на экономические показатели: мокрое хранение ОЯТ, транспортировка, временное сухое хранение ОЯТ, переработка ОЯТ, захоронение ОЯТ, капитальные затраты на строительство тепловой станции или РИТЭГ, генерации энергии с помощью альтернативной энергетики или сжигания дизельного топлива. Для каждого сценария использована часть перечисленных составляющих, характерная именно для

рассматриваемого сценария. Расчёты проведены для мощности в 1 Вт тепловой или электрической энергии для наиболее корректного сравнения результатов.

В результате можно сделать вывод, что использование америция в качестве источника энергии может быть сопоставимо по своим экономическим затратам с прямым захоронением, в сравнении с хранением топлива наблюдается серьезная зависимость от стоимости хранения 1 кг материала в год. При этом, данные о стоимости хранения могут отличаться в десятки раз [2]. Таким образом, при стоимости хранения до 10 \$/кг в год хранение топлива в течение 60 лет может быть экономически более выгодным, но становится существенно более дорогим при стоимости в 100 \$/кг в год и выше.

Вовлечение америция в ядерный топливный цикл и энергетику уже сегодня позволяет не только подготовить материал для использования в рамках трансмутации минорных актинидов, но и получать экономическую выгоду при кумулятивном учете затрат на обращение с ОЯТ в топливном цикле.

1. Mikhalev A. V., Chernov D. O., Korobeinikov V. V. Use of Am-241 in RTGs //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1689. – №. 1. – С. 012063.
2. Методы обращения с ОЯТ энергетических реакторов. / Квятковский С.А., Мансуров О.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 222 с. – Рус. – Деп. 08.06.21, № 39-В2021

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ВЕТРОВОМ ПОДЪЕМЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ С БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ТЕЧЕНСКОГО КАСКАДА ВОДОЕМОВ

Назарович А.В.¹, Екидин А.А.², Антонов К.Л.², Васянович М.Е.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт промышленной экологии, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: a.v.nazarovich@mail.ru

RADIATION IMPACT ASSESSMENT FROM TECHENSKY RESERVOIR CASCADE COASTLINE DUE TO RADIOACTIVE CONTAMINANTS WIND UPLIFT

Nazarovich A.V.¹, Ekinin A.A.², Antonov K.L.², Vasyanovich M.E.²

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Industrial Ecology, Yekaterinburg, Russia

The paper assesses the radiation impact on population from Techensky reservoir cascade (TRC) due to radioactive contaminants wind uplift and transport from reservoirs derelict coastlines. The hydrological drought probability which is conducive to TRC coastline dereliction has been estimated.

Теченский каскад водоемов является системой искусственных водоемов, предназначенной для локализации наиболее сильно загрязненных участков поймы верховья реки. Теченский каскад водоемов был создан для предотвращения радиоактивного загрязнения реки Теча, сформированного в результате регламентных и аварийных сбросов ЖРО радиохимического производства ФГУП «ПО «МАЯК». В настоящее время ТКВ представляет собой открытое поверхностное хранилище ЖРО, состоящее из четырех водоёмов В-3, В-4, В-10, В-11 и плотин, системы обводных каналов и ряда гидротехнических сооружений (ГТС) [1]. При неблагоприятных метеорологических условиях в виде продолжительного отсутствия осадков в сочетании с высокой температурой и понижением влажности воздуха возможно понижение уровня водоема и развитие аварийной ситуации, связанной с ветровым подъемом и переносом радиоактивных веществ с береговой линии поверхности ТКВ [2].

Существующие методы оценки радиационного воздействия на население и окружающую среду при эмиссии и ветровом переносе радионуклидов с поверхности объектов ТКВ рассматривают перенос частиц субмикронного размера, основаны на учете взаимодействия воздуха с верхним слоем почвы и применяются для оценки загрязнения воздуха после радиоактивных выпадений [3].

В данной работе оценка радиоактивного воздействия на население и окружающую среду при развитии аварийной ситуации на Теченском каскаде водоемов,

связанной с эмиссией и ветровым переносом радиоактивных веществ, проводится по действующему руководству по безопасности РБ 134 17, при использовании модели эмиссия радиоактивных веществ принимается за выброс радиоактивных веществ в атмосферу.

1. Мокров Ю.Г., Алексахин А.И. Деятельность ФГУП "ПО "Маяк" по обеспечению безопасной эксплуатации теченского каскада водоёмов, Вопросы радиационной безопасности, № 4, с. 13–28 (2018)
2. Мокров Ю.Г., Алексахин А.И. Мониторинг — основа обеспечения безопасности при выполнении работ по консервации водоема Карачай, Радиоактивные отходы, № 3 (4), с.60–68 (2018).
3. Мызникова О.Г., Панченко С.В., Уткин С.С. Оценка опасности ветрового выноса радиоактивных веществ с береговой линии промышленных водоёмов ПО "Маяк", Вопросы радиационной безопасности, № 22, с. 56–66 (2011).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫБРОСОВ ИНЕРТНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Никитенко Е.И.¹, Екидин А.А.², Кружалов А.В.²

¹) ФГУП "ПО "Маяк", г. Озерск, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: e.i.nikitenko89@gmail.com

DYNAMICS INVESTIGATION OF EMISSIONS NOBLE RADIOACTIVE GASES DURING NORMAL OPERATION OF INDUSTRIAL NUCLEAR REACTOR

Nikitenko E.I.¹, Ekinin A.A.², Kruzhalov A.V.²

¹) FSUE "PA "Mayak", Ozersk, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The results of noble gases emissions monitoring of industrial nuclear reactor emissions during the campaign, after a shutdown for scheduled preventive maintenance and after a physical start-up with a subsequent increase in power are shown.

Газоаэрозольные выбросы являются наиболее сложными в обращении, инвентаризации, очистке и контроле радиоактивными отходами. Для очистки газоаэрозольных выбросов промышленной реакторной установки используется многоступенчатая система фильтрации и выдержки перед выбросом в атмосферный воздух. Несмотря на используемые технические средства и методы очистки выбросов, часть газообразных радиоактивных отходов при нормальной эксплуатации ПРУ попадает в атмосферу через вентиляционную трубу.

Согласно распоряжению Правительства РФ от 08.07.2015 г, №1316-р все выбросы и сбросы должны регулярно контролироваться не только по суммарной активности, но и по радионуклидному составу.

В работе показаны результаты наблюдения за выбросами промышленного ядерного реактора в течении кампании, после остановки на планово-предупредительный ремонт и после физического пуска с последующим подъемом мощности.

Показано, что состав выбросов инертных радиоактивных газов зависит от режима работы реактора, а среднегодовой выброс ИРГ реакторной установки содержит ^{41}Ar – 54%, ^{85}mKr – 3%, ^{87}Kr – 3%, ^{88}Kr – 5%, ^{133}Xe – 17%, ^{135}Xe – 16%, ^{138}Xe – 1%.

1. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population / M. E. Vasyanovich [et al.] // J. Environ. Radioac., 2019, – P. 208–209.

2. Екидин А.А. Идентификация основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС / М. В. Жуковский, М. Е. Васянович // Атомная энергия. –2016. – т. 120. – выпуск 2. – С. 106–108.
3. Никитенко Е. И. Состав выбросов инертных радиоактивных газов, образующихся в процессе эксплуатации промышленной реакторной установки на ФГУП "ПО "Маяк" / Е. Л. Мурашова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – том 2. – выпуск 18. – С. 90–97.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫХОДА ОСНОВНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПЛИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ

Ротман Д.Н.^{1, 2, 3}, Шабельников Е.В.¹

¹⁾ Институт реакторных материалов, г. Заречный, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: wolfdim@mail.ru

INVESTIGATION OF THE KINETICS OF THE RELEASE OF MAIN GASEOUS FISSION PRODUCTS FROM PROMISING FUEL SAMPLES OF HIGH-TEMPERATURE GAS-COOLED REACTORS

Rotman D.N.^{1, 2, 3}, Shabelnikov E.V.¹

¹⁾ Research Institute of Nuclear Materials, Zarechny, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

³⁾ M.N. Miheev Institute of Metal Physics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

This work is devoted to an experimental study of the kinetics of the release of the main gaseous fission products from promising fuel samples of high-temperature gas-cooled reactors on the basis of the conducted reactor ampoule tests in the IVV-2M reactor.

В настоящее время основу атомной энергетики составляют водо-водяные реакторы. Технология водо-водяных реакторов отработана и хорошо зарекомендовала себя для производства электроэнергии. Вместе с этим не прекращаются научные исследования и в области ядерно-энергетических установок нового поколения, к которым в том числе относятся высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР) [1]. Особую роль в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах в рамках данной темы играют реакторные испытания топлива. Информация, полученная в результате реакторных испытаний, позволяет судить о физико-химических, физико-механических и диффузионных характеристиках топлива с учетом планируемых температурных и радиационных режимов его эксплуатации [2]. Это в свою очередь имеет важное значение при обосновании работоспособности и безопасности разрабатываемых реакторных установок.

Целью настоящей работы является исследование кинетики выхода основных газообразных продуктов деления (ГПД) из перспективных топливных образцов ВТГР в процессе их выгорания при различных температурах. Для достижения поставленной цели были проведены реакторные ампульные испытания экспериментальных образцов микротвэлов и топливных компактов ВТГР в

вентилируемых ампулах в составе двух экспериментальных устройств в исследовательском ядерном реакторе ИВВ-2М с использованием стенда «РИСК». На основании полученных результатов сделаны выводы о динамике разгерметизации исследуемых микротвэлов при различных уровнях температур и глубин выгорания.

1. В.Н. Гребенник, Н.Е. Кухаркин, Н.Н. Пономарев-Степной, Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы – инновационное направление развития атомной энергетики, Энергоатомиздат (2008).
2. В.В. Кузнецов, Ю.Г. Дегальцев, О.Г. Карлов, И.Е. Голубев, В.И. Васильев, Краткий обзор работ по технологии изготовления, реакторным испытаниям и после-реакторным исследованиям МТЭ ВТГР, ФГУ РНЦ «КИ», ГУП ВНИИАМ (2003).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА НА ГРАНИЦЕ ПОЛЯРНОЙ И НЕПОЛЯРНОЙ СРЕДЫ

Румянцева Д.А.^{1,2}

¹⁾ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²⁾ НИЦ "Курчатовский институт" - Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова, Гатчина, Россия
E-mail: dariara05_27@mail.ru

INVESTIGATION OF THE DISTRIBUTION OF URANIUM ISOTOPES AT THE BOUNDARY OF POLAR AND NONPOLAR ENVIRONMENTS

Rumyantseva D.A.^{1,2}

¹⁾ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

²⁾ SIC "Kurchatov Institute" - St. Petersburg Institute of Nuclear Physics named after B.P.Konstantinov, Gatchina, Russia

The features of the behavior of uranium isotopes at the interface of polar and nonpolar media are investigated. The method of tributyl phosphate preconcentration was used to register changes in isotope content ratios in solutions.

Использование спектрометрических методов для определения элементного и изотопного состава делящихся материалов и продуктов деления весьма актуально. Они относятся к ядерной энергетике и технологии и могут служить, например, как для технологического контроля герметичности ТВС, так и в радиохимическом производстве для корректировки изотопного состава ядерного топлива.

Изотопный состав содержащих уран образцов можно определить по соотношению площадей пиков характеристического гамма-излучения в равновесных цепочках распада урана с атомными номерами 234, 235, 238. Для данного исследования применялся гамма-спектрометрический метод.

Для увеличения чувствительности метода использовалась адсорбция комплекса $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2ТБФ$ на поверхности полипропилена $(C_3H_6)_n$ в экстракционной системе на основе раствора азотной кислоты и экстрагента трибутилфосфата (ТБФ). Молекула ТБФ является полярной и поверхностно активной молекулой. Такие дифильные молекулы, взаимодействуя одновременно с полярными и неполярными средами, самопроизвольно накапливаются на границе раздела полярной и неполярной фаз.

Оценка изотопного распределения происходила после обработки γ -спектров образцов, отобранных на разной глубине от поверхности раствора. Изотопное распределение получено из расчета отношений интенсивностей линий γ -излучения с энергиями 185,739 кэВ и 92,7 кэВ (I_{185}/I_{92}), а так же отношение интенсивностей гамма-излучения с энергиями 185,739 кэВ и 1000,997 кэВ (I_{185}/I_{1001}).

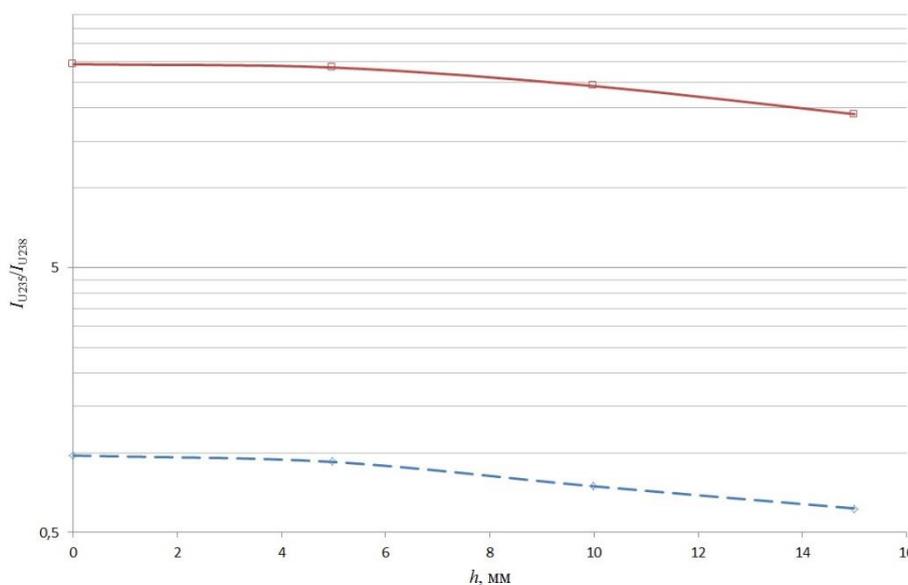


Рис. 1. Зависимость отношения интенсивностей аналитических линий I185/I92 (линия 1) и I185/I1001 (линия 2) от расстояния h между точкой отбора образца и поверхностью жидкой фазы.

На рисунке 1 приведены зависимости отношений интенсивностей аналитических линий I_{185}/I_{92} и I_{185}/I_{1001} , которые пропорциональны обогащению урана по изотопам ^{234}U и ^{235}U .

Таким образом, экспериментально показано, что полипропилен (неполярный компонент) прочно удерживает комплекс $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{ТБФ}$ в верхней части на границе раздела полярной и неполярной фаз. При этом более легкие изотопы урана собираются в верхних слоях пленки состоящей из молекул комплекса $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{ТБФ}$.

Наблюдается увеличение концентрации легких изотопов урана:

по ^{234}U с $0,0016 \pm 0,0003$ ат.% в исходном растворе до $0,017 \pm 0,002$ ат.%,

по ^{235}U с $0,471 \pm 0,007$ ат.% в исходном растворе до $1,49 \pm 0,02$ ат.%. Основанный на этом явлении способ химического обогащения урана легкими изотопами обеспечивает гораздо более высокую эффективность по сравнению с аналогами.

1. Зиновьев В.Г., Румянцева Д.А., и др. Способ химического обогащения урана легкими изотопами. // Патент на изобретение G21C 19/42. RU 2756277 C1, 2021.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ АЭС

Костарев В.С.¹, Ширманов И.А.², Щеклеин С.Е.²

¹) Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: topzar76123@gmail.com

ON THE POSSIBILITY OF THE SEAWATER DESALINATION USING LOW-POTENTIAL NPP HEAT

Kostarev V.S.¹, Shirmanov I.A.², Shcheklein S.E.²

¹) Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Peterburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The main methods for solving the problem of fresh water scarcity are its reuse and desalination of sea water. The paper presents a project for water desalination using low-grade energy generated by nuclear power plants, based on a desalination plant operating on the principle of distillation.

Проблема обеспечения питьевой водой и доступ к ее потреблению признается одной из важнейших целей Тысячелетия в области развития, сформулированных в Декларации Тысячелетия ООН в 2000 году. Эксперты ООН прогнозируют, что уже к 2030 году спрос возрастет в 3 раза, при этом спрос будет превышать предложение на 40%.

Быстрый рост населения Земли (по прогнозам к 2050г. достигнет 11000 млн. человек) все больше обостряет ситуацию с водными ресурсами. Основными способами решения проблемы дефицита воды будут ее опреснение и повторное использование [1].

Среднесуточное производство питьевой воды в результате традиционного процесса опреснения во всем мире составляет около $23 \cdot 10^6$ м³. Данный производственный процесс потребляет большое количество ископаемого топлива (130 миллионов тонн нефти будет ежегодно сжигаться для производства 13 миллионов кубометров питьевой воды в сутки) [2].

На сегодняшний день одним из самых популярных и простых способов опреснения является дистилляция воды с помощью солнечной энергии. Солнечная дистилляция воды бассейнового типа является перспективной технологией производства пресной воды. Эти системы отличаются простотой конструкции, низкими затратами на техническое обслуживание, просты в эксплуатации и безопасны. Однако, солнечное опреснение существенно зависит от мощности солнечного света, приходящего на поверхность Земли, что сказывается на

производительности всей опреснительной установки. Поэтому, возникает вопрос поиска надежного, непрерывного и доступного источника тепла. Одним из перспективных источников такой энергии является ядерная энергетика [3].

Преимущества интеграции опреснительного комплекса и АЭС состоит в возможности оптимизации капитальных и эксплуатационных затрат, также это дает возможность получение пресной воды для обеспечения собственных нужд АЭС.

Расширение использования атомного источника электрической и тепловой энергии в производстве пресной воды из морской воды является не только перспективным мероприятием, но и необходимым, поскольку позволит удовлетворить большую часть потребности в пресной воде в качестве питьевой воды.

В работе представлен проект по опреснению воды с помощью использования низкопотенциальной энергии, сбрасываемой АЭС. Охлаждаемая вода, проходя через конденсатор, нагревается до 38 °С и подается на опреснительную установку для дальнейшего опреснения путем испарения и конденсации пара. Данный метод позволяет отказаться (частично) от использования энергетических установок, работающих на органическом топливе и солнечной энергетике, что позволит сделать процесс обессоливания воды не зависящим от количества солнечной энергии приходящей на Землю. Обессоливающая установка работает по методу испарения (дистилляции), также как и дистиллятор бассейнового типа.

1. В.И. Данилов, Глобальная проблема дефицита пресной воды, Век глобализации, 1, 45-46 (2008)
2. L. Garcia-Rodriguez, Seawater desalination driven by renewable energies, Desalination, 143, 103-113 (2002)
3. N.T. Alwan, S.E.E. Shcheklein, O.M. Ali, Case Studies in Thermal Engineering Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector, Case Stud. Therm. Eng., 19, 100614 (2020)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИИМИДА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОБЕДНЁННОГО УРАНА

Смыков М. С.¹, Литовченко В.Ю.^{1,2}, Чалпанов С.В.¹, Бессонов И.А.¹,
Лезов А.Д.¹, Ташлыков О.Л.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²) АО "Институт реакторных материалов", Заречный, Россия
E-mail: maks2001122@gmail.com

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING POLYIMIDE AS A BINDING MATRIX FOR RADIATION-PROTECTIVE MATERIALS FILLED WITH DEPLETED URANIUM.

Smykov M.S.¹, Litovchenko V.Yu.^{1,2}, Chalpanov S.V.¹, Bessonov I.A.¹,
Lezov A.D.¹, Tashlykov O.L.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) JSC "Institute of Nuclear Materials", Zarechny, Russia

The article describes the use of polyimide as a binder and the search for a technology for encapsulating depleted uranium in various compounds. The results of modeling the protective properties of a composite material by the Monte Carlo method are presented.

Для защиты от γ - и рентгеновского излучения применяют защитные экраны, наполнителем которых являются материалы с большим атомным номером и высокой плотностью (железо, свинец, вольфрам и т.д.). Наилучшей защитной эффективностью среди традиционных материалов обладают вольфрам, свинец. Однако их стоимость весьма значительна.

В качестве эффективного защитного материала можно рассматривать уран. Атомный номер урана больше, чем у вольфрама, а плотность порядка 19 г/см^3 , как и у вольфрама. Массовый коэффициент ослабления фотонного излучения с энергией 1 MeV для урана составляет $7,896 \cdot 10^{-2}$, для вольфрама - $6,618 \cdot 10^{-2}$.

Обеднённый уран (DU, Depleted Uranium) - это остаточный материал, получаемый как побочный продукт обогащения при производстве уранового ядерного топлива. На данный момент в России накоплено порядка 700 000 тонн обеднённого гексафторида урана (UF_6). Аналогичные количества этого производственного отхода имеются и в США [1].

Обеднённый уран является слабым источником радиации, но очень токсичным и экологически опасным веществом. В некоторых случаях для безопасного хранения DU осуществляется переработка UF_6 в более стабильные твёрдые оксиды урана. Оксиды DU используются в качестве радиационной защиты в медицине, в промышленности, однако количество используемого DU незначительно.

Для использования DU требуется его иммобилизовать. А при использовании металлического урана (который является более плотным, чем урановые соединения), как и при наличии ионов других металлов в составе DU такой наполнитель требуется также химически зафиксировать [2]. Иммобилизация подразумевает создание физического барьера между веществом и окружающей средой. Химическая фиксация предполагает перевод вещества в химически стабильные формы [3].

Если обеднённый уран использовать в качестве наполнителя в полимерной матрице со специально подобранным составом, то полученный полимерный композит может стать высокоэффективным радиационно-защитным материалом, особенно от γ -излучения. Также это позволит эффективно иммобилизовать эти отходы безопасным и экономичным образом с возможностью переработки материала и извлечения наполнителя при необходимости.

Для того, чтобы повысить стойкость материала и значительно увеличить время эксплуатации полимерного композиционного материала предлагается использовать в качестве связующего материала полиимид, производимый компанией Kapton (мономер поли-4,4'-дифениленоксидпиромеллитимид).

В работе приводится анализ использования полиимида в качестве связующего материала, поиск технологии инкапсуляции обеднённого урана в различных соединениях и моделирование защитных свойств композита с помощью моделирования методом Монте-Карло.

1. Understanding Russia's Uranium Enrichment Complex, Oleg Bukharin, Science and Global Security, 2004, Volume 12, pp. 193-218
2. U.S. Pat. No. 20050203229A1 to Soundararajan
3. Waste classification guidelines Part 2: Immobilisation of waste, Environment Protection Authority, 2014

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СТЁКОЛ С ДОБАВЛЕНИЕМ ОКСИДА НИОБИЯ

Стругов Е.Д.¹, Ширманов И.А.¹, Аладаилах М.В.А.¹, Ташлыков О.Л.¹,
Глухов С.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: strugov.zhora@mail.ru

INVESTIGATION OF RADIATION-PROTECTIVE PROPERTIES OF GLASSES WITH THE ADDITION OF NIOBIUM OXIDE

Strugov E.D.¹, Shirmanov I.A.¹, Aladailah M.V.A¹, Tashlykov O.L.¹,
Glukhov S.M.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The radiation protection capabilities of the $WO_3-La_2O_3-B_2O_3-Nb_2O_5$ glass system were calculated. Presents the results of calculating the protective properties of a glass system against gamma radiation using the Geant4 calculation code for the energy range 0,015-3 MeV.

Развитие объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) вызывает необходимость защиты персонала, оборудования, находящегося поблизости населения и окружающей среды с целью снижения риска поражения ионизирующим излучением. Для достижения поставленной задачи с целью минимизации рисков пагубного воздействия ионизирующего излучения (ИИ) распространено экранирование опасных зон с использованием различных защитных материалов [1, 2].

Большое внимание уделяются стеклам, которые могут быть использованы в качестве защитных материалов от ионизирующего излучения, поскольку они могут обеспечивать одновременно визуальный контроль опасных зон и защиту от ионизирующего излучения.

Стекла, благодаря своему составу и свойствам, являются перспективными защитными материалами, обладающими хорошей радиационной стойкостью. В течение многих лет стекла, содержащие Nb_2O_5 , привлекали внимание, прежде всего, из-за их высокого потенциала для практического применения в различных оптических устройствах. На сегодняшний день значительную долю среди всех радиационно-защитных стекол занимают свинцовые стекла, которые имеют целый ряд недостатков.

В данной работе представлены результаты расчета радиационно-защитных свойств стеклянной системы с различными соотношениями оксида ниобия с помощью расчетного кода GEANT4 (рис.1).

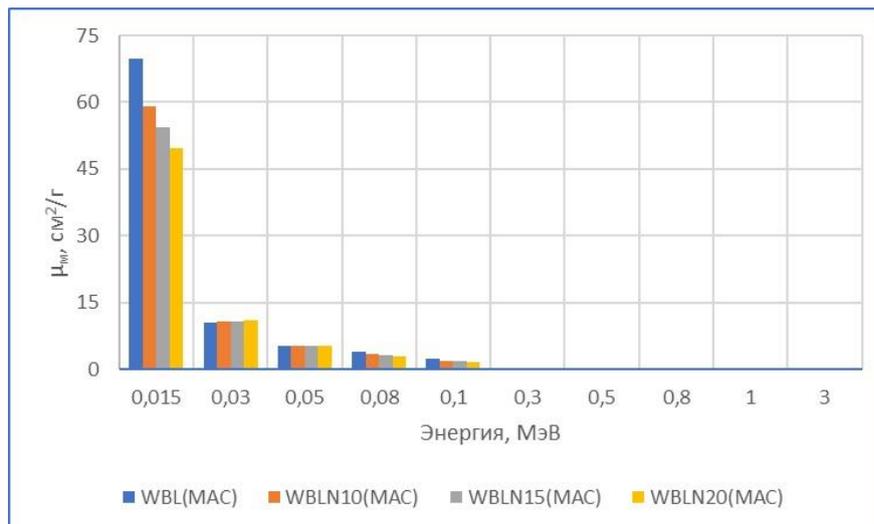


Рис. 1. Результаты расчетов для образцов стекла

1. I. M. Russkih, O. L. Tashlykov, Proceedings of the first scientific and technical conference of young scientists UralENIN, 254-257 (2016).
2. A. F. Mikhailova and O. L. Tashlykov, Nuclear physics and engineering, 4, 393-401 (2018).

РОЛЬ ВИРТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОПТИМИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА

Завадский Д.И.^{1,2}, Ташлыков О.Л.¹

¹⁾ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

²⁾ Белоярская АЭС, Заречный, Россия

E-mail: danilezavadsky@gmail.com

THE ROLE OF VIRTUAL TECHNOLOGIES IN OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION OF THE PERSONNEL

Zavadskii D.I.^{1,2}, Tashlykov O.L.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ The Beloyarsk NPP, Zarechniy, Russia

Annotation. The creation of a 3D virtual model of several rooms of the BN-600 fast-neutron reactor with sodium coolant, using Autodesk Revit and Autodesk 3ds Max programs, is considered in this work.

Принцип оптимизации имеет важное практическое значение для обеспечения радиационной безопасности на всех этапах жизненного цикла объектов использования атомной энергии, начиная с проектирования и заканчивая выводом из эксплуатации АЭС [1], [2].

Передвижение в незнакомой обстановке, особенно в помещениях, насыщенных оборудованием и трубопроводами, увеличивает время пребывания персонала в полях ионизирующего излучения, и соответственно дозы облучения. Поэтому, предварительное ознакомление с рабочей зоной с помощью фотографий, видеоматериалов, макетов, трехмерных моделей помещений с оборудованием может дать значительный вклад в сокращении времени пребывания персонала в таких помещениях [3].

Перспективным направлением оптимизации радиационной защиты персонала является использование виртуальных моделей радиационно-опасных объектов для решения задач маршрутизации радиационно-опасных работ. Создание реалистичной среды для тренировок, которая в обычных условиях сопряжена с высоким риском или высокими затратами на персонал; позволяет воспроизводить определенные условия. Для атомной энергетики – это виртуальные модели радиационно-опасных помещений, насыщенных сложным технологическим оборудованием. Иначе говоря, это технологии информационного 3D-моделирования, дополненная реальность: визуальные подсказки, помогающие работнику выполнять задачи по эксплуатации и ремонту.

В качестве примера эффективности использования данных технологий можно привести внедрение виртуальных технологий концерном «Росэнергоатом» на Ленинградской АЭС. Виртуальный тренажер содержит 6 целевых

сценариев, позволяющих персоналу отрабатывать практические навыки по эксплуатации и обслуживанию электрооборудования в безопасной виртуальной среде, не подвергая себя опасности. Тренажер виртуальной реальности представляет собой цифровую реплику двух локаций АЭС и более 500 моделей оборудования, инструментов и т.д. Сценарии тренажера выстроены в полном соответствии с инструкциями и регламентами. Поэтому сотрудники при обучении погружаются в полноценную копию рабочего места и отрабатывают все регламентные действия до автоматизма. Это позволяет снизить риски возникновения инцидентов и аварийных ситуаций. [4].

В данной работе рассматривается создание 3D виртуальной модели нескольких радиационно-опасных помещений энергоблока с РУ БН-600 Белоярской АЭС, с помощью программ Autodesk Revit и Autodesk 3ds Max (рис.1). На основании 3D модели создаются материалы для обучения персонала – виртуальные обходы, призванные минимизировать время нахождения персонала в радиационных полях за счет изучения обстановки в малознакомых помещениях, насыщенных оборудованием и трубопроводами. Для анализа эффективности виртуального обучения проводилась серия замеров времени выполнения обходов по заданному маршруту. Сравнивались результаты для опытных, подготовленных и неподготовленных лиц из числа персонала и выводилась зависимость времени обхода от интенсивности использования интерактивных материалов.

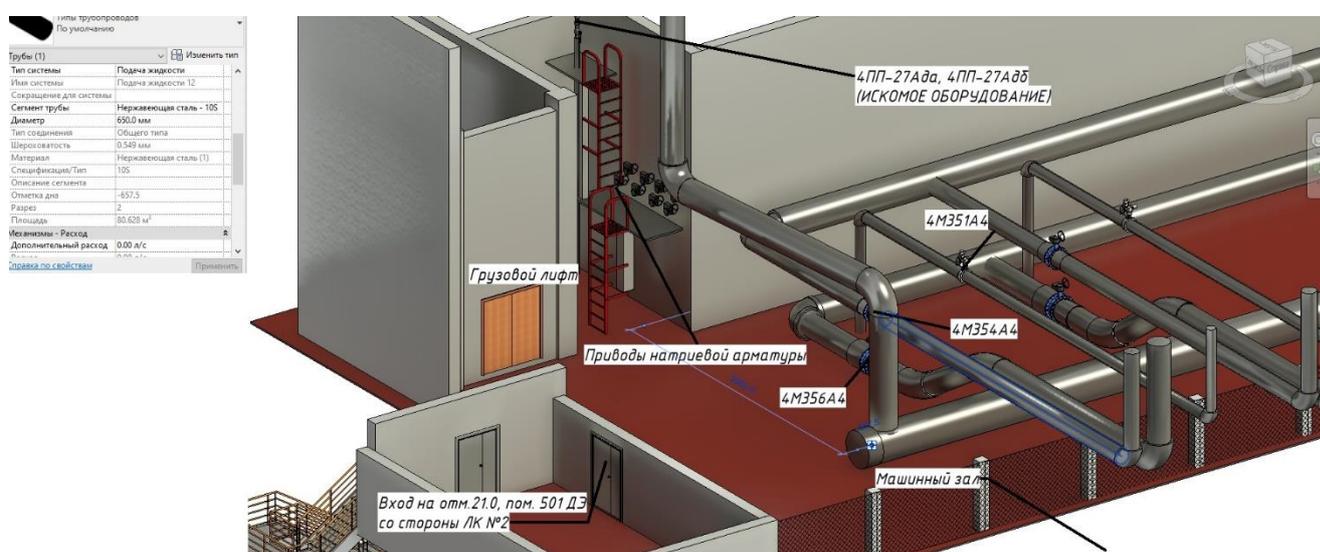


Рис. 1. Пример виртуальной модели помещений АЭС

1. Mikhailova, A.F., Tashlykov, O.L. 2020 The Ways of Implementation of the Optimization Principle in the Personnel Radiological Protection. Physics of Atomic Nuclei. 2020, 83, 1718–1726.
2. Ташлыкков О.Л. Дозовые затраты персонала в атомной энергетике. Анализ. Пути снижения. Оптимизация / О.Л. Ташлыкков: монография. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. RG. 2011. 232 с.

3. Zavadskii D. I., and Tashlykov O. L. Optimization of radiation protection of staff using BIM-designing AIP Conference Proceedings 2313, 070017 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0032419>
4. «В промышленную эксплуатацию введен первый виртуальный тренажер на АЭС». Журнал «Автоматизация и it в энергетике». Учредители: Издательский дом "ИД АВИТ-ТЭК" ISSN: 2410-4043, 2022 г., С. 56-57.

СЕКЦИЯ 2

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

РАСЧЁТ СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ ОБРАЗЦОВ СНЯТЫХ ПОД ЗАЩИТНОЙ ПЛЕНКОЙ

Адамова А.В.¹, Денисова О.В.¹

¹ Уральский Федеральный университет
E-mail: anastasia1.adamova@mail.ru

THE COMPUTATION OF CRYSTALLINITY INDEX BASED ON XRD DATA FOR SAMPLES PROTECTED BY KARTON THIN-FILM

Adamova A.V.¹, Denisova O.V.¹

¹ Ural Federal University

For XRD-analyses, using thin-film for sample protection the algorithm for the crystallinity index computation is proposed. The method is based on the proportionality of the XRD-peak intensity of the crystal phase to its content.

Современные методы количественного рентгеновского фазового анализа (X-Ray Diffraction XRD) базируются на алгоритме Ритвельда [1], который принципиально определяют весовые проценты, учитывая только кристаллические фазы. При наличии в образце аморфной составляющей, результаты метода Ритвельда будут отличаться от реальных весовых процентов, однако, их можно пересчитать, зная степень кристалличности образца.

Существуют методы, позволяющие определять степень кристалличности непосредственно по XRD-дифрактограмме. В основном эти методы базируются на выделении из общего уровня фона дифрактограммы так называемого “аморфного гало”, которое появляется при наличии аморфной фазы в образце в виде широко размытого пика в малых углах дифракции.

Целью данной работы было измерение степени кристалличности гигроскопичных образцов, XRD-анализ которых проводился в специальных кюветах с защитной пленкой. Хотя данная пленка аморфна и не влияет на результаты анализа Ритвельда, но ее наличие не позволяет использовать традиционные методы измерения степени кристалличности по фону дифрактограммы [2].

Поэтому был предложен способ оценки степени кристалличности, основанный на зависимости интенсивности пика кристаллической фазы от ее весового процента в пробе. Зная содержание этой фазы в полностью кристаллическом образце, выбранным за эталон, и весовой процент в текущей пробе, определенный методом Ритвельда, и полагая, что отношение интенсивностей пиков образца и эталона пропорционально отношению их реальных весовых процентов, была получена формула для расчета степени кристалличности.

Предлагаемый метод был апробирован на образцах, содержащих оксиды железа и меди, в различных пропорциях, с добавлением аморфного оксида кремния, в количестве 0÷20% весовых процентов.

В результате модельных экспериментов была определена калибровочная константа, что позволило рассчитать степень кристалличности для образцов, с известным фазовым составом. Результаты, представленные ниже в таблице, показывают, что рассчитанные значения степени кристалличности хорошо согласуются с истинными.

Степень кристалличности образца, %	Номер пробы				
	1	2	3	4	5
Реальная	100	99	95	90	81
Рассчитанная	102	100	94,7	92,0	83,0

Рис. 1. Истинные и рассчитанные значения степени кристалличности

1. H. M. Rietveld, A profile refinement method for nuclear and magnetic structures, *J. Apply Crystallography* 2, 2, 65-71 (1969).
2. Kern, A., Madsen, I.C. and Scarlett, *Uniting Electron Crystallography and Powder Diffraction* (Springer Netherlands, 2012), pp. 219-231.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ МОНЕТ ИЗ КРЕПОСТИ УЗУНДАРА МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ

Адизов С.М.¹, Ташметов М.Ю.¹, Исматов Н.Б.¹, Юлдашев Б.С.¹,
Пидаев Ш.Р.²

¹ Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан

² Институт искусствознания Академии наук Республики Узбекистан

E-mail: sardoradizov447@gmail.com

THE STUDY OF THE INTERNAL STRUCTURE OF ARCHAEOLOGICAL COINS FROM THE FORTRESS OF UZUNDARA USING NEUTRON RADIOGRAPHY AND TOMOGRAPHY

Adizov S.M.¹, Tashmetov M.Yu.¹, Ismatov N.B.¹, Yuldashev B.S.¹, Pidaev Sh.R.²

¹ Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

² Institute of Art Studies of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

The study of the internal structure of archaeological objects is one of the most important tasks of archeology. Obtaining images of the internal structure of objects allows the installation of neutron tomography. Ancient coins found in the fortress of Uzundara were chosen as objects of study.

Объектом исследования является монета Гелиокла. На лицевой стороне монеты Гелиокл изображена картина последнего греко-бактрийского царя Гелиокла (рис. 1.а), а на оборотной стороне (рис. 1.б) изображена древняя надпись. Монета имеет не сплошную круглую форму, с переменным диаметром (28-29,1 мм), толщиной (1,4-3,7 мм), массой 13,98 г.

Результаты элементного анализа монеты показали, что она была изготовлена из меди. Ниже (рис. 2) представлено томографическое изображение монеты. Для изучения внутренней структуры монеты была изменена прозрачность ее визуального изображения, а в ходе анализа было установлено, что цвета распределены по объему неравномерно. Прозрачность визуального изображения монеты на рис. 2 в областях 1, 2, 3 выше, чем в областях 4, 5 и 6. Это означает, что поток нейтронов, проходящий через области 1, 2, 3 монеты, поглощается или рассеивается относительно меньше, чем в других областях монеты, что приводит к более ярким свечениям в сцинтилляционном материале. Это свидетельствует о наличии охрупчивания и локальных неоднородностей на этих участках монеты.

Для получения больше информации о внутренней структуре монеты, был рассмотрен распределение пор по ее слоям. На приведенных срезах (рис. 3) видны небольшие поры, что свидетельствует материал, из которого она была изготовлена, был неоднородным. Результаты измерений показали, что размер пор, составляет в среднем 0,3 - 0,6 мм. Кроме того, разные цвета в поперечном сечении

монеты объясняются «разным» рассеянием нейтронов в этих локальных точках. Это свидетельствует о том, что процесс затвердевания был неравномерным.



Рис. 1.

Рис. 2.

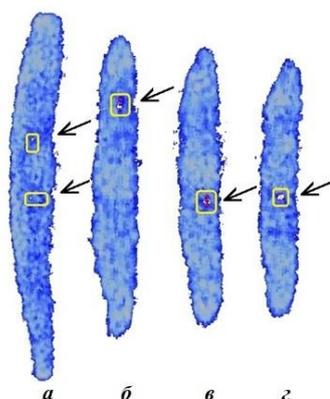


Рис. 3.

Рис. 1. Фотография монеты Гелиокла. Рис. 2. Томография монеты Гелиокла. а-вид спереди, б-вид с боку. Рис. 3. Разрезы монеты Гелиокла. а-сечение визуального изображения монеты ближе к ребру, б-сечение визуального изображения монеты ближе к диаметру.

Исследование проводилось в рамках программы научно-исследовательских работ Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистана на 2020-2024 годы, по теме «Радиационно - стимулированные процессы при ядерной трансмутации легированного монокристаллического кремния» в лаборатории радиационной физики и техники твердотельной электроники.

1. M.Yu. Tashmetov, B.S. Yuldashev, S.M. Adizov, N.B. Ismatov. Studies of the internal structure of electrical devices and the archaeological heritage by the method of neutron radiography and tomography. Uzbek Journal of Physics Vol.23, No.3, pp.63-69, 2021.
2. B.A. Abdurakhimov, M.Yu. Tashmetov, B.S. Yuldashev, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, D.P. Kozlenko, S.A. Kulikov, V.N. Shvetsov, N.B. Ismatov, A.R. Saidov, A.B. Normurodov, A.V. Rutkauskas. New neutron imaging facility at the WWR-SM reactor: Design and first results. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 989 (2021) 164959. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima.

3. Н. Двуреченская, А. Горин. Узундара-форпост на краю эллинистической Ойкумены. Наука и жизнь Узбекистана № 3-4, 2021.
4. F. Brun, L. Massimi, M. Fratini, D. Dreossi, F. Billé, A. Accardo, R. Pugliese, A. Cedola, SYRMEP Tomo project: a graphical user interface for customizing CT reconstruction workflows, *Adv. Struct. Chem. Imaging* (2017).
5. А.А. Попов. Греко-Бактрийское царство. Издательство Санкт-Петербургского Университета. 2008.

ПРЕЦЕССИЯ И КОРРЕЛЯЦИЯ ПУЛЬСАЦИЙ В СТРУЕ ВСКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Акашев А.А.¹, Решетников А.В.¹, Скоков В.Н.¹, Панов Г.В.¹

¹ Институт теплофизики УрО РАН
E-mail: akashev.anton@gmail.com

PRECESSION AND CORRELATION OF PULSATIONS IN A JET OF BOILING LIQUID

Akashev A.A.¹, Reshetnikov A.V.¹, Skokov V.N.¹, Panov G.V.¹

¹ Institute of Thermal Physics UB RAS

The precession of a spontaneously swirling jet was found in experiments on the outflow of boiling water. It caused by the effect of boiling on the side walls of the nozzle. Simultaneous investigation of local and integral pulsations in different sections of the jet made it possible to reveal a high.

Изучение двухфазных потоков является актуальной научной задачей в связи с их широким использованием при различных технологических процессах и во множестве технических аппаратах. Изучение корреляции интегральных и локальных пульсаций в потоках вскипающей жидкости представляется перспективным научным направлением. В частности, это связано с тем, что в потоках в неустойчивых состояниях могут иметь место пульсации с резким увеличением их спектра мощности в области низких частот ($1/f$ флуктуации). В этом случае масштаб пульсаций становится сравнимым со средними значениями параметров, характеризующих состояние системы, и выбросы в системе могут принимать катастрофический характер [1-3]. Выявление корреляционных зависимостей между локальными и интегральными пульсациями может пролить свет на источники генерации $1/f$ флуктуаций.

Проведены опыты по истечению вскипающей жидкости из камеры высокого давления в атмосферу при температуре воды в интервале 120 – 180 °С, что соответствовало перегреву жидкости в струе 20 - 80 °С. В опытах использовался короткий цилиндрический канал диаметром $d=0.5$ мм и длиной $l=0.7$ мм. Обнаружена прецессия перегретой струи: изменение направления оси спонтанно закрученной истекающей струи в пространстве. Эта прецессия обусловлена вскипанием на одиночных центрах на боковых стенках канала. Изучена корреляция между флуктуациями угла раскрытия струи (интегральные флуктуации) и локальными флуктуациями ядра струи в различных поперечных сечениях вскипающей струи. Измерения флуктуаций производилось посредством лазерного излучения в виде линейной развертки для интегральных пульсаций и точечного луча для локальных колебаний. Найдено, что спектры мощности как локальных, так и интегральных флуктуаций изменялись обратно пропорционально частоте

на небольших расстояниях от выходного среза канала. Это свидетельствовало о наличии в потоке перегретой жидкости $1/f$ флуктуаций и неустойчивости потока. Одновременное измерение интегральных и локальных флуктуаций позволило выявить достаточно высокий уровень корреляции между ними. Данное обстоятельство дало возможность связать крупномасштабные интенсивные интегральные пульсации в струе с наблюдаемой в ней прецессией. Дополнительно было изучено влияния принудительной закрутки струи с различной частотой на характер корреляционных зависимостей между исследуемыми флуктуациями. Найдено, что при изменяющихся скоростях вращения струи, корреляции носили заметный характер и не снижались с увеличением скорости закрутки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00426, <https://rscf.ru/project/22-29-00426/>

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00426, <https://rscf.ru/project/22-29-00426/>

1. V.P. Koverda, V.N. Skokov, The origin of $1/f$ fluctuations and scale transformations of time series at nonequilibrium phase transitions, *Physica A* 346 (3 – 4) (2005) 203 – 216.
2. A.V. Reshetnikov, N.A. Mazheiko, V.N. Skokov, V.P. Koverda, Hydrodynamic response to explosive boiling-up in a jet of superheated water, *Int. J. Heat Mass Transfer* 85 (2015) 965–970.
3. Решетников А.В., Мажейко Н.А. Скоков В.Н. Коверда В.П. Неравновесные фазовые переходы в струе сильно перегретой воды, *Теплофизика высоких температур*. 2007. Т.45.№6. С. 838 – 846.

НАБЛЮДЕНИЕ ЯРКО-ЖЕЛТОЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ БРОМИДА СВИНЦА СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА

Сарычев М.Н.¹, Ахатов М.В.¹, Семенова О.И.², Жевстовских И.В.^{1,3}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия

³) Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: maximen732@gmail.com

OBSERVATION OF BRIGHT YELLOW LUMINESCENCE IN LEAD BROMIDE PEROVSKITE SINGLE CRYSTALS

Sarychev M.N.¹, Akhatov M.V.¹, Semenova O.I.², Zhevstovskikh I.V.^{1,3}

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) A.V. Rzhhanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

³) M.N. Miheev Institute of Metal Physics, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

We report the results of photoluminescence (PL) studies in organic-inorganic hybrid perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$. The PL was registered with the 455 nm laser over temperatures from 5 to 320 K in increments 5-10 K.

С недавнего времени перовскиты галогенидов свинца интенсивно исследуются из-за их замечательных оптоэлектронных свойств, таких как прямая запрещенная зона, большие значения коэффициента поглощения света, легкий синтез, универсальный химический состав [1]. Эти свойства используются в солнечных батареях, в которых достигнуто значение коэффициента преобразования энергии в 25,5% [2], что в основном связано с продолжительным временем жизни фотогенерированных носителей и высокой дефектоустойчивостью. Также органо-металлические перовскиты могут быть использованы при разработке эффективных светоизлучающих устройств.

В докладе представлены результаты исследования фотолюминесценции (ФЛ) в монокристаллах $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ в интервале температур от 10 К до 320 К с энергией возбуждающего лазера 2,72 эВ ($\lambda=455$ нм). Мы обнаружили в спектрах ФЛ во всем исследованном интервале температур экситонный пик с энергией вблизи 2,23-2,29 эВ, положение которого сдвигалось в большие энергии с ростом температуры от 10 К до 140 К. При дальнейшем нагреве от 140 К до 170 К наблюдался небольшой красный сдвиг, а выше 170 К – положение пика не смещалось, при этом интенсивность пика резко возрастала при $T < 140$ К. Такое поведение ФЛ эмиссии с температурой отражает корреляцию с тремя структурными фазовыми переходами, которые имеют место в этом перовските, с температурами переходов 148,8 К, 154 К и 236,3 К. Кроме того, вблизи температуры перехода из

тетрагональной в орторомбическую фазу (около 150 К) обнаружено интенсивное широкое излучение ФЛ в желтой области (с энергией 1,8-2,1 эВ). Мы предполагаем, что это излучение желтого света возникает из-за автолокализованных носителей в деформируемой решетке и наличия сильной электрон-фононной связи вблизи структурного фазового перехода. Полученные данные об излучающих свойствах гибридных перовскитов могут быть использованы при разработке на их основе светодиодов.

Работа выполнена при поддержке ключевого центра превосходства УрФУ “Радиационные и ядерные технологии” и при финансовой поддержке РФФИ и Свердловской области в рамках научного проекта № 20-42-660004.

1. Stoumpos, C. C., Malliakas, C. D., Kanatzidis, M. G. Semiconducting Tin and Lead Iodide Perovskites with Organic Cations: Phase Transitions, High Mobilities, and near-Infrared Photoluminescent Properties. *Inorg. Chem.* 2013, 52, 9019–9038
2. Green, M.; Dunlop, E., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., Hao, X. Solar Cell Efficiency Tables (Version 57). *Prog. Photovoltaics* 2021, 29, 3–15

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ Co_xTe ВБЛИЗИ ЭКВИМОЛЯРНОГО СОСТАВА

Акрамов Д.Ф.¹, Селезнева Н.В.¹, Шишкин Д.А.^{1,2}, Баранов Н.В.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Рос-
сия

E-mail: Dmaster96@mail.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF Co_xTe COMPOUND NEAR THE EQUIMOLAR COMPOSITION

Akramov D.F.¹, Selezneva N.V.¹, Shishkin D.A.^{1,2}, Baranov N.V.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ekaterinburg,
Russia

²) Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterin-
burg, Russia

In this work, the $\text{Co}_{6.5}\text{Te}_8$ compound was investigated using thermo-X-ray diffractometry and magnetic measurements. The complex behavior of the magnetization and the formation of second $\text{Co}_{1-x}\text{Te}_2$ phase in the temperature range $T = 600 \text{ K} - 900 \text{ K}$ in $\text{Co}_{6.5}\text{Te}_8$ have been established.

Халькогениды переходных 3d-металлов состава $\text{M}_{7\pm\delta}\text{X}_8$ ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}$) обладают слоистой гексагональной структурой типа NiAs. Магнитные свойства таких соединений зависят как от сорта атомов М, так и от концентрации и упорядочения вакансий в катионной подрешетке. Например, в соединениях Fe_7X_8 внутри каждого катионного слоя магнитные моменты атомов железа направлены параллельно, а между слоями ориентированы антипараллельно. Наличие катионных вакансий приводит к раскомпенсации намагниченностей слоев и тем самым возникновению ферромагнитного состояния в Fe_7X_8 [1]. Однако соединения Co_7X_8 не обладают дальним магнитным порядком и проявляют парамагнетизм Паули [2]. Такое поведение, по-видимому, связано с сильным уменьшением межплоскостного расстояния с, и как следствие, сильным перекрытием электронных орбиталей атомов кобальта в Co_7X_8 , как показано в работе [3]. В предыдущих наших исследованиях системы $\text{Co}_7(\text{Se}_{1-y}\text{X}_y)_8$ было установлено, что замещение селена теллуrom приводит к значительному росту параметра а и незначительному увеличению параметра с и, как следствие, к сильному искажению анионного октаэдра. Анизотропное изменение параметров элементарной ячейки, вероятно, связано с большей поляризуемостью атомов теллура по сравнению с селеном и сильной связью между атомами кобальта. Было предположено, что уменьшение концентрации кобальта в Co_7Te_8 должно привести к уменьшению искажения

анионного октаэдра, росту параметра c и возникновению магнитного момента на атомах кобальта.

Поликристаллический образец $\text{Co}_{6.5}\text{Te}_8$ был получен методом твердофазного ампульного синтеза с закалкой от $T = 800^\circ\text{C}$. Рентгенографическая аттестация осуществлялась на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE (Cu α – излучение) с использованием термокамеры НТК-16 Anton Paar в температурном диапазоне 298 К – 750 К. Измерения намагниченности осуществлялись на вибрационном магнитометре Lake Shore VSM 7407 ($300\text{ K} \leq T \leq 1273\text{ K}$)

Рентгеновская аттестация показала, что $\text{Co}_{6.5}\text{Te}_8$ является однофазным и кристаллизуются в гексагональной сингонии с пространственной группой $R\text{-}3m1$. Установлено, что уменьшение содержания атомов кобальта в Co_7Te_8 не приводит к ожидаемому росту параметра c . В интервале температур от 600 К до 750 К обнаружено аномальное увеличение намагниченности, которое носит обратимый характер. Из данных высокотемпературной терморентгенографии установлено, что в данном температурном интервале наблюдается фазовое расслоение на $\text{Co}_{6.5-x}\text{Te}_8$ и $\text{Co}_{1-x}\text{Te}_2$ фазы.

Работа подготовлена при финансовой поддержке ППК 3.1.1.1.2-20.

1. Kawaminami M., Okazaki A. Neutron Diffraction Study // Journal of the physical Society of Japan. V. 29. 1970. P. 649-655.
2. Miller V.L., Lee W.L., Lawes G. et al. Synthesis and properties of the $\text{Co}_7\text{Se}_8\text{-}x\text{S}_x$ and $\text{Ni}_7\text{Se}_8\text{-}x\text{S}_x$ solid solutions // Journal of Solid State Chemistry. V. 178. 2005. P. 1508-1512.
3. Baranov N.V., Ibrahim P.N.G., Selezneva N.V. et al. Layer-preferential substitutions and magnetic properties of pyrrhotite-type $\text{Fe}_7\text{-}y\text{MyX}_8$ chalcogenides ($X = \text{S, Se, M} = \text{Ti, Co}$) // Journal of Physics: Condensed Matter. V. 27. 2015. P. 286003-1–286003-12.

ВЛИЯНИЕ НАТРИЯ НА ДЕФЕКТНОСТЬ И ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ЛИТИЙ-МАГНИЕВОГО ФОСФАТА

Акулов Д.А.^{1,2}, Калинин М.О.², Келлерман Д.Г.², Абашев Р.М.³,
Сюрдо А.И.³, Медведева Н.И.²

¹) Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург

²) Институт химии твердого тела УрО РАН, 620990, г. Екатеринбург

³) Институт физики металлов УрО РАН, 620108, г. Екатеринбург

E-mail: akulych.da@gmail.com

INTRINSIC DEFECTS-RELATED THERMOLUMINESCENCE IN $\text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{MgPO}_4$ SOLID SOLUTIONS

Akulov D.A.^{1,2}, Kalinkin M.O.², Kellerman D.G.², Abashev R.M.³, Surdo A.I.³,
Medvedeva N.I.²

¹) Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg

²) Institute of Solid State Chemistry UB RAS, 620990, Ekaterinburg

³) Institute of Metal Physics UB RAS, 620137, Ekaterinburg

A series of $\text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{MgPO}_4$ solid solutions with olivine-type orthorhombic structure was synthesized by the conventional solid state reaction route and their optical properties and defectiveness were examined by the experimental and theoretical methods.

Литий-магниевый фосфат LiMgPO_4 относится к классу оливинов и благодаря прозрачности в широком диапазоне длин волн, химической и термической стабильности является перспективной матрицей для создания материалов для оптической дозиметрии [1]. С недавнего времени LiMgPO_4 , допированный редкоземельными элементами, рассматривается в качестве аналога серийно выпускаемому дозиметрическому материалу TLD-500.

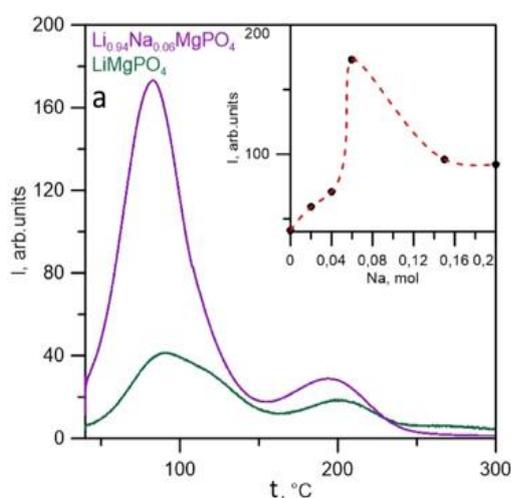


Рис. 1. Кривые ТЛ $\text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{MgPO}_4$

В данной работе методом твердофазного синтеза была получена серия образцов состава $\text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{MgPO}_4$. Для данных образцов были проведены измерения дефектности и оптических свойств. Исследование показало, что частичное замещение лития на натрий существенно улучшает функциональные свойства фосфата. При больших концентрациях натрия наблюдаются эффекты концентрационного тушения.

Определены кинетические параметры термолюминесценции твердых растворов, подтвердившие неизменность типов ловушек при допировании LiMgPO_4 натрием. Проведены квантово-химические расчеты электронной структуры $\text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{MgPO}_4$. Проведенные расчеты продемонстрировали, что натрий уменьшает энергию образования всех кислородных дефектов, в первую очередь заряженных, и тем самым способствует их образованию.

Была впервые определена величина оптической щели для LiMgPO_4 , равная 6.9 эВ. Измерен электронный парамагнитный резонанс и спектры диффузного рассеяния в твердых растворах $\text{Li}_{1-x}\text{Na}_x\text{MgPO}_4$. Обнаружено, что увеличение содержания натрия сопровождается уменьшением энергии, необходимой для возбуждения дефектов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда Грант № 20-13-00121

1. Gieszczyk W., Marczewska B., Kłosowski M. et al., *Materials*, V.12, № 18, P. 2861, (2019)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ ПО АДСОРБЦИИ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ НАНОКЛАСТЕРОВ ZnO НА Si (111) ПОВЕРХНОСТИ

Альжанова А.Е.¹

¹) Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
E-mail: aliya.alzhan@yandex.kz

DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY OF GRAPHENE-LIKE ZnO NANOCCLUSERS-ADSORBED Si (111) SURFACE

Alzhanova A. Ye.¹

¹) L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

The adsorption energy was calculated with the growth of ZnO nanoclusters in two and three layers on the Si (111) terminated surface, and the density of electronic states as a function of energy was analyzed.

В настоящее время для прогнозирования жизнеспособности системы в качестве эффективного инструмента используют вычислительный эксперимент. Вычислительный эксперимент позволяет моделировать потенциально возможный эксперимент (либо уже проделанный) и получить более полную картину с точки зрения расчета дополнительных параметров исследуемой системы. Посредством вычислительного эксперимента появляется возможность оценить такие параметры системы, как энергия, потенциал, плотность электронных состояний и т.д., что невозможно получить при измерениях в лабораторных условиях. Таким образом, вычислительный эксперимент выступает альтернативой и дополнением к тем полученным данным, которые мы можем измерить в ходе проведения реального эксперимента. Вычислительный эксперимент также дает четкий прогноз жизнеспособности системы, что сокращает время и ресурсы при подготовке к реальным измерениям в лаборатории.

В проведенном нами эксперименте [1], были получены нанокластеры ZnO гексаганальной примитивной фазы с индексами Миллера (200) и (201) [2] в диэлектрической матрице диоксида кремния наноструктурированной системы SiO₂/Si. Полученная наноструктура представляет собой сложную систему из нанокластеров ZnO, вкрапленных в диэлектрическую матрицу SiO₂ и контактирующих с кремниевой подложкой. Область контакта полученных нанокластеров с кремниевой подложкой вызывает особый интерес, т.к. именно от свойств данной области системы зависят его перспективы применения в качестве активных элементов опто-, микро- и наноэлектроники.

В работе [3] мы провели вычислительный эксперимент по адсорбции нанокластеров графеноподобного ZnO на Si терминированной (111) поверхности. Мы

получили подтверждение жизнеспособности такой системы и убедились, что исследуемая система является проводником [3].

В данной работе нами были проведены дополнительные расчеты по росту нанокластеров на поверхности Si терминированной (111). Мы провели расчеты по адсорбции нанокластеров графеноподобного ZnO на Si терминированной поверхности в два и три слоя, чтобы убедиться, что дальнейший рост нанокластеров ZnO не приведет к разрушению системы, а способствует росту нанопроволок.

Посчитанные значения энергии адсорбции при 2-х и 3-х слоях нанокластеров ZnO показали, что графеноподобный ZnO хорошо адсорбируется на Si. Полученные данные о плотности электронных состояний от энергии подтвердили, что исследуемая система является проводником, т.е. в области контакта графеноподобного ZnO с подложкой Si существует хорошая проводимость, что позволяет прогнозировать практическое применение такой системы. Таким образом, в ходе вычислительного эксперимента была подтверждена жизнеспособность роста нанокластеров графеноподобного ZnO на полужке Si в фреме нанопроволок с последующим прикладным применением таких систем, как активных элементов газовых сенсоров.

1. Daultbekova A., Alzhanova A., et.al., Surface & Coatings Technology J., Vol. 355., (2018).
2. Daultbekova A., Alzhanova A., et.al., KnE Engineering J., Vol. 2018., (2018).
3. Alzhanova A.Ye. AIP Conf. Proc. 2313, 030035-1-030035-5., (2020).

РАЗДЕЛЕНИЕ СПЕКТРОВ СЕЧЕНИЯ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ТОНКИХ ПЛЁНОК АЛЮМИНИЯ НА ВКЛАДЫ ОБЪЁМНОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРИРОДЫ

Андрющенко Т.А.¹, Хохлова Т.Н.¹, Паршин А.С.¹

¹) Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия
E-mail: tanya.andryuchshenko@mail.ru

THE INELASTIC ELECTRON SCATTERING CROSS SECTION SPECTRA OF ALUMINIUM THIN FILMS SEPARATION INTO BULK AND SURFACE ORIGIN CONTRIBUTIONS

Andryushchenko T.A.¹, Khokhlova T.N.¹, Parshin A.S.¹

¹) Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

Electron spectroscopy methods provide information which can be used to determine the electronic structure of the material. In this paper we have performed the separation of the inelastic electron scattering cross section spectra into bulk-loss and surface-loss components by three methods.

Анализ тонких пленок алюминия методами электронной спектроскопии позволяет получить данные, возможные использовать в дальнейших исследованиях структур на основе данного элемента, который, в свою очередь, представляет перспективный материал для развития множества отраслей. Из-за легкости алюминия конструкции на его основе находят всё большее применение в ракетно-космической отрасли.

Для более точного количественного анализа спектров характеристических потерь энергии электронов необходимо выполнять их преобразование в спектры сечения неупругого рассеяния электронов (Кл-спектры [1]), представляющие собой произведение средней длины неупругого пробега электронов λ и дифференциального сечения неупругого рассеяния K .

Наиболее интенсивными в Кл-спектрах являются потери энергии на возбуждение объёмного и поверхностного плазмонов. Плазмоном называется квант плазменных колебаний, так как электроны в совокупности с ионами кристаллической решетки внутри твердого тела возможно представить в качестве плазмы, которая стремится к существованию в состоянии квазинейтральности.

В Кл-спектрах тонких пленок алюминия наблюдаются пики, описывающие как однократные, так и двукратные потери энергии на возбуждение объёмного плазмона. Пик поверхностной природы, описывающий потери энергии на возбуждение поверхностного плазмона, не разрешен по энергии в исследуемых спектрах. В данной работе было проведено его выделение посредством

комплекса методик, за счёт совместного применения которых возможно получить точные и качественные результаты.

Кл-спектры тонких пленок алюминия были разделены на вклады объёмной и поверхностной природы при помощи факторного анализа [2], аппроксимации пиками Тоугарда [3] и методом определения параметра поверхностных возбуждений [4]. Зависимости энергии и интенсивности выделенных вкладов от энергии первичных электронов подтверждают природу вкладов и демонстрируют согласованность используемых методов.

1. S. Tougaard and I. Chorkendorff, *Phys.Rev. B* 35, Iss. 13, 6570-6577 (1987)
2. H. Jin, H. Shinotsuka, H. Yoshikawa, H. Iwai, S. Tanuma and S. Tougaard, *Journal of Applied Physics* 107, 083709 1-11 (2010)
3. A. S. Parshin, A. Yu. Igumenov, Yu. L. Mikhlin, O. P. Pchelyakov, A. I. Nikiforov and V. A. Timofeev, *Semiconductors* 49, Iss. 4, 423-427 (2015)
4. G. Gergely, M. Menyhard, S. Gurban, A. Sulyok, J. Toth, D. Varga and S. Tougaard, *Surface and Interface Analysis* 33, Iss. 5, 410-413 (2002)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАДИНАМИКИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИНТЕЗА ЦЕПОЧНЫХ СТРУКТУР

Арсланов К.П.¹, Бунтов Е.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, России
E-mail: arslanov.kirill@mail.ru

APPLICATION OF METADYNAMICS TO ACCELERATE MODELING OF THE SYNTHESIS OF CHAIN STRUCTURES

Arslanov K.P.¹, Buntov E.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Application of metadynamics for simulation Ar⁺ ion-stimulated plasma deposition of hydrocarbons for synthesis chains structures in LAMMPS programs. Collective variables, parameters of metadynamics were studied to accelerate the formation of structures with sp³-hybridization.

Метастабильность характерна для многих интересных систем в материаловедении и биофизике. В практическом плане метастабильность означает, что система при моделировании методом молекулярной динамики, вероятно, будет находиться только в одном максимуме вероятности на протяжении длительного времени. Возможный путь к решению этой проблемы заключается в заполнении минимумов свободной энергии метастабильных состояний контролируемым образом, что позволяет системе исследовать все состояния [1]. Одним из методов реализации этого решения является метадинамика.

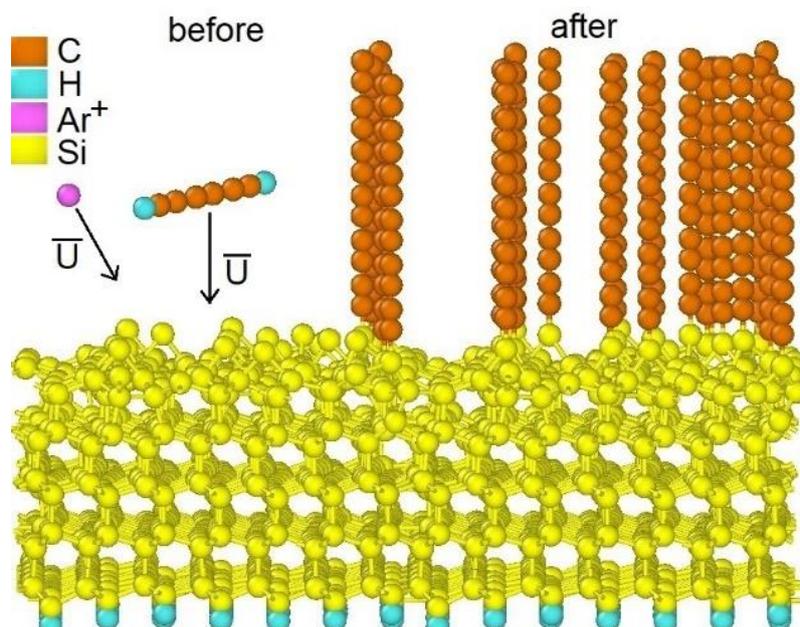


Рис. 1. Пример моделируемой пленки

В работе [2] методом классической молекулярной динамики в программе LAMMPS было исследовано влияние бомбардировки ионами аргона с разными энергиями, углами бомбардировки и плотностями потока на рост пленки с целью получения линейно-цепочечного углерода. Однако затраченного времени моделирования оказалось недостаточно для значительного роста пленки. В данной работе осуществлялось дальнейшее моделирование для проверки оптимальных условий синтеза цепочечных структур. С целью ускорения их роста и увеличения временного масштаба моделирования применялась метадинамика.

Для реализации метадинамики необходимо выбрать коллективные переменные и установить параметры для моделирования. При этом важно, чтобы метадинамика не оказывала сильное влияние на результат моделирования. В работе исследуется влияние различных коллективных переменных и параметров на рост пленки для формирования углеродных структур с *sp*-гибридизацией, в частности линейного-цепочечного углерода.

1. G. Bussi, A. Laio, J. Nature Reviews Physics 2, 200–212 (2020)
2. E. Buntov, K. Arslanov J. Plasma Process Polym. 19, 1, 2100135 (2022)

БРИЗЕРНОЕ РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ КЛЕЙНА-ГОРДОНА В ПЕРЕДЕЛЕ МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ

Бадикова П.В.¹, Завьялов Д.В.¹, Конченков В.И.¹

¹⁾ Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия
E-mail: polin.badicova@gmail.com

BREATHER SOLUTION OF THE NONLINEAR KLEIN-GORDON EQUATION IN THE REDISTRIBUTION OF SMALL AMPLITUDE

Badikova P.V.¹, Zav'yalov D.V.¹, Konchenkov V. I.¹

¹⁾ Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

An approximate breather solution of the equation describing the propagation of solitary electromagnetic waves in a graphene superlattice is obtained.

Бризеры представляют собой нетривиальные периодические по времени и пространственно локализованные решения некоторых нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных [1]. Решения такого типа играют важную роль в математической физике, поэтому их поиск и исследование является актуальной задачей. Одним из наиболее известных уравнений, имеющих бризерное решение, является уравнение синус-Гордона. Уравнение синус-Гордона является частным случаем уравнения Клейна-Гордона. Если уравнение синус-Гордона имеет точное бризерное решение, то для других вариантов уравнения Клейна-Гордона бризерные решения можно получить лишь приближенно. В качестве примера применения метода редукции по возмущениям в [2] рассмотрено решение нелинейного уравнения Клейна-Гордона вида при произвольных значениях коэффициентов перед линейным и кубическим членами в правой части. Нелинейное уравнение Шредингера, как известно, имеет солитонные решения, при этом, как показано в [2], решение уравнения, взятое в форме плоской волны с модулированной амплитудой, оказывается неустойчивым.

В [3] численно исследовано неупругое столкновение кинка и антикинка, движущихся с одинаковыми по величине и противоположно направленными скоростями, являющихся решением уравнения описывающего распространение уединенных электромагнитных волн в графеновой сверхрешетке (ГСР). Расчет показывает, что после столкновения уединенные волны продолжают двигаться до «бесконечности», если их скорость больше некоторого критического значения или принадлежит набору резонансных окон. В противном случае после столкновения решения формируют состояние, подобное бризеру, которое медленно распадается, излучая энергию. Фрактальная структура этих резонансных окон характеризуется многоиндексной нотацией, основные особенности этой структуры сравниваются с предсказаниями теории резонансного обмена энергией и показывают хорошее соответствие этой теории.

Предметом настоящей работы является построение приближенного бризерного решения уравнения, описывающего распространение уединенных электромагнитных волн в ГСР. используя методику, развитую в [4, 5]

1. Otávio M. L. Gomide, Marcel Guardia, Tere M. Seara, Chongchun Zeng, On small breathers of nonlinear Klein-Gordon equations via exponentially small homoclinic splitting, arXiv:2107.14566, (2021)
2. N. Asano, T. Taniuti, N. Yajima, Journal of Mathematical Physics, 10(11), 2020 – 2024 (1969).
3. F. Martin-Vergara, F. Rus, F.R.Villatoro, Chaos, Solitons & Fractals, 151, 111281, (2021)
4. Белова Т. И., Кудрявцев А. Е., УФН, 167(4), 377–406 ,(1997)
5. Kosevich A.M., Kovalev A.S., ЖЭТФ, 40(5), 891-896, (1974)

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ $ZnWO_4$, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ УГЛЕРОДА С ЭНЕРГИЕЙ 19,2 МЭВ

Бакыткызы А.¹, Даулетбекова А.К.¹, Попов А.И.^{1,2}, Баубекова Г.¹,
Лисицын В.М.³, Здоровец М.В.³

¹) Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

²) Институт физики твердого тела, Латвийский университет, Рига, Латвия

³) Томский политехнический университет, Томск, Российская Федерация
E-mail: aizat.bakytkyzy.1@gmail.com

PHOTOLUMINESCENCE OF $ZnWO_4$ CRYSTALS IRRADIATED WITH 19.2 MEV CARBON IONS

Bakytkyzy A.¹, Dauletbekova A.K.¹, Popov A.I.^{1,2}, Baubekova G.¹,
Lisitsyn V.M.³, Zdorovets M.V.³

¹) L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²) Institute of Solid State Physics University of Latvia, Riga, Latvia

³) Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

$ZnWO_4$ single crystals were irradiated with carbon ions with an energy of 19.2 MeV with different fluences. The path length of a carbon ion in a single crystal was $R = 10 \mu m$. The luminescence light yield decreases exponentially with fluence.

$ZnWO_4$ является одним из представителей класса вольфраматов двухвалентных металлов, которые имеют высокий потенциал для применения в различных областях, таких как сцинтилляторы, лазерные и акустические кристаллы, а также как фотокатализаторы [1, 2, 3]. $ZnWO_4$ привлекателен для исследователей благодаря уникальному сочетанию физических и химических свойств.

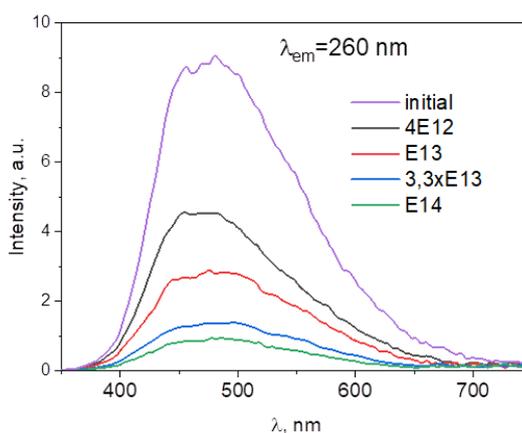


Рис. 1. Спектр люминесценции исходных и облученных кристаллов $ZnWO_4$

Облучение ионами углерода с энергией 19,2 МэВ монокристаллов $ZnWO_4$ производилось на ускорителе DC-60 (Нур-султан, Казахстан) флюенсами

$\Phi_1=4 \times 10^{12}$, $\Phi_2=1 \times 10^{13}$, $\Phi_3=3,3 \times 10^{13}$, $\Phi_4=1 \times 10^{14}$ нуклон/см². С помощью программного пакета для расчета взаимодействия ионов с веществом SRIM-2013 были рассчитаны длина пробега, а также электронные и ядерные потери энергии для иона углерода в кристалле ZnWO₄. Длина пробега иона углерода в монокристалле составила $R = 10$ мкм. Фотолюминесценция была измерена флуориметром Солар СМ2203. При возбуждении фотонами длиной волной 260 нм, все облученные кристаллы люминесцировали с максимумом 480 нм с FWHM 0.76 эВ, для необлученного образца 0,72 эВ. Световыход люминесценции падает экспоненциально с флюенсом. Для флюенса Φ_1 уменьшение световыхода составляет 2 раза, для Φ_2 – 3,1 раза, для Φ_3 – 5,6 раза, Φ_4 – 7 раз. Полученные результаты объясняются, принимая во внимание, что под действием ионного облучения происходит образование точечных дефектов и сдвиг края оптического поглощения.

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP13068155)

1. Huang G., Zhang C. and Zhu Y. ZnWO₄ photocatalyst with high activity for degradation of organic contaminants // J. Alloy. Comp. - 2007. – Vol. 432(1-2). - P. 269–276.
2. Pullar R. C., Farrah S. and Alford N. M. MgWO₄, ZnWO₄, NiWO₄ and CoWO₄ microwave dielectric ceramics // J. Eur. Ceram. Soc. - 2007. - Vol. 27(2-3). - P. 1059–1063.
3. Kalinko, A., Kuzmin, A., Pankratov, V., Popov, A. I., Shirmane, L., & Kotlov, A. (2011). Electronic excitations in ZnWO₄ and Zn_xNi_{1-x}WO₄ (x= 0.1-0.9) using VUV synchrotron radiation. Central European Journal of Physics, 9(2), 432-437.

RESEARCH OF HETEROANNIHILATION DYNAMICS IN MATRICES WITH DIFFERENT TOPOLOGY

Baratova A.A.¹, Baktybekov K.S.²

¹L.N.Gumilyov Eurasian National University

²Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University

E-mail: aa.baratova@yandex.kz

The results of research of dynamics behavior of interacting particles in matrices with different topology with the usage of modeling methods are presented in this work.

Research of external influence on materials structure evolution is a fundamental problem which has an important applied significance. These processes lead to change of material's structure: acquisition of new properties or destruction of material.

Structural organization of matrices with nonuniform distribution of reagents has an essential influence on electron excitation deactivation kinetics, formation and growth of embedded molecules clusters. Electron excitation deactivation kinetics in such systems depends on structure and topology of medium, reagents distribution character and also parameters determining thermodynamic state of system as a whole.

The probabilistic cellular automata of fourth type is used for modeling of destruction of heterogeneous structure in process of triplet excitation energy transfer at initial chaotic, multifractal, cluster distributions of interacting particles for kinetic and diffusion controlled reactions. The method of multifractal analysis was applied for description of structural transformations taking place in condensed media at different time.

Performed computer modeling and multifractal analysis of donor-acceptor pairs allows to establish that clusterization process reduces to excitation localization and to deceleration of electron excitation energy deactivation that corresponds to percolation theory data. At that rate coefficient of annihilation reaction is a time function. Energy migration on donor subsystem and its annihilation lead to matrix order and uniform clusters distribution on the surface. As a result of this reaction rate constant becomes unchangeable, kinetic dependences are described on the basis of formal-kinetic approach.

Multifractal analysis of reagents distribution conducted at different time shows that molecules clusterization passes faster in matrices with higher initial order strength. Energy migration and intermolecular interactions reduce to spatial division of reagents. Order strength increases and reaches value at which fractal dimension of clusters doesn't change. Structural changes are accompanied by entropy change. More faster change of entropy is observed for matrices with nonclustered distribution reagents.

Energy transfer and annihilation interactions reduce to stable fractal clusters formation with homogeneous porosity and increase of order parameter. Clusters formation on the surface leads to interparticle interaction mechanism change. Heterogeneous kinetics depends on formation rate and clusters geometry.

1. Fan Zhang , Hai-Yang Xu, Heng-You Lan // Fractal and Fractional-2022.-№ 6(132).- P. 2-24.

**ИСКАЖЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ И ХИМИЧЕСКИЙ
СОСТАВ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
 $TbFe_2Mn_x$ ($0 \leq x \leq 0.4$)**

Барташевич А.М.^{1,2}, Герасимов Е.Г.^{1,2}, Терентьев П.Б.^{1,2}, Инишев А.А.^{1,2},
Гавико В.С.^{1,2}

¹⁾ Институт физики металлов УрО РАН, 620108, Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: bartashevich@imp.uran.ru

**CRYSTAL LATTICE DISTORTIONS AND CHEMICAL COMPOSITION
OF NONSTOICHIOMETRIC COMPOUNDS $TbFe_2Mn_x$ ($0 \leq x \leq 0.4$)**

Bartashevich A.M.^{1,2}, Gerasimov E.G.^{1,2}, Terentev P.B.^{1,2}, Inishev A.A.^{1,2},
Gaviko V.S.^{1,2}

¹⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, 620108 Russia

²⁾ Ural Federal University, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ekaterinburg,
620002 Russia

In this paper we studied crystal lattice and chemical composition of $TbFe_2Mn_x$ Laves phase. It was shown that magnetostriction induces splitting of x-ray diffraction reflects and spontaneous magnetostriction can be calculated. Chemical composition was checked by x-ray fluorescent analysis.

В сплавах замещения $(R_{1-x}R'_x)(T_{1-x}T'_x)_2$ редкоземельный элемент R замещают другим R' , а переходный металл T – другим переходным металлом T' . В то время как в нестехиометрических фазах Лавеса RT_2Mn_x атомы Mn садятся как в позиции переходного металла T, так и в позиции редкоземельного элемента R. Это приводит к появлению уникальных магнитных свойств, недоступных для сплавов замещения [1, 2].

В данной работе были синтезированы сплавы нестехиометрического соединения $TbFe_2Mn_x$ ($0 \leq x \leq 0.4$) методом индукционной плавки с последующим гомогенизирующим отжигом. Рентгеноструктурный анализ показал, что вследствие огромной магнитострикции при комнатной температуре [3] кристаллическая решетка искажается из кубической ($Fd-3m$) (рис. 1а) в ромбоэдрическую ($R-3m$) (рис. 1б). Вследствие этого происходит расщепление пиков на рентгенограмме. По величине этого расщепления можно оценить величину спонтанной магнитострикции.

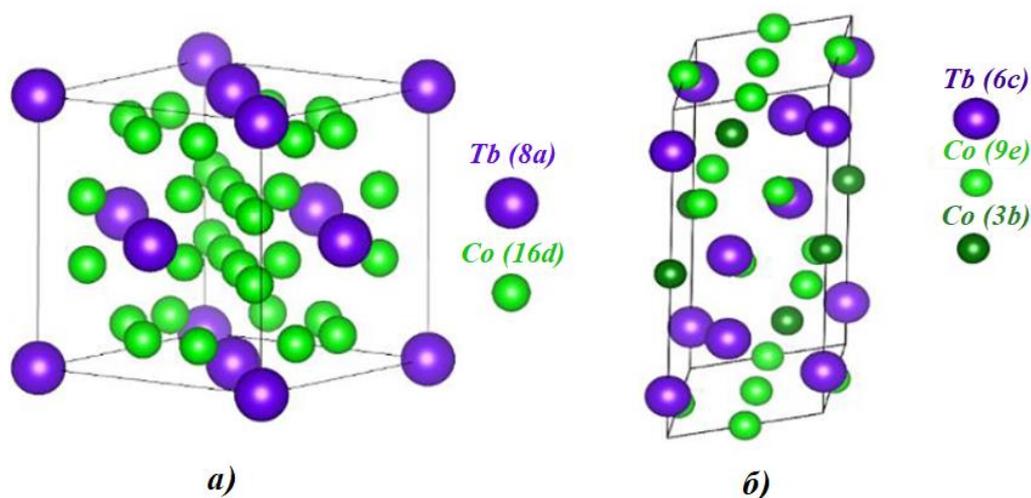


Рис.1. Кристаллическая решетка нестехиометрических сплавов $TbFe_2Mn_x$: (а) кубическая при температуре выше температуры Кюри; (б) ромбоэдрическая при температуре ниже температуры Кюри.

С помощью рентгено-флуоресцентного анализа был проверен объемный химический состав. Было показано, что в пределах погрешности соотношение химических элементов соответствует шихте.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-42-660008) и правительства Свердловской области. Так же благодарим Кулеша Н.А. за проведенный химический анализ.

1. J L Wang, S J Campbell, S J Kennedy, R Zeng, S X Dou, G H Wu. Critical magnetic transition in $TbNi_2Mn$ -magnetization and Mössbauer spectroscopy. *Journal of Physics: Condensed Matter* 23 (2011) 216002
2. E.G. Gerasimov, A.A. Inishev, P.B. Terentev, V.A. Kazantsev, N.V. Mushnikov. Magnetostriction and thermal expansion of nonstoichiometric $TbCo_2Mn_x$ compounds. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 523 (2021) 167628
3. A. E. Clark, H. S. Belson. Giant Room-Temperature Magnetostriction in $TbFe_2$ and $DyFe_2$. *Physical Review B* 5 (1972) 3642

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ МЕТАЛЛ-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СУБОКСИДА КРЕМНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Бацанов С.А.¹, Вдовин В.И.¹, Гутаковский А.К.¹, Замчий А.О.²,
Баранов Е.А.²

¹) Институт физики полупроводников СО РАН

²) Институт теплофизики СО РАН

E-mail: night.watch@mail.ru

SILICON SUBOXIDE METAL-INDUCED CRYSTALLIZATION MECHANISMS STUDIES BY TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY

Batsanov S.A.¹, Vdovin V.I.¹, Gutakovskii A.K.¹, Zamchii A.O.², Baranov E.A.²

¹) ISP SB RAS

²) ITP SB RAS

High-resolution transmission electron microscopy was used to study system: substrate/Al (or Au) film/a-SiO_x (x = 1.8 for Al and 0.3 for Au) film before and after annealing. The polycrystalline silicon formation mechanisms based on metal-induced crystallization using these two metals are proposed.

Одним из перспективных способов получения тонких пленок поликристаллического кремния (poly-Si), представляющих интерес для электроники большой площади и солнечных элементов [1], на подложках из стекла является металл-индуцированная кристаллизация (МИК, metal-induced crystallization, MIC) аморфного кремния (a-Si), поскольку использование металла в качестве катализатора процесса кристаллизации позволяет снизить температуру по сравнению с другими методами твердофазной кристаллизации [2], при этом толщина poly-Si соответствует толщине исходного слоя металла. В отличие от обычной технологии MIC, в которой используется a-Si, особенностью данной работы является использование окисленного аморфного кремния (SiO_x). Синтез этих структур включал термическое напыление металла (Al или Au) в вакууме на подложку из плавленого кварца (SiO₂) и нанесение поверх металла пленки SiO_x методом плазмохимического осаждения из паровой фазы с использованием смеси SiH₄/O₂ с различным соотношением газов в смеси. Структурные особенности данных систем исследовались методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ТИТАН 80–300, 300 кВ). Обработка экспериментальных ПЭМ изображений проводилась с помощью пакета программ GMS_3_4_3 (Gatan).

Толщины слоев Al и a-SiO_{1.8} составляли 250 нм и 550 нм, соответственно. После отжига при температуре 550°C в течении 50 часов в результате диффузии Al в субоксид кремния и Si в слой Al на месте слоя Al формируется слой крупноблочного poly-Si. [3] Высокое содержание кислорода в слое a-SiO_{1.8} приводит к локальному неравномерному образованию вкраплений оксида алюминия

субмикронного размера вблизи границ раздела $a\text{-SiO}_{1.8}$ - poli-Si и poli-Si – кварц. (рис. 1, верхний).

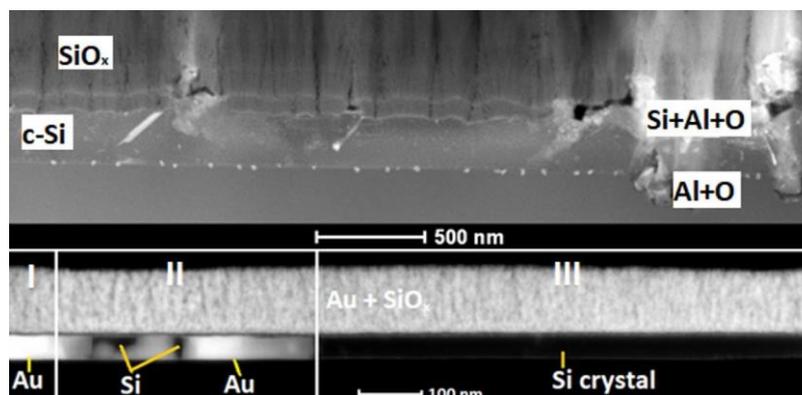


Рис.1. STEM HAADF-изображение поперечного сечения образца на подложке кварца (вверху) после АПС (при 550°C) (внизу) после AuIC (при 350°C). Область I-исходный слой Au без изменений, II-присутствуют и Si и Au, III-на месте слоя Au сформировалась сплошная плёнка поликремния.

Толщины слоев Au и $a\text{-SiO}_{0.3}$ составляли 30 нм и 135 нм, соответственно. В процессе отжига при температуре 350°C в течении 3,5 часов на границе раздела Au с субоксидом кремния формируется слой, толщиной 4 нм из предположительно SiO_2 . Одновременно в результате диффузии Au в субоксид кремния и Si в слой золота на месте слоя Au формируется слой poli-Si . Золото в порах субоксида кремния по всей площади образца формирует поликристаллические включения. При данных параметрах AuIC, процесс формирования poli-Si происходит неравномерно по площади подложки. На STEM изображениях можно выделить характерные области, где исходный слой Au остался без видимых изменений, где начал замещаться на кремний и где на его месте уже сформировался слой poli-Si . (рис. 1, нижний).

Таким образом ВРЭМ анализ позволил выявить особенности ключевых структурных характеристик исходных и полученных материалов алюминий и золото-индуцированной кристаллизации субоксида кремния. Что позволит в дальнейшем, на основе понимания кинетики синтеза поликристаллических полупроводниковых пленок получать материалы с заданными свойствами.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-79-10143) с использованием оборудования ЦКП «Наноструктуры»

1. Toko K., Suemasu T., J. Phys. D: Appl. Phys., 53, 373002 (2020)
 2. Bellanger P., Traoré M., Sunil B.S., Ulyashin A., Leuvre C., Maurice C., Roques S., Slaoui A., Thin Solid Films, 636, 150 (2017)
- Zamchiy A. O., Baranov E. A., Merkulova I. E., Korolkov I. V., Vdovin V. I., Gutakovskii A. K., Volodin, V. A., Mater. Lett., 293, 129723 (2021)

3.

STUDY OF THE IRON STATE IN PHARMACEUTICAL PRODUCTS USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

Belyaev D.V.¹, Moskvitin V.S.¹, Alenkina I.V.¹, Oshtrakh M.I.¹

¹) Department of Experimental Physics, Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russian Federation
E-mail: danil.belyaev08@gmail.com

This work is devoted to study of the iron state in iron-containing pharmaceuticals using Mössbauer spectroscopy. Obtained results showed useful application of Mössbauer spectroscopy for characterization of the iron state in various pharmaceutical products.

Iron is the metal of life. Iron can be found in various iron-containing proteins which provide vitally important processes, e.g., oxygen transport, electron transport and others. Iron deficiency causes severe pathological consequences in the body known as the iron deficiency anemia. Various iron-containing pharmaceuticals are used to treat or prevent anemia. These pharmaceutical products may contain ferrous and ferric compounds such as ferrihydrite $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, akaganéite $\beta\text{-FeOOH}$, ferrous sulfate FeSO_4 , ferrous fumarate $\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$, iron chelates and several other compounds. ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy could be a useful technique for evaluation of the iron state, control of possible iron-containing contamination and product aging [1–4]. Therefore, in the present work we have studied the iron state in the following pharmaceutical products Tardiferon® containing FeSO_4 , PreNatal containing $\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$, Iron Complexes containing iron glycine and iron citrate, Ferrum Lek and Maltofer® containing $\beta\text{-FeOOH}$. The Mössbauer spectrum of Tardiferon® demonstrates the presence of several minor quadrupole doublets corresponding to ferrous compounds in addition to quadrupole doublet associated with the main ferrous compound. The Mössbauer spectrum of PreNatal [Figure 1] indicates the presence of two quadrupole doublets related to the main ferrous compounds and one quadrupole doublet assigned to the minor ferric compound. The Mössbauer spectra of Maltofer® [Figure 1] and Ferrum Lek show several quadrupole doublets corresponding to different layers/areas of the $\beta\text{-FeOOH}$ nanosized iron cores, i.e., structural heterogeneity (see the heterogeneous iron core model in [5]). Obtained results showed useful application of Mössbauer spectroscopy for characterization of the iron state in various pharmaceutical products to reveal additional iron-containing contaminations and ferrous compound oxidation that may be useful for the analysis of these products quality.

The authors wish to thank Dr. I.N. Antsigin for useful comments and support. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project # FEUZ-2020-0060

1. Oshtrakh M. I., Milder O. B., Semionkin V. A. Determination of the iron state in ferrous iron containing vitamins and dietary supplements: application of Mössbauer spectroscopy // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. – 2006. – V. 40. – P. 1281–1287.
2. Barrero C. A. et al. Enhancing the possibilities of ^{57}Fe Mössbauer spectrometry to the study of chemical and physical properties of iron in medicines // *Polyhedron*. – 2016. – V. 105. – P. 27–34.
3. Oshtrakh M. I. et al. The ^{57}Fe hyperfine interactions in the life sciences: application of Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution in the study of iron-containing biomolecules and pharmaceutical compounds // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2016. – V. 309. – P. 317–332.
4. Belyaev D. V. et al. Testing of the iron state in outdated pharmaceuticals using Mössbauer spectroscopy // *Hyperfine Interactions*. – 2021. – V. 242. – P. 1–10.
5. Oshtrakh M.I. et al. Different ^{57}Fe microenvironments in the nanosized iron cores in human liver ferritin and its pharmaceutical analogues on the basis of temperature dependent Mössbauer spectroscopy // *Spectrochimica Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2017. – V. 172. P. 14–24

ПОЛИМЕРНЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ИК-ДИАПАЗОНА

Бессонова В.А.¹, Наумов С.В.¹, Телегин А.В.¹

¹) Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: vbessonova@imp.uran.ru

POLYMER MAGNETOOPTICAL COMPOSITES FOR THE IR RANGE

Bessonova V.A.¹, Naumov S.V.¹, Telegin A.V.¹

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The magnetotransmission of composite structures based on doped $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ manganite has been studied. For the pressed $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3+\text{CsJ}$ composite, the effect was about -2.6% over the entire range, which is close to the effects in films, but lower than in bulk manganites.

Монокристаллы и тонкие пленки допированных манганитов лантана, обладающие эффектом колоссального магнитосопротивления, рассматриваются как перспективные функциональные оптические материалы в связи с наблюдаемым в них эффектом магнитопропускания (МП) неполяризованного света в инфракрасной (ИК) области спектра [1, 2]. Прикладное использование эффекта МП в манганитах ограничивается рядом факторов: необходимостью термостабилизации вблизи температуры Кюри, увеличением оптического кпд (высокая прозрачность при максимальном МП), упрощением технологии получения и т.д. Одним из возможных вариантов решения являются композитные материалы. Ранее был обнаружен и изучен эффект МП в порошковом прессованном композите $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ [3]. В данной работе приведены результаты изучения МП света в композитах с манганитами разного состава в органической матрице. Исходные кристаллы манганитов были получены методом твердофазного синтеза, а микропорошки манганитов $\text{A}_{1-x}\text{B}_x\text{MnO}_3$ (А - La; В - Са, К) – путем размолла вручную или в шаровой мельнице. Композиты были получены путем фиксации порошка на канцелярском скотче или обезвоживании раствора манганит/цапон-лак.

В композитах манганит-скотч впервые был обнаружен эффект МП, достигающий 10% для $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ при $T=250\text{ K}$ и 2% для $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{MnO}_3$ при комнатной температуре в магнитном поле 8 кЭ. Спектральные зависимости МП в композитах подобны МП для плёнок близкого состава. По аналогии с пленками изменение состава манганита позволяет варьировать величину и температуру максимума МП. Полученные величины эффектов для полимерных композитов ниже, чем в плёнках или прессованных композитах, что в первую очередь объясняется большим вкладом процессов рассеяния в виду неоднородности слоя манганита в таком композите.

Необходимо также отметить, что в ряде экспериментов наблюдалось смещение температуры максимума МП по сравнению с пленками такого же состава, что связано с низкой теплопроводностью полимеров. Предполагается, что изменение условий эксперимента позволит увеличить МП в композитах. Изменение ориентации магнитного поля и поляризации излучения в пределах погрешности эксперимента не влияет на величину МП в композитах. В то же время полимерные композиты можно использовать для создания термостабилизированных магнитооптических элементов.

Таким образом, по сравнению с порошковыми композитами на основе CsJ, которые деградируют со временем, полимерные композиты являются гибкими, устойчивыми к механическим воздействиям и не гигроскопичными. Наблюдение в композитах сопоставимого по величине с пленками эффекта МП, наряду с простой технологией получения, позволяет рекомендовать их как новые магнитооптические материалы ИК-диапазона спектра.

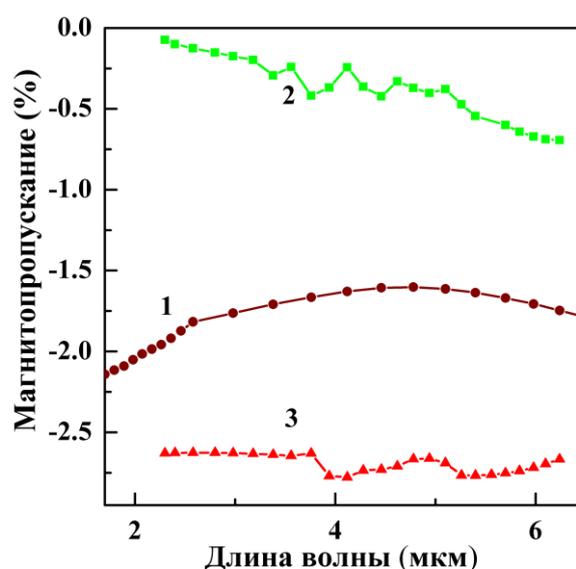


Рис. 1. Спектральные зависимости магнитного пропускания плёнки $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ (кривая 1) и композитов на основе поликристаллического $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ и скотча (кривая 2) или CsJ (кривая 3) при $T=295\text{ K}$, $H=8\text{ кЭ}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Спин», № 122021000036-3).

1. N.G. Bebenin, N.N. Loshkareva, A.A. Makhnev, E.V. Mostovshchikova, L.V. Nomerovannaya, E.A. Gan'shina, A.N. Vinogradov, Ya.M. Mukovskii. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 22, 096003 (2010)
2. А.В. Телегин, В.А. Бессонова, Ю.П. Сухоруков, А.П. Носов, Е.А. Ганьшина. *Оптика и спектроскопия*, 128, 43 (2020).
3. E.V. Mostovshchikova, N.N. Loshkareva, A.V. Telegin, S.V. Naumov, B.A. Gizhevskii, L.I. Naumova. *Journal of Applied Physics*, 113, 043503 (2013)

ТУННЕЛЬНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В СИСТЕМЕ ЯН-ТЕЛЛЕРОВСКИХ КОМПЛЕКСОВ В КРИСТАЛЛАХ ФЛЮОРИТА ДОПИРОВАННЫХ ИОНАМИ МЕДИ

Сарычев М.Н.¹, Бондаревская А.С.¹, Уланов В.А.^{2,3}, Егранов А.В.⁴,
Жевстовских И.В.^{1,5}, Аверкиев Н.С.⁶, Гудков В.В.¹

- ¹) Физико-технологический институт, Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
- ²) Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия
- ³) Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
- ⁴) Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия
- ⁵) Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия
- ⁶) Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: any-bondarevskaya@yandex.ru

TUNNELING RELAXATION IN THE SYSTEM OF JAHN-TELLER COMPLEXES IN FLUORITE CRYSTAL DOPED WITH COPPER IONS

Sarychev M.N.¹, Bondarevskaya A. S.¹, Ulanov V. A.^{2,3}, Egranov A. V.⁴,
Zhevstovskikh I.V.^{1,5}, Averkiev N.S.⁶, Gudkov V.V.¹

- ¹) Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
- ²) Kazan E. K. Zavoisky Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia
- ³) Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
- ⁴) A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia
- ⁵) M. N. Miheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia
- ⁶) A. F. Ioffe Physical Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Temperature dependences of trigonal and tetragonal elastic moduli, have been studied in a fluorite crystal doped with copper ions at 56 MHz. The observed anomalies found at 24 K were considered as due to the Jahn-Teller effect.

Contribution of the Jahn-Teller sub-system to the elastic moduli has been defined as the difference between the data obtained on doped and nominally pure crystals. Temperature dependences of the real and imaginary parts of the moduli have been constructed. To determine the mechanisms of relaxation, the mentioned temperature dependences have been simulated with the help of three summands: activation mechanism and two tunneling mechanisms. Using a fitting procedure, we justified that these mechanisms successfully describe the studied process of relaxation. It has been found

that the tunneling dominantly contributes to the elastic moduli at low temperatures (below 10 K). The value of all the parameters characterizing the tunneling mechanisms of relaxation have been determined and compared with ones obtained in our previous investigations of $\text{CaF}_2:\text{Cr}^{2+}$, $\text{CaF}_2:\text{Ni}^{2+}$, and $\text{SrF}_2:\text{Cr}^{2+}$ crystals[1].

Research was supported by Russian Scientific Foundation (grant № 22-22-00735).

1. M. N. Sarychev, A. S. Bondarevskaya , I. V. Zhevstovskikh, V. A. Ulanovc, G. S. Shakurov, A. V. Egranov, V. T. Surikov, N. S. Averkiev, and V. V. Gudkov, Journal of Experimental and Theoretical Physics, Vol. 132, pp. 790–799 (2021).

ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОНО- И ПОЛИКРИСТАЛЛОВ $MnBi_2Te_4$

Перевалова А.Н.¹, Борболин А.Д.¹, Наумов С.В.¹, Марченкова Е.Б.¹,
Хуан Дж.К.А.², Марченков В.В.^{1,3}, Подгорных С.М.¹

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Национальный университет Чен Кун, Тайнань, Тайвань

³) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: borbolin@imp.uran.ru

FEATURES OF THE RESISTIVITY OF $MnBi_2Te_4$ SINGLE CRYSTALS AND POLYCRYSTALS

Perevalova A.N.¹, Borbolin A.D.¹, Naumov S.V.¹, Marchenkova E.B.¹,
Huang J.C.A.², Marchenkov V.V.^{1,3}, Podgornykh S.M.¹

¹) M.N. Mikheev Institute of Metals Physics, Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia

²) National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

³) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Single crystals and polycrystals of an antiferromagnetic topological insulator $MnBi_2Te_4$ were grown. Their structure and temperature dependences of the resistivity were investigated. The presence of anisotropy in the electrical resistivity of the $MnBi_2Te_4$ single crystal was demonstrated.

Поиск и исследование новых топологических материалов является актуальным направлением физики конденсированного состояния. Такие материалы обладают уникальными электронными свойствами, обусловленными нетривиальной топологией их зонной структуры. Так, в топологических изоляторах в объеме имеется энергетическая щель, а поверхность ведет себя как топологически защищенный металл с линейным законом дисперсии. При этом носители тока в «металлическом» слое являются спин-поляризованными, что может быть использовано в спинтронике. Недавно было обнаружено, что соединение $MnBi_2Te_4$ обладает одновременно свойствами антиферромагнетика и топологического изолятора [1], поэтому изучение электронных транспортных свойств данного материала представляет большой интерес.

Монокристалл $MnBi_2Te_4$ выращен согласно методике, схожей с методом кристаллизации из раствора в расплаве. Поликристалл $MnBi_2Te_4$ синтезирован из стехиометрической смеси элементов. Исследованы их структура и температурные зависимости сопротивления. Рентгеноструктурный анализ образцов проведен на дифрактометре ДРОН-2.0 в $C\Gamma\kappa\alpha$ -излучении. Из полученных рентгенограмм видно, что монокристалл имеет поверхность, совпадающую с плоскостью

(001). Монокристалл легко колется вдоль этой плоскости. Исследование микроструктуры поверхности образцов и аттестация химического состава проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 200, оснащенного приставкой для рентгеноспектрального микроанализа EDAX. Температурные зависимости сопротивления измерены четырехконтактным способом в диапазоне температур от 2 до 300 К и в магнитных полях до 9 Т в плоскости (001) монокристалла MnBi_2Te_4 и перпендикулярно этой плоскости, используя установку PPMS 9.

Показано наличие анизотропии электросопротивления в монокристалле MnBi_2Te_4 (рис. 1). При этом электросопротивление, измеренное перпендикулярно плоскости (001) монокристалла MnBi_2Te_4 , изменяется от 5,9 до 13,1 мОм·см, что на порядок выше, чем ρ (0,7 - 1,8) мОм·см в плоскости (001). В то же время величина электросопротивления поликристалла MnBi_2Te_4 изменяется в пределах (3,4 – 4,4) мОм·см, что можно объяснить наличием вкладов как от $\rho_{\parallel}(001)$, так и от $\rho_{\perp}(001)$ вследствие хаотичной ориентации кристаллических зерен. Подтверждено наличие магнитного фазового перехода при температуре ~ 25 К, соответствующего пику на температурных зависимостях сопротивления моно- и поликристалла MnBi_2Te_4 без магнитного поля и в поле 1 Т. С увеличением внешнего магнитного поля пик размывается.

По-видимому, анизотропия должна наблюдаться и в других электронных характеристиках MnBi_2Te_4 , в частности, гальваномагнитных и оптических свойствах. Такие исследования проводятся.

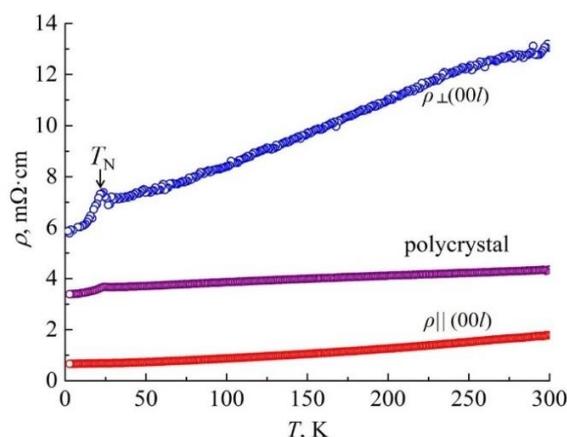


Рис. 1 - Температурные зависимости электросопротивления поликристалла и монокристалла MnBi_2Te_4 , измеренного в плоскости (001) и перпендикулярно (001)

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Спин», № АААА-А18-118020290104-2) при частичной поддержке Правительства РФ (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006) и стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам (СП-2705.2022.1).

1. Otrokov et al., Prediction and observation of an antiferromagnetic topological insulator, Nature 576, 416–422 (2019)

ОСТАТОЧНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ВАКАНСИЯМИ

Бородин К.И.^{1,2}, Волков В.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов им. Н. А. Михеева УрО РАН, 620108, Россия, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18
E-mail: bkimm@mail.ru

RESIDUAL ELECTRICAL RESISTANCE OF METALS AND ALLOYS WITH VACANCIES

Borodin K.I.^{1,2}, Volkov V.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, 19 Mira Str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation.

²⁾ M. N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620108, Ekaterinburg, 18 S. Kovalevskoi Str., Russian Federation.

The influence of vacancies on the residual electrical resistance of the alloys and pure metals has been studied in the coherent potential approximation. It is concluded that the appearance of vacancies leads to an increase in residual electrical resistance of the alloys.

После длительного отжига при достаточно высоких температурах в металлах и сплавах устанавливается довольно высокая концентрация равновесных вакансий, которая может достигать величин порядка 0,1 – 1 атомного процента при температурах, близких к точке плавления [1]. Быстрая закалка металлов и сплавов позволяет сохранить «термические» вакансии и при достаточно низких температурах. Как и другие несовершенства кристаллической решетки неравновесные вакансии будут вносить свой вклад в остаточное сопротивление металлов и сплавов.

Влияние вакансий на остаточное электросопротивление сплавов изучалось ранее методом кинетического уравнения [1], который применим лишь при условии малости потенциала рассеяния. В случае рассеяния на вакансиях это условие заведомо не выполняется [2]. Поэтому результаты [1] не могут быть применены к реальным сплавам. Наряду с этим в теории сплавов широко используется приближение когерентного потенциала (ПКП) [3], в котором нет ограничений на потенциал рассеяния.

Нами в ПКП изучено влияние вакансий на остаточное электросопротивление упорядочивающихся и неупорядоченных сплавов, а также чистых металлов. Для упорядочивающихся и неупорядоченных сплавов это сделано в пределах слабого рассеяния в системе А-В атомов с учетом малости концентрации вакансий, но при этом рассеяние на вакансиях учитывалось точно. Для неупорядоченных сплавов выполнены численные расчеты без использования разложений по малому параметру. Результаты расчетов представлены в графическом виде. В

отличие от ранее выполненных работ [1], допускавших существование отрицательного вакансионного вклада в сопротивление, делается вывод, что появление вакансий приводит к увеличению остаточного электросопротивления при любых концентрациях компонент сплава и любых значениях степени дальнего порядка. Для чистых металлов получено точное аналитическое решение задачи. Рассчитанные значения вакансионного вклада в сопротивление для Cu, Ag, Au, Pb, Al находятся в согласии с экспериментальными данными.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Сплавы») Г.р.№ АААА-А19-119070890020-3

1. Смирнов А.А., Теория электросопротивления сплавов, Изд-во АН УССР (1960).
2. Faulkner J. S., Electronic states of substoichiometric compounds and application to palladium hydride, Physical Review.B., 13, 6, (1976).
3. Волков В.А., Зеленин Л.П., Лобашева Н.А., Машаров С.И., Рыбалко А.Ф., Соболев А.Б., Тимофеев Н.И., Электросопротивление тройных упорядочивающихся сплавов замещения, Физика металлов и металловедение, 68, 3, (1989).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА АКТИВАЦИИ РЕАКТИВНОГО ГАЗА НА СТЕПЕНЬ ДИССОЦИАЦИИ И ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ ДУГОВОГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ И СЕКЦИОННЫМ АНОДОМ

Брюханова Ю.А.², Меньшаков А.И.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург
E-mail: yuliya.bryuhanova.96@mail.ru

EFFECT OF THE REACTIVE GAS ACTIVATION METHOD ON THE DEGREE OF DISSOCIATION AND PLASMA PARAMETERS OF AN ARC DISCHARGE WITH A HOLLOW CATHODE AND ANODE

Bryukhanova Y.A.², Menshakov A.I.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Electrophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

The paper studies the influence of arc discharge parameters on the activation conditions of N_2 . The plasma spectrum and volt-ampere characteristics of a cylindrical probe are investigated. The degree of dissociation of N_2 and the density of the ion current near the substrate are determined.

Многие годы ведутся исследования газового разряда в азотистой среде. Столь высокий интерес к ней связан с процессами ассоциативной ионизации, которые поддерживают высокий уровень концентрации заряженных частиц за счет реакций с участием электронно-возбужденных молекул азота. Однако в ряде работ было показано, что механизм ассоциативной ионизации в азоте нельзя однозначно связать только с N^{2+} , важно также присутствие атомов азота N [1,2,3]. Поэтому исследования механизма диссоциации N_2 представляются важными для понимания ключевых процессов в азотной плазме. Для модификации поверхности материала необходимо учесть все факторы, влияющие на формирование качественных покрытий, получаемых методами плазменного осаждения материала.

По сей день ведется исследование условий формирования наноструктурированных покрытий сложной конфигурации для использования их, как износостойких и жаропрочных покрытий в качестве протектора в условиях истирания изделия или в агрессивных средах и повышенных температур (до $900^\circ C$). К таким покрытиям относятся покрытия на основе нитрида титана (TiN) и композитных материалов, включающие в свой состав TiN [4, 5].

Активация парогазовой среды в данной работе осуществляется в плазме дугового разряда с самонакаливаемым полым катодом и секционным анодом. Данный метод является эффективным для формирования атомарных частиц, что, в

свою очередь, может существенно повлиять на свойства получаемых наноструктурированных покрытий. В связи с этим, целью данной работы является определение оптимальных условий получения плёнок на основе TiN в парогазовой среде в условиях диссоциации N₂ в сильноточном дуговом разряде.

Состав плазмы анализировали на спектрометре OceanOptics HR2000 в диапазоне длин волн от 200 до 1100 нм с разрешением 0,84 нм. По данным эмиссионным спектрам качественно определена степень диссоциации реактивного газа. Исследованы вольтамперные характеристики зонда Ленгмюра и рассчитан потенциал плазмы и электронная температура вблизи анода и катода. А также с помощью плоского зонда определили плотность ионного тока вблизи поверхности подложки.

Работа поддержана проектом РНФ № 20-79-10059

1. M. A. Worsley, S. F. Bent, N. C. M. Fuller et al, J. Appl. Phys., 101, 013305 (2007)
2. Z. Wronski, Vacuum, 78, 641–647 (2005)
3. N. Itagaki, S. Iwata, K. Muta et al, Thin Solid Films, 435, 259–263 (2003)
4. Gerth, U. Wiklund, Wear, 264, 885–892 (2008)
5. A.M.A. El-Rahman, R. Wei, Surface & Coatings Technology, 241, 74–79 (2014)

ЭФФЕКТ ОБМЕННОГО СМЕЩЕНИЯ В ПЛЁНКАХ ТИПА FeMn/FeNi: ЭКСПЕРИМЕНТ И МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Быкова А. А.¹, Горьковенко А.Н.¹, Кулеш Н.А.¹, Васьковский В.О.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого президента России
Б.Н.Ельцина, Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия
E-mail: nastyabykova@gmail.com

EXCHANGE BIAS EFFECT IN FeMn/FeNi FILMS: EXPERIMENT AND MICROMAGNETIC SIMULATION

Bykova A.A.¹, Gorkovenko A.N.¹, Kulesh N.A.¹, Vas'kovski V.O.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia

Temperature dependencies of exchange bias field in FeNi/FeMn(L)/FeNi films with different thicknesses (L) of antiferromagnetic FeMn layers are investigated in two variants fields, namely «positive» field, and «negative» field. Our results show exchange bias effect depends on the cooling field. Exper.

Магнитное (обменное) смещение – это эффект сдвига петли гистерезиса ферромагнитной составляющей в гетерогенной ферро-антиферромагнитной структуре на величину H_e (обменное поле). В слоистых плёнках величина и температурное поведение H_e во многом определяются состоянием микроструктуры антиферромагнитного слоя, на которую в свою очередь влияет толщина слоя L. Определённую информацию о связи магнитного смещения с параметрами микроструктуры можно получить, исследуя закономерности формирования H_e при варьировании магнитной предыстории плёнок. В данной работе эта задача решается на плёнках типа FeMn/FeNi, содержащих антиферромагнитный слой FeMn варьируемой толщины (2-20 нм) и ферромагнитный слой FeNi фиксированной толщины (40 нм).

Образцы для исследования получены методом магнетронного распыления сплавных мишеней в технологическом магнитном поле на стеклянных подложках Corning, покрытых буферными слоями Ta (5 нм) и FeNi(5 нм). Измерения петель гистерезиса, по которым определялась величина H_e , выполнялись на измерительном комплексе PPMS DynaCool при увеличении температуры от 5 до 300 К. Заданная магнитная предыстория формировалась путём охлаждения образцов от комнатной температуры до $T=5$ К в магнитном поле фиксированной напряжённости (5 кЭ) и различной ориентации. Поле считалось «положительным», если было сонаправлено с технологическим магнитным полем,

присутствовавшим при получении плёнок, и отрицательным, если было противонаправлено.

На рис. 1 представлены температурные зависимости поля обменного смещения для нескольких значений L , отражающие наиболее характерные варианты кривых $H_e(T)$. Эти данные показывают: для образцов, охлаждённых в «положительном» поле (рис.1, слева), зависимости $H_e(T)$ имеют монотонно возрастающий вид, и по мере уменьшения L происходит уменьшение абсолютной величины поля смещения и температуры блокировки. Для образцов, охлаждённых в «отрицательном» поле (рис.1, справа), вид кривых $H_e(T)$ варьируется в зависимости от L . При относительно больших L знак обменного поля сохраняется, но его температурное изменение становится немонотонным. С уменьшением L происходит постепенный переход к монотонной зависимости, но при этом изменяется знак H_e .

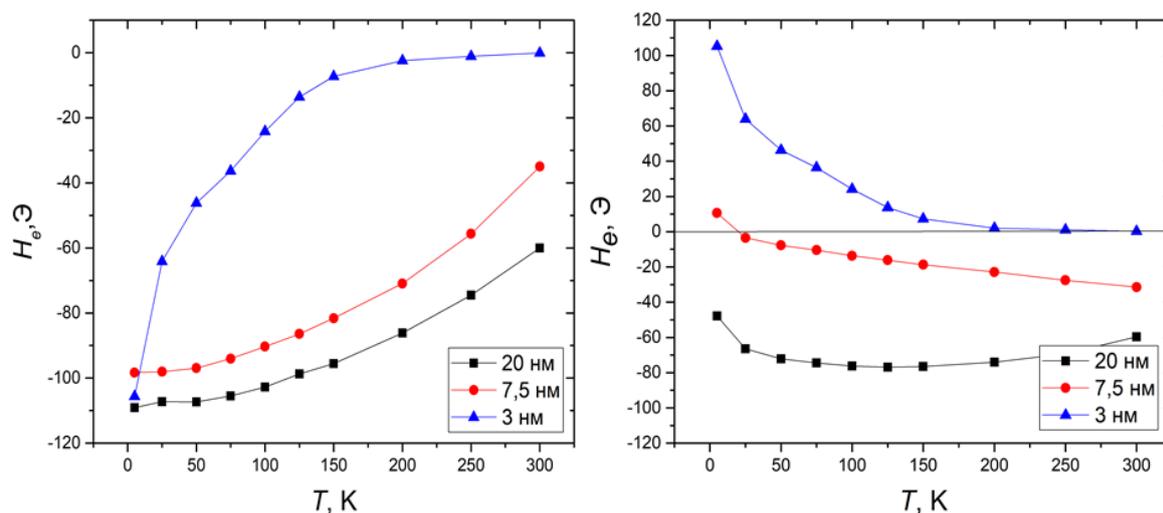


Рис.1. Экспериментальные температурные зависимости поля обменного смещения $H_e(T)$, полученные после охлаждения образцов в «положительном» (справа) и «отрицательном» (слева) полях для $L=3; 7,5; 20$ нм.

Полученные результаты качественно интерпретированы в концепции поликристаллического антиферромагнетика с широкой дисперсией в размерах кристаллитов [1]. Предполагается, что размер кристаллических зёрен влияет на температурный интервал, в котором их вектор антиферромагнетизма является закреплённым и даёт вклад в обменное смещение. При достаточно малом размере кристаллитов такое состояние локализуется только ниже комнатной температуры, что позволяет за счёт варьирования магнитной предыстории образцов изменять величину и характер температурной зависимости H_e . Количественное описание зависимостей $H_e(T)$ выполнено путём микромагнитного компьютерного моделирования в программном пакете MuMax3 с использованием подходов, описанных в [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0051.

1. Dobrynin A. N. et al. On the origin of positive exchange bias and coercivity enhancement in proximity to the blocking temperature //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2021. – Т. 520. – С. 166707.
2. Kulesh N. A. et al. Micromagnetic Analysis of Temperature Dependences of Hysteresis Properties of Polycrystalline Films with Exchange Bias //Physics of Metals and Metallography. – 2021. – Т. 122. – №. 9. – С. 855-860.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 -Ag ФОТОХИМИЧЕСКОЙ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Чжоу В.Р.¹, Бакина О.В.¹, Сулиз К.В.¹

¹) Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
E-mail: Valeriya_chzhou99@mail.ru

ELECTRICAL EXPLOSIVE TiO_2 -Ag COMPOSITE NANOPARTICLES WITH PHOTOCHEMICAL AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY

Chzhou V.R.¹, Bakina O.V.¹, Suliz K.V.¹

¹) Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

The composite TiO_2 -Ag nanoparticles were produced by electrical explosion of wires. TiO_2 -Ag nanoparticles are a TiO_2 (rutile-anatase) core decorated with Ag clusters. It was shown that nanoparticles have enhanced photochemical and antibacterial activity under visible light irradiation.

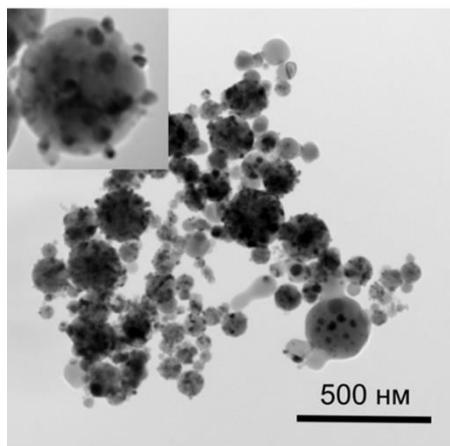


Рис. 1. ПЭМ-изображения наночастиц TiO_2 -Ag

В настоящее время, разработка высокоэффективных фотокатализаторов разложения органических веществ под действием видимого света ведется в ускоренных темпах. Однако, широкое применение технологии ограничено низкой эффективностью преобразования световой энергии. Оксид титана (IV) в данном направлении находит широкое применение благодаря химической стабильности, высокой активности, и низкой токсичности [1]. Однако, имея запрещенную зону более 3 эВ [2], TiO_2 активен только под действием УФ-света (100–400 нм). Для расширения спектрального диапазона используют материалы с гетеропереходом, образованным между полупроводником и благородным металлом (гетеропереход

Шоттки). В настоящей работе при помощи совместного электрического взрыва титанового и серебряного проводников (ЭВП) в кислородосодержащей атмосфере были получены наночастицы (НЧ) $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ со средним размером 96 ± 2 нм. НЧ представляли собой сферическое ядро TiO_2 , декорированное фрагментами Ag . Поскольку НЧ формировались в среде из смеси инертного газа и кислорода, на границе раздела фаз исключалось присутствие примесей, как при химических методах синтеза. На дифрактограмме образца присутствовали только фазы металлического серебра и TiO_2 в фазе рутила и анатаза. Средний размер кристаллитов серебра, рассчитанный методом Уильямсона–Холла составил 25 нм, удельная поверхность НЧ составила $8,2 \text{ м}^2/\text{г}$. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия НЧ позволила установить Оже-параметр α для серебра (725,8–726,1 эВ), характерный для серебра в металлическом состоянии. Значение энергии связи пика $\text{Ti}_{2p_{3/2}}$ составило $E_{\text{св}} = 459,2$ эВ, что указывало на то, что титан на поверхности находился в состоянии Ti^{4+} . Результаты исследования реакции деколоризации модельного красителя метиленового голубого показали значительное увеличение фотокаталитической активности НЧ $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ под действием видимого света по сравнению с НЧ TiO_2 (с 8 % до 35 % соответственно). Кроме того, НЧ $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ обладали антибактериальной активностью в отношении *S.aureus*. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения полученных наночастиц для деградации красителей и стерилизации под действием видимого света.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-13-00498

1. Li X., Raza S., Liu C. Directly electrospinning synthesized Z-scheme heterojunction $\text{TiO}_2@ \text{Ag}@ \text{Cu}_2\text{O}$ nanofibers with enhanced photocatalytic degradation activity under solar light irradiation //Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Т. 9. – №. 5. – С. 106133.
2. Khan S. U. M., Al-Shahry M., Ingler Jr W. B. Efficient photochemical water splitting by a chemically modified n-TiO₂ //science. – 2002. – Т. 297. – №. 5590. – С. 2243-2245.

РОСТ НАПРЯЖЕННЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК InGaAsN НА ПОДЛОЖКЕ GaAs И Si МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ

Девицкий О.В.^{1,2}, Никулин Д.А.^{1,2,3}

¹⁾ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону, Россия

²⁾ Северо-кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

³⁾ Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия
E-mail: v2517@rambler.ru

PLD GROWTH OF STRAINED THIN FILMS InGaAsN ON GaAs AND Si SUBSTRATE

Devitsky O.V.^{1,2}, Nikulin D.A.^{1,2,3}

¹⁾ Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

²⁾ North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

³⁾ South Russian State Polytechnic University. M.I. Platova, Novochoerkassk, Russia

Методом импульсного лазерного напыления получены тонкие пленки InGaAsN на подложках GaAs и Si. Установлено, что распределение микрокапель на поверхности пленки упорядочено в виде линий. Концентрация азота в пленке InGaAsN на GaAs составляла 1,9 %, для пленок InGaAsN на Si - 1,8 %.

Наиболее перспективным методом для получения A^3B^5N является метод импульсного лазерного напыления (ИЛН) [1]. Источником азота при ИЛН является газовая смесь сверхчистого аргона и молекулярного азота (активный фоновый газ). Азот активируется за счет образования плазменного факела при воздействии лазерных импульсов на поверхность мишени. В работе [2], наиболее близкой по содержанию, эпитаксиальные слои GaN_xAs_{1-x} на подложках GaAs были получены методом ИЛН из мишени GaAs в атмосфере аммиака. Рентгеновская дифракция высокого разрешения показала, что существует пороговое давление аммиака, выше которого концентрация азота в пленке GaN_xAs_{1-x} линейно возрастает с увеличением давления аммиака. Однако исследований по получению пленок InGaAsN методом ИЛН на подложках GaAs и Si в литературе нет. В настоящей работе исследована возможность получения InGaAsN на подложках Si и GaAs и влияние давления аргонно-азотной смеси при импульсном лазерном напылении на структуру тонких пленок.

Импульсное лазерное напыление тонких пленок InGaAsN на подложки GaAs и Si осуществлялось из мишени $In_{0,02}Ga_{0,98}As$, сформированной методом холодного прессования лазерным излучением с длиной волны 532 нм. Частота следования импульсов 15 Гц, длительность лазерного импульса 15 нс, плотность

энергии в импульсе 2,3 Дж/см². Температура подложки - 400 °С. Объемная доля азота в аргонно-азотной смеси составляла 80 %. Давление аргонно-азотной смеси составляло 2, 5 и 10 Па.

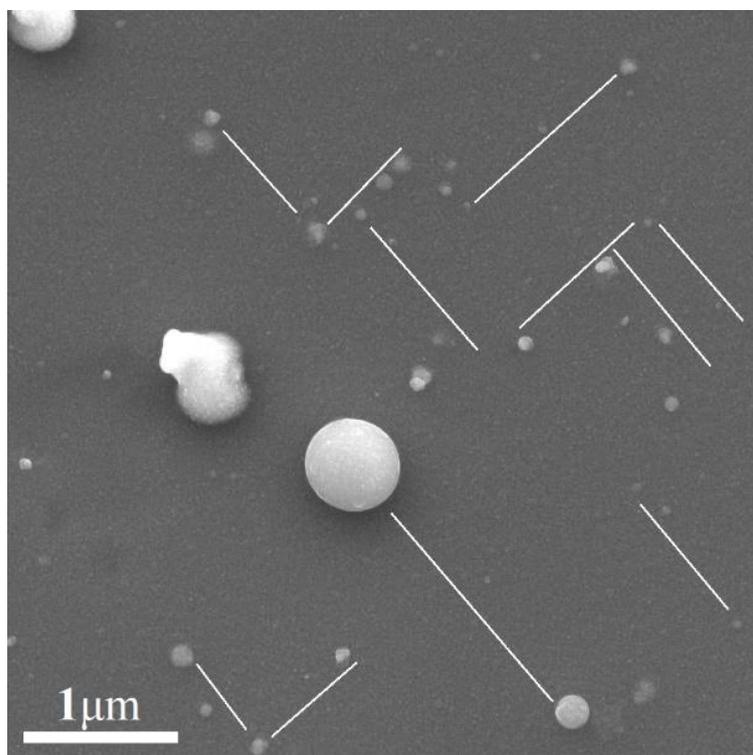


Рис. 1. СЭМ-изображение поверхности тонкой пленки InGaAsN на подложке GaAs

На рисунке представлены СЭМ-изображения морфологии поверхности тонкой пленки InGaAsN на подложках GaAs (001), полученные при давлении смеси аргона и азота 10 Па. Видно, что поверхность пленки текстурирована микрокаплями, присутствие которых характерно для ИЛН. По результатам рентгеноэнергодисперсионного элементного анализа пленки установлено, что микрокапли образованы металлическим индием, а концентрация азота в пленке InGaAsN составила 1,9 %. Средний размер микрокапель на поверхности пленки составлял около 30 нм, а их плотность не превышала 0,076 мкм⁻². Установлено, что распределение микрокапель индия упорядочено в виде линий, которые показаны на рисунке белым цветом. Скорее всего, это связано с наличием дислокаций несоответствия. Для тонких пленок InGaAsN, выращенных на Si, наблюдалась высокая плотность микрокапель на поверхности. При увеличении давления аргонно-азотной газовой смеси от 2 до 10 Па плотность микрокапель индия уменьшалась. Для образца, полученного при 2 Па, наблюдалась самая высокая плотность микрокапель 0,26 мкм⁻². Наименьшая плотность микрокапель на поверхности (0,17 мкм⁻²) отмечена для тонкопленочного образца InGaAsN, полученного при 10 Па. Концентрация азота в пленках InGaAsN на Si, полученных при давлении 2 и 5 Па, составляла 1,1 %, а при давлении 10 Па была отмечена наибольшая концентрация азота 1,8 %.

Работа выполнена в рамках государственного заказа Федеральному исследовательскому центру Южный научный центр Российской академии наук № 122020100326-7. Исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования Северо-Кавказского федерального университета при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта РФ 2296.61321X0029 (договор № 075-15-2021-687). Авторы выражают благодарность СКФУ за помощь в рамках конкурса на поддержку проектов научных коллективов и отдельных ученых Северо-Кавказского федерального университета.

1. Lunin L S, Lunina M L, Devitsky O. V. and Sysoev I A 2017 Pulsed laser deposition of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ and GaP thin films onto Si substrates for photoelectric converters Semicond. 53 387–391
2. Hung W K, Chern M Y, Fan J C, Lin T Y and Chen Y F 1999 Pulsed laser deposition of epitaxial $\text{Ga}_x\text{N}_{1-x}\text{As}$ on GaAs Appl. Phys. Lett. 74 3951

СИНТЕЗ И АТТЕСТАЦИЯ НАНОРАЗМЕРНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ g-C₃N₄/TiO₂

Дорошева И.Б.^{1,2}, Ремпель А.А.^{1,2}

¹⁾ Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: i.b.dorosheva@urfu.ru

SYNTHESIS AND CERTIFICATION OF g-C₃N₄/TiO₂ NANOHETEROSTRUCTURE

Dorosheva I.B.^{1,2}, Rempel A.A.^{1,2}

¹⁾ Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The g-C₃N₄/TiO₂ nanoheterostructures were synthesized by melamine polymerization at 550 °C for 5 hours. The obtained samples were characterized by XRD, SEM, BET and DRS techniques.

Для эффективного использования диоксида титана (TiO₂) в качестве катализатора и сорбента его подвергают различного рода модификациям: высокотемпературному отжигу в различных атмосферах [1], добавлению в него примесных атомов металлов и неметаллов [2]. Альтернативным и эффективным методом модификации может служить создание гетероструктуры на основе TiO₂. В связи с этим, целью данной работы явилось создание гетероструктуры g-C₃N₄/TiO₂ путем полимеризации меламина (C₃H₆N₆) в присутствии TiO₂.

Синтез наночастиц TiO₂ осуществлялся золь-гель методом с использованием тетрабутоксититана Ti(C₄H₉O)₄ (ОСЧ 7-5), этилового спирта C₂H₅OH (95%) и дистиллированной воды H₂O_{дист} в объемной пропорции 1:1:4. Получение g-C₃N₄ происходило путем полимеризации C₃H₆N₆ (Aldrich, 99%) на воздухе при 550 °C в течение 5 часов. Синтез гетероструктуры g-C₃N₄/TiO₂ происходил при смешивании C₃H₆N₆, TiO₂ и H₂O_{дист} в пропорции 4:1:40 по массе в стакане при воздействии ультразвуком с последующей полимеризацией по вышеуказанной технологии.

Рентгенофазовый анализ (РФА) выполнен в CuKα_{1,2} излучении на автодифрактометрах D8 ADVANCE и Shimadzu XRD-7000. Рентгенограммы снимались в режиме пошагового сканирования с Δ(2θ) = 0.02° в интервале угла рассеяния 2θ от 15° до 80° с высокой статистикой в каждой точке. Удельная площадь поверхности синтезированных образцов определена методом БЭТ с использованием анализатора Gemini VII 2390 с предварительной дегазацией при 150 °C. Исследование морфологии наноструктур и химического состава энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭРС) выполнено на сканирующем электронном

микроскопе (СЭМ) SIGMA VP (CarlZeiss). Ширина запрещенной зоны (E_g) рассчитывалась с использованием функции Кубелки-Мунка по спектрам диффузного отражения, зарегистрированных на спектрофотометре FS-5 (Edinburgh Instruments).

Полученные данные РФА показывают образование аморфного TiO_2 сразу после синтеза. Рентгенограмма образца, полученного при совместном отжиге $C_3H_6N_6$ с TiO_2 , демонстрирует однофазовый состав $TiN_{0.24}O_{1.88}$ (PDF4 04-020-5857). Анализ показал образование наночастиц TiO_2 и наночастиц $TiN_{0.24}O_{1.88}$ с размером ОКР около 20 и 18 нм, соответственно. Дальнейшее исследование морфологии и химического состава ЭРС на СЭМ показало образование наночастиц TiO_2 со средним размером 150 нм, агломератов $g-C_3N_4$ размером около 1 мкм и агломератов $g-C_3N_4/TiO_2$ состоящих из частиц размером 20-100 нм. Измерения удельной площади поверхности образцов демонстрируют следующие значения: $S(БЭТ)TiO_2 = 300$, $S(БЭТ)g-C_3N_4 = 10$ и $S(БЭТ)g-C_3N_4/TiO_2 = 67$ м²/г. Ширина запрещенной зоны равна $E_g(TiO_2) = 3.32$, $E_g(g-C_3N_4) = 2.65$ и $E_g(g-C_3N_4/TiO_2) = 2.21 \div 3.11$ эВ

Таким образом, гетероструктура графитоподобного нитрида углерода с диоксидом титана ($g-C_3N_4/TiO_2$) поглощает свет видимого диапазона (380-500 нм) благодаря более узкой ширине запрещенной зоны $g-C_3N_4$, а предложенные в данной работе условия синтеза позволяют получать наноразмерную гетероструктуру $g-C_3N_4/TiO_2$ с высокой удельной площадью поверхности.

1. Dorosheva I.B., Valeeva A.A., Rempel A.A., Trestsova M.A., Utepova I.A., Chupakhin O.N. Inorganic Materials (57,5,2021, p. 503-510)
2. Rempel A.A., Kuznetsova Y.V., Dorosheva I.B., Valeeva A.A., Weinstein I.A., Kozlova E.A., Saraev A.A., Selishchev D.S. Topics in Catalysis (63, 1-2, 2020, p. 130-138)

СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОПРОВОДОВ 3D-ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ МАТРИЦЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Дрягина А.Е.¹, Горьковенко А.Н.¹, Кулеш Н.А.¹, Васьковский В.О.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: dryagina.nastya@list.ru

SYNTHESIS AND MAGNETIC PROPERTIES OF 3D TRANSITION METALS AND ALLOYS NANOWIRES IN THIN-FILM ALUMINUM OXIDE FILM

Driagina A.E.¹, Gorkovenko A.N.¹, Kulesh N.A.¹, Vaskovski V.O.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Synthesis method of magnetic Ni, Co, Fe-Ni and Fe-Co nanowires in thin Al film. Analysis properties confirmed strong shape anisotropy and absent of significant oxidation of magnetic material. The proposed synthesis method allows for adding electrical contacts to both surfaces of the nanowire array.

Магнитные нанопровода, синтезированные с использованием шаблона анодированного алюминия, представляют существенный интерес благодаря возможности настройки длины и диаметра, и получения структур с модуляцией по составу или диаметру. Возможные области применения: запись информации, оптические системы, магнитная сенсорика, и др. [1] Ключевой проблемой для широкого использования подобных систем является отсутствие эффективных методов синтеза в рамках стандартного техпроцесса микроэлектронной промышленности. Настоящая работа является начальным этапом реализации подобной методики и направлена на получение и анализ магнитных свойств металлических нанопроводов сплавов Ni, Co, Fe в тонкопленочном слое анодированного алюминия. Преимуществом такого подхода является потенциальная возможность использования подложек из практически любого материала и создания электрических контактов, подведенных к обеим торцевым поверхностям массива.

В качестве основы для синтеза использовались стеклянные подложки, покрытые слоем высокочистого алюминия толщиной 1.5 мкм методом магнетронного распыления. Двухэтапное анодирование проводилось в водном растворе щавелевой кислоты (0,3 М) при комнатной температуре и напряжении 40 В. [2] В конце второго этапа анодирования была использована процедура истончения барьерного слоя путем постепенного уменьшения электрического напряжения. На

последнем этапе синтеза проводилось электролитическое осаждение чистых металлов и сплавов Ni, Co, Fe с использованием электролитов на водной основе. В качестве источника ионов выступали хлориды и сульфаты чистых металлов. Интегральный состав осажденного сплава определялся непосредственно на каждом образце методом рентгенофлуоресцентного анализа. Магнитные свойства полученных образцов были исследованы с помощью вибрационного магнетометра.

Анализ морфологии полученных образцов методом сканирующей электронной микроскопии подтвердил заданное значение диаметра нанопроводов 50 нм, средняя длина - 300 нм. Измерения петель гистерезиса проводились в двух направлениях: вдоль и перпендикулярно оси проводов. Полученные оценки величины магнитного момента для всех выбранных составов приблизительно соответствовали ожидаемым значениям, что является показателем малого влияния окислительных процессов. В качестве примера на рисунке 1 показаны петли гистерезиса, полученные на образце магнитомягкого сплава $\text{Fe}_{23}\text{Ni}_{77}$. Форма петель гистерезиса и высокое значение коэрцитивной силы при измерении вдоль оси нанопроводов указывают на наличие сильной одноосной магнитной анизотропии, что подтверждает преобладающий вклад анизотропии формы. В результате были получены массивы нанопроводов Ni, Co, Fe-Ni и Fe-Co, выполнен анализ их гистерезисных свойств. Данная методика может быть использована для синтеза массивов магнитных нанопроводов на подложках практически любого материала, а ее технологические особенности могут позволить обеспечить подведение электрических контактов с обеих торцевых поверхностей нанопроводов.

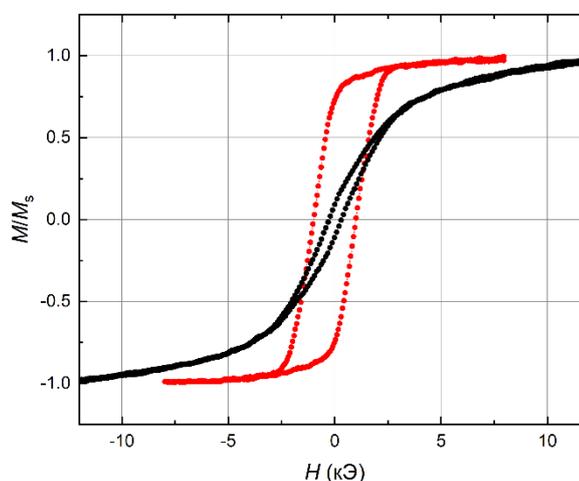


Рис. 1. Петли гистерезиса, полученные на образце массива нанопроводов $\text{Fe}_{23}\text{Ni}_{77}$, выращенном в тонкопленочном слое анодированного алюминия на стеклянной подложке, при измерении вдоль (красные точки) и перпендикулярно (черные точки) оси проводов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0051

1. Lee W. and Park S.J. Porous Anodic Aluminum Oxide: Anodization and Templated Synthetic of Functional Nanostructures, Chem. Rev.- V. 114,- pp. 7487–7556 (2014)
2. Dryagina A., Kulesh N., Vas'kovskiy V.O. and Patrakov E. Synthesis and Magnetic Properties of Co Nanowires/PVDF Composites // IEEE Magnetics Letters. -V. 13.- pp. 1-4 (2022)

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОБСТВЕННЫХ И ПРИМЕСНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРОЗРАЧНЫХ НАНОКЕРАМИКАХ $MgAl_2O_4:Cr^{3+}$

Дутов В.А.¹, Киряков А.Н.¹, Дьячкова Т.В.², Тютюнник А.П.², Зацепин А.Ф.¹

¹) Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина

²) Институт химии твердого тела Уральского Отделения Российской Академии
Наук

E-mail: silver.beats@inbox.ru

OPTICAL PROPERTIES OF INTRINSIC AND IMPURITY DEFECTS IN TRANSPARENT NANOCERAMICS $MgAl_2O_4:Cr^{3+}$

Dutov V.A.¹, Kiryakov A.N.¹, Dyachkova T.V.², Tyutyunnik A.P.², Zatsepin A.F.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) 2 Institute of Solid State Chemistry of Ural Branch of Academy Science, 91
Pervomayskaya str., Yekaterinburg, Russia

Optical nanoceramics of $MgAl_{2-x}Cr_xO_4$ ($x=0.005, 0.00005$) were obtained by thermobaric synthesis. An analysis of the structural and optical properties of nanoceramics showed that impurity Cr^{3+} ions are localized in distorted octahedra near structural defects.

Алюмомагниева шпинель является перспективной матрицей для легирования различными типами люминесцентных ионов. Преимущество шпинели перед простыми оксидами типа MgO или Al_2O_3 заключается в формировании сложной катионной подрешетки, состоящей из $2+$ и $3+$ катионов, локализованных в тетра- и октаэдрических кислородных структурах. В результате в шпинелях могут формироваться примесные поливалентные дефекты одного и того же иона в разных структурных позициях [1].

В оксидных диэлектриках примесные ионы переходных металлов имеют широкий спектр валентных состояний, зависящий от симметрии решетки, катионной подрешетки и условий синтеза. Локализация примесного иона одного валентного состояния в разных структурных окта- и тетраэдрических позициях приводит к модификации его энергетической структуры в результате разного характера расщепления энергетических уровней в кристаллическом поле. Например, ион Mn^{2+} демонстрирует уменьшение энергии излучательного перехода при изменении координации с 4 на 6 [2]. Так, анализ энергетических уровней примесных $3d$ ионов позволяет выявить нехарактерные (дефектные) состояния и получить информацию о взаимодействии таких дефектных ионов с матрицей.

Цель настоящей работы заключается в изучении структурно-оптических свойств нанокерамик $MgAl_2O_4$ легированных ионами хрома.

Синтез нанопорошка выполнен методом соосаждения из растворов. Концентрация примесного Cr^{3+} составляет 0.05 и 0.0005 мол.%. Нанокерамики получены методом термобарического синтеза при давлениях 2-9 ГПа, температуре

600 °С и времени выдержки 30 мин. Спектры оптического поглощения были сняты с помощью спектрометра Lambda 35.

По результатам РФА керамики характеризуются 100% MgAl_2O_4 фазы. Уточнение дифрактограмм по методу Ритвельда показало, что керамики сформированы из нанозерен, ОКР которых не превышает 30 нм. В керамиках присутствуют остаточные напряжения, величина которых коррелирует с ростом давления синтеза.

В керамиках с малой примесью изменение параметра решетки носит нелинейный характер с экстремумом при 6 ГПа. В случае с повышенной концентрацией хрома наблюдается увеличенное значение постоянной решетки, которая с ростом давления увеличивается из-за вхождения ионов хрома в дефектные позиции.

На рисунке 1 представлены спектры оптического поглощения чистых и легированных разным количеством примеси нанокерамик. Присутствуют собственные оптически активные F⁺центры, и ADs дефекты, характеризующиеся захваченным электроном или дыркой с максимумами поглощения при 4.75 и 3.45 эВ соответственно. Также, наблюдается поглощение ионов Cr^{3+} , обусловленное переходами ${}^4\text{A}_2\text{g} - {}^4\text{T}_2\text{g}$ и ${}^4\text{A}_2\text{g} - {}^4\text{T}_1\text{g}$.

Также были сняты спектры фотолюминесценции, свидетельствующие о присутствии ионов Cr^{3+} в нормальных и в дефектных позициях. Выполнен анализ кинетических зависимостей ионов Cr^{3+} . Обнаружено аномальное поведение ионов Cr^{3+} во время синтеза нанокерамик при 4ГПа.

RFBR (grants № 20-42-660012)", "Project (FEUZ-2020-0059)", "Grant No. AAAA-A19-119031890025-9"

1. Kiryakov A. N., Zatsepin A. F., Osipov V. V. Optical properties of polyvalent iron ions and anti-site defects in transparent MgAl_2O_4 ceramics //Journal of Luminescence. – 2021. – Т. 239. – С. 118390.
2. Свиридов Д. Т., Свиридова Р. К., Смирнов Ю. Ф. Оптические спектры ионов переходных металлов в кристаллах. – Наука, 1976.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА КОНВЕКТИВНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ВЕРТИКАЛЬНО ЗАВИХРЕННОЙ ЖИДКОСТИ

Бурмашева Н.В.^{1,2}, Дьячкова А.В.^{1,2}

- ¹⁾ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация.
²⁾ Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация.
 E-mail: zetsuen160@outlook.com

WIND EFFECT ON THE CONVECTIVE FLOW OF A VISCOUS INCOMPRESSIBLE VERTICALLY SWIRLING FLUID

Burmashева N.V.^{1,2}, Dyachkova A.V.^{1,2}

- ¹⁾ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation.
²⁾ Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation.

The new exact solution describing the convective flow of a viscous incompressible vertically swirling fluid in a horizontal layer is obtained. The flow is induced by an inhomogeneous distribution of a temperature, pressure and wind velocity. This solution can describe the occurrence of counterflows.

Традиционно используемой для описания движения вязких жидкостей в неоднородном тепловом поле моделью является система уравнений тепловой конвекции [1]. Нелинейность этой системы обуславливает сложность ее интегрирования и анализа ее точных (аналитических) нетривиальных решений. Один из подходов к интегрированию рассматриваемой системы основан на использовании классов точных решений, линейных по части переменных. Впервые данный класс был предложен Ц. Линем для задач магнитной гидродинамики [2]. При внешней простоте этот класс позволяет описывать нелинейные эффекты, наблюдаемые в вязких жидкостях. В настоящей работе рассматривается сдвиговое конвективное течение с полем скоростей вида $V_x = u(z) + a(z)y$, $V_y = v(z)$.

Помимо сложностей отыскания общего решения остается проблема выбора краевых условий, адекватно описывающих происходящий в жидкой среде процесс. Тип краевого условия существенно зависит от соприкасающихся на границе сред. Например, на контакте жидкости с твердой поверхностью традиционно используется условие прилипания [3]. На контакте жидкости с воздухом может задаваться скорость движения контактной поверхности. Это условие можно трактовать как ветровое воздействие на границе области течения жидкости. Свойства частного решения сильно зависят от выбора системы краевых условий.

Третья проблема касается способов анализа полученного точного решения. Иногда зависимость характеристик течения от координат введенной

(необязательно декартовой) системы оказывается сильно нелинейной, и не удастся провести анализ «в лоб». В этом случае приходится применять альтернативные подходы, например, как это сделано в [4].

В данной работе представлено точное решение, описывающее сдвиговое конвективное течение вязкой несжимаемой вертикально завихренной жидкости в протяженном горизонтальном слое. Рассматриваемое течение индуцировано неоднородным распределением температуры, давления и скорости ветра на верхней границе слоя. Показано, что полученное точное решение способно описывать течения с достаточно сложным профилем (см. рис. 1) с наличием точек застоя, где скорость принимает нулевое значение, и зон с обратным течением.

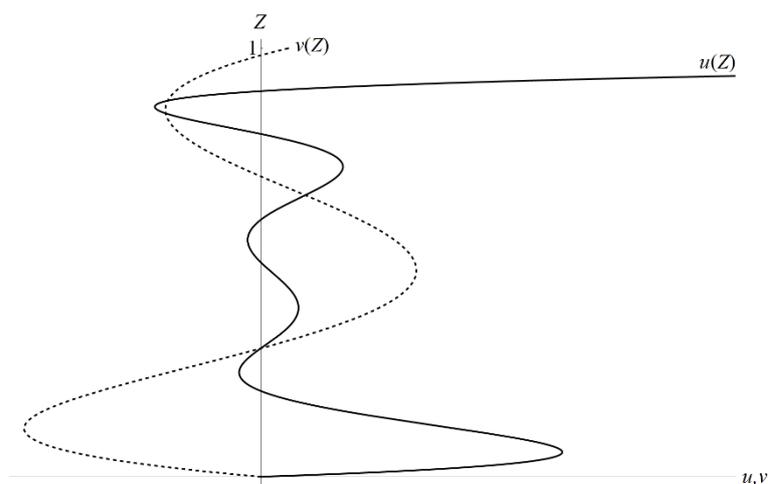


Рис. 1. Профили компонент u , v поля скорости

1. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. – М.: Наука, 1972. – 392 с.
2. Lin C.C. Note on a class of exact solutions in magneto-hydrodynamics // Arch. Rational Mech. Anal. – 1958. – Vol. 1. – Is. 1. – P. 391-395.
3. Goldstein S. Modern Developments in Fluid Mechanics - II. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1938.
4. Burmasheva N.V., Prosviryakov E.Yu. Studying the stratification of hydrodynamic fields for laminar flows of vertically swirling fluids // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. – 2020. – Iss. 4. – P. 62–78. – DOI: 10.17804/2410-9908.2020.4.062-078.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ПОВЕДЕНИЯ УСЛОЖНЕННОГО СПИНОВОГО ВЕНТИЛЯ, ОПИСЫВАЕМОГО АНИЗОТРОПНОЙ МОДЕЛЬЮ ГЕЙЗЕНБЕРГА

Егорина А.С.¹, Прудников П.В.¹

¹) Омский государственный университет имени Федора Михайловича Достоевского

E-mail: egorina.anastasia.sergeevna@gmail.com

STUDY OF THE NONEQUILIBRIUM BEHAVIOR OF COMPLICATED SPIN-VALVE STRUCTURE DESCRIBED OF ANISOTROPIC HEISENBERG MODEL

Egorina A.S.¹, Prudnikov P.V.¹

¹) Omsk State University named after Fyodor Mikhailovich Dostoevsky

The Monte Carlo study of spin-valve magnetic structures with non-equilibrium behavior has been performed with the application of an anisotropic Heisenberg model to the description critical properties of ultrathin ferromagnetic layers. Revealed aging effects in magnetization behavior.

Физика ультратонких магнитных пленок с толщинами от одного-двух атомных слоев до нескольких десятков слоев является направлением интенсивных научных исследований в течении последних лет [1]. Повышенный интерес ученых вызван целым рядом уникальных свойств пленок, отличающихся от свойств объемных материалов, что обуславливает важность этих новых объектов как для развития фундаментальных основ физики магнетизма и физики поверхности, так и для практического приложения [2]. Ультратонкие пленки из магнитных металлов и сплавов являются составляющими элементами магнитных спин-вентильных структур (рисунок 1), которые активно применяются в устройствах с эффектами гигантского магнитосопротивления (ГМС) [3].

Спиновые вентили, образованные на основе ультратонких магнитных пленок, находят широкое применение в микроэлектронике, вычислительной физике, клинической биомедицине [4]. Магнитные пленки обладают рядом уникальных особенностей, способствующих повышению плотности записи информации, точности и быстродействия запоминающих устройств и в ГМС-сенсорах для обнаружения и измерения биомолекул [5]. Проведено моделирование равновесного поведения обычного спинового вентиля, описываемого трехмерной анизотропной моделью Гейзенберга с анизотропией типа “легкая ось”. Получены гистерезисные эффекты в зависимости намагниченности от приложенного внешнего магнитного поля в обычных спин-вентильных структурах. Верхний “свободный” слой спин-вентильной структуры, помещенной в слабое магнитное поле, легко изменяет конфигурацию магнитных моментов вслед за полем, выстраивая ее

антипараллельно нижнему слою. Присутствие такого перехода указывает на наличие гигантского магнитосопротивления.

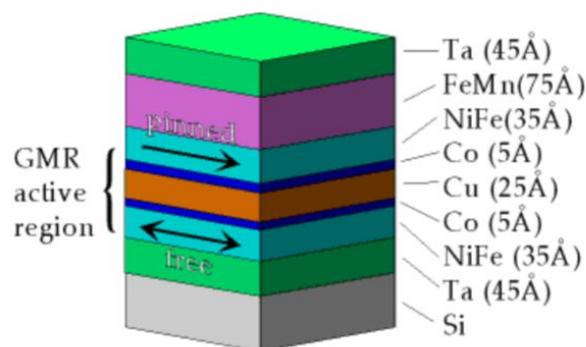


Рис. 1. Спин-вентильная структура на основе ультратонких магнитных пленок [3].

Проведено моделирование неравновесного поведения усложненного спинового вентиля, описываемого трехмерной анизотропной моделью Гейзенберга с анизотропией типа “легкая ось”. Рассмотрены физические свойства усложненной спиновой структуры, состоящей из трех ферромагнитных слоев, разделенных пленками немагнитных металлов, где один из ферромагнитных слоев спарен с антиферромагнетиком, закрепляющим намагниченность данного слоя. Изучены временные зависимости намагниченности в усложненном спиновом вентиле. Проведен анализ релаксации намагниченности из высокотемпературного и низкотемпературного начального состояния. Выявлены эффекты старения, которые были подтверждены коллапсом данных для динамических скейлинговых зависимостей

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002) и гранта МД-2229.2020.2 Президента РФ.

1. Vaz S.A.F., Bland J.A.C., Lauhoff G., Magnetism in ultrathin film structures, Rep. Prog. Phys. 2008. Vol. 71 056501.
2. Прудников, П.В. Прудников, М.В. Мамонова, М.А. Медведева, Теоретические методы описания критических свойств ультратонких пленок: монография. - Омск : Изд-во Ом.гос. ун-та, 2016.- 138 с.
3. Vaibich M.N., Broto J.M., Fert A., Van Dau F.N., Petro F., Etienne P., Creuzet G., Friederich A., Chazelas J., Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices, Phys. Rev. Lett. 1988. V. 61. P. 2472-2475.
4. Anthony T. C., Brug J. A., Shufeng Zhang, Magnetoresistance of symmetric spin valve structures. IEEE Transactions on Magnetics, 30(6), 3819–3821.

В.В. Прудников, П.В. Прудников, М.В. Мамонова, М.А. Медведева, Теоретические методы описания критических свойств ультратонких пленок // Монография. - Омск: Изд-во Ом.гос. ун-та, 2016.- 102 с.

5.

ПОЛОСКОВЫЙ МИКРОНАГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ 3 – ОМЕГА МЕТОДА

Федотов В.А.^{1,3,4}, Тамбасов И.А.^{3,4}, Горнаков М.О.^{3,4}, Неделин С.В.^{2,3},
Золотовский Н.А.^{2,3}

- ¹⁾ Институт космических исследований и высоких технологий, Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, 660037, Красноярск, Россия
- ²⁾ Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярск, Россия
- ³⁾ ООО «Научно-производственная компания «Спецтехнаука», 660043, Красноярск, Россия
- ⁴⁾ Лаборатория фотоники молекулярных систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, 660036, Красноярск, Россия
E-mail: vladimiri.fedotov@yandex.ru

STRIP MICROHEATER FOR INVESTIGATION OF THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT USING THE 3-OMEGA METHOD

Fedotov V.A.^{1,3,4}, Tambasov I.A.^{3,4}, Gornakov M.O.^{3,4}, Nedelin S.V.^{2,3},
Zolotovskiy N.A.^{2,3}

- ¹⁾ Scientific and Training Center of Space Research and High Technologies Institute, Reshetnev Siberian University Science and Technology, 660037 Krasnoyarsk, Russia
- ²⁾ School of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University, 660041 Krasnoyarsk, Russia
- ³⁾ LLC Research and Production Company “Spectehnauka”, 660043, Krasnoyarsk, Russia
- ⁴⁾ Laboratory of Photonics of Molecular Systems, L.V. Kirensky Institute of Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 660036 Krasnoyarsk, Russia

This paper discusses the theoretical information and the method of forming strip microheaters using electron lithography in order to study the thermal conductivity coefficient using the 3-omega method.

Большой практический интерес представляют тепловые свойства материалов. Под ними подразумевают совокупность характеристик, отражающих отклик материала на изменение его температуры. Одним из важнейших тепловых свойств материала является его теплопроводность.

Существует множество методов [1] измерения коэффициента теплопроводности χ , различающихся как по мере применимости к исследуемому объекту и

температурному диапазону, так и по способу получения экспериментальных результатов. Наиболее универсальным среди них является $3 - \omega$ метод.

$3 - \omega$ метод [2] основан на том, что при пропускании переменного тока через металлический полосковый нагреватель на нем возникают переменные колебания температуры, приводящие к возникновению третьей гармоники напряжения. Исследование коэффициента теплопроводности по $3 - \omega$ методу в объемных образцах и низкоразмерных структурах имеет принципиальные отличия.

Металлический полосковый нагреватель формируется на поверхности исследуемого образца с помощью метода взрывной фотолитографии, также известного как «Lift-off process». Это метод формирования изображения на поверхности образца, при котором металлический полосковый нагреватель формируется путем нанесения металлической пленки поверх проявленного слоя фоторезистивного материала.

В данной работе был изготовлен фотошаблон при помощи электронной литографии с целью формирования полосковых микронагревателей для исследования коэффициента теплопроводности с помощью $3 - \omega$ метода.

В результате фотолитографии можно сформировать на исследуемом образце:

1. не менее 20 микроструктур типа «гантель» с длиной нагревательной линии от 1 до 5 мм и ее шириной от 15 до 25 мкм;
2. 16 микроструктур типа «крест» с длиной нагревательной линии от 1 до 2 мм и ее ширинок от 1 до 10 мкм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации (СП-2235.2019.1).

1. Tritt Terry Thermal conductivity: theory, properties, and applications // URL: https://www.researchgate.net/publication/332277064_thermal_book. (date of the application: 1.10.21)
2. Beadhuin M. Thermal conductivity measurement of thin layers by the 3ω method // URL: https://www.researchgate.net/publication/254761410_Thermal_conductivity_measurement_of_thin_layers_by_the_3_omega_method. (date of the application: 1.10.21)

ПРИМЕНЕНИЕ БУФЕРНЫХ СЛОЁВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ В ПЛЁНКАХ Cr-Mn/Fe

Фещенко А.А.¹, Москалев М.Е.¹, Лепаловский В.Н.¹, Степанова Е. А.¹,
Васьковский В.О.^{1,2}, Кравцов Е. А.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: asynickname@mail.ru

APPLICATION OF BUFFER LAYERS FOR THE FORMATION OF CRYSTALLINE TEXTURE IN Cr-Mn/Fe FILMS

Feshchenko A.A.¹, Moskalev M.E.¹, Lepalovskij V.N.¹, Stepanova E.A.¹,
Vas'kovskiy V.O.^{1,2}, Kravtsov E. A.²

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

The magnetic properties and crystal structure of X/Cr₈₀Mn₂₀/Fe/Ta films with various buffer layers (X = Ta, Ta/Fe, Ta/Cr) are studied in this work. The dependences of the main magnetic characteristics of the films are obtained and interpreted. Their structure has been studied.

Тонкопленочные материалы широко используются в качестве датчиков и устройств высокоплотной записи памяти. Системы антиферромагнетик/ферромагнетик являются важной составляющей многих функциональных сред благодаря реализуемому в них эффекту обменного смещения. Как следствие, антиферромагнетики долгое время использовались лишь как вспомогательные слои, обеспечивающий закрепление магнитного момента в прилежащих ферромагнитных слоях [1]. Последние несколько лет благодаря наблюдению в них таких эффектов, как аномальный и спиновый эффекты Холла, антиферромагнетики стали рассматриваться как самостоятельные среды для спинтроники [2]. Одним из таких материалов выступает антиферромагнитный сплав Cr-Mn, отличающийся высокой температурой Нееля и достаточно большим диапазоном составов, при котором реализуется антиферромагнитное упорядочение. Известно, что значительную роль в формировании свойств пленочных материалов играют буферные покрытия [3]. В этой работе изучено влияние буферных слоев на текстуру и магнитные свойства пленок системы X/Cr₈₀Mn₂₀/Fe/Ta. Верхний слой Fe выступает в качестве индикатора антиферромагнитного упорядочения при комнатной температуре. При реализации последнего наблюдается эффект обменного смещения, заключающийся в сдвиге петли гистерезиса ферромагнитного слоя Fe вдоль оси магнитных полей.

Исследуемые пленочные образцы были получены методом магнетронного со-распыления однокомпонентных мишеней Ta, Cr, Mn и Fe. Подложками служили покровные стёкла Corning, покрытые буферным слоем ($X=Ta$, Ta/Fe, Ta/Cr) толщиной 5 нм. Толщина антиферромагнитного слоя составляла 20 нм, ферромагнитного – 10 нм. Для исследования магнитных свойств пленок использовались Керр-магнитометр EvicoMagnetics, измерительный комплекс PPMS DynaCool 9T, SQUID-магнитометр MPMS XL7, вибромагнитометр LakeShore. Для аттестации структурного состояния плёнок использовался рентгеновский дифрактометр PANalytical Empyrean series 2.

В ходе исследования было установлено, что у исследуемых пленок не возникает обменного смещения как при комнатной температуре, так и в широком диапазоне температур (от 5 до 350 К). Проведение термической обработки также не способствуют его появлению. Однако эффект обменного смещения удаётся реализовать при использовании антиферромагнитного слоя толщиной 100 нм.

В результате исследований были обнаружены существенные различия в кристаллической структуре пленок. На рисунке 1, а видно, что в пленках толщиной 20 нм буферный слой Ta способствует формированию текстуры типа (200) (кривая 2), а покрытие Ta/Fe задают ярко выраженную текстуру типа (110) (кривая 4). У пленки с буферным слоем Cr текстуры не наблюдается (кривая 3), как и у пленки толщиной 100 нм с буферным покрытием Ta (кривая 4). Наличие текстуры подтверждается и приведенными на рисунке кривыми качания (рисунки 1, б и 1, в). По-видимому, вопреки широко распространённому мнению [1], наличие текстуры не является обязательным условием в формировании обменной связи между слоями.

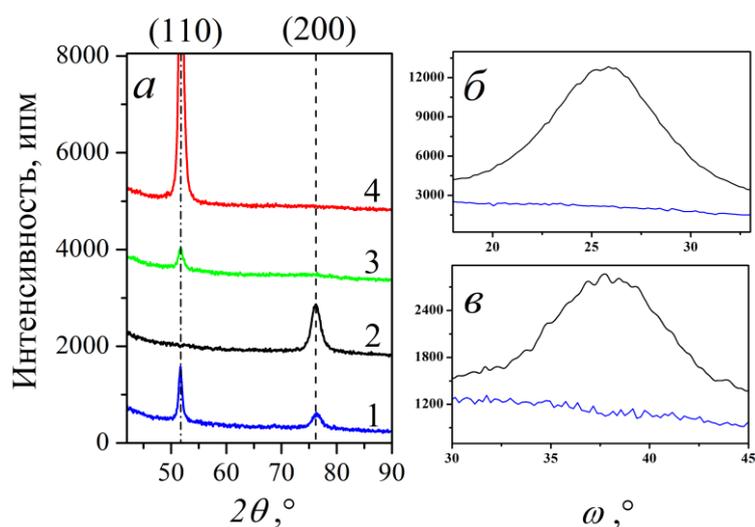


Рис. 1. Дифрактограммы (а) и кривые качания пиков (110) (б) и (200) (в) пленки Ta/Cr80Mn20 (100 нм)/Fe (кривая 1, нижний линии на б и в) и пленок X/Cr80Mn20 (20 нм)/Fe, где X – буферный слой Ta (кривая 2, верхняя линия на в), Cr (кривая 3) и Fe (кривая 4, верхняя линия на б)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект №22-22-00814

1. O'Grady K. et al. Anisotropy in antiferromagnets //Journal of Applied Physics. – 2020. – Vol. 128. – No. 4. – P. 040901.
2. Baltz V. et al. Antiferromagnetic spintronics // Reviews of Modern Physics – 2018 – Vol. 90 – No. 1 – P. 015005.
3. Feng W. et al. Structural and magnetic phase diagrams of epitaxial Cr–Mn alloy thin films //Journal of Applied Physics. – 2010. – Vol. 108. – No. 7. – P. 073915.

ЭФФЕКТ КАТИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ $MgAl_2O_4$

Гаев С.С.¹, Киряков А.Н.¹, Щапова Ю.В.^{1,2}, Сулейманов С.Х.³,
Зацепин А.Ф.¹

¹) Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

²) Институт Геологии и Геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

³) Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН Уз, пос. Солнце, Узбекистан

E-mail: stas.gaev.98@bk.ru

EFFECT OF CATION MIXING IN $MgAl_2O_4$ THIN FILMS

Gaev S.S.¹, Kiryakov A.N.¹, Shchapova J.V.^{1,2}, Suleimanov S.³, Zatsepin A.F.¹

¹) Ural Federal University the first President of Russia B.N. Yeltsin

²) Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Yekaterinburg, Russia

³) Physical-technical institute NGO "Physics-sun", ASUZ, Solnce village, Uzbekistan

Thin-film coatings of $MgAl_2O_4$ were deposited by the method of a magnetron sputtering on SiO_2 substrate with thickness 2 μm . The structure of the films is characterized by strong disordering, the nature of which depends on both the film deposition method and the substrate.

Покрытия на основе широкозонных оксидов характеризуются широким спектральным диапазоном, а также обладают высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками, что позволяет использовать материалы на их основе в качестве датчиков и сенсоров, функционирующих в агрессивных средах. Перспективным радиационно- и химически стойким покрытием является $MgAl_2O_4$. Близкие по ионным размерам двух и трёхвалентные катионы позволяют формировать в шпинели анти-сайт дефекты, в значительной степени демпфирующие распространение дислокационных петель и других дефектов кристаллической решетки. В настоящей работе исследовано влияние структурных особенностей и катионного распределения в тонкоплёночных покрытиях на основе $MgAl_2O_4$ на их оптические свойства.

Синтез тонкоплёночных покрытий осуществлялся методом магнетронного распыления компакта из нанопорошка $MgAl_2O_4$. В качестве подложек были использованы монокристаллы Al_2O_3 , а также кварцевое стекло. Спектры оптического поглощения сняты на спектрофотометрах PerkinElmer Lambda 35, McPherson VuVAS-1000 PL. Структурные особенности и распределение катионов по позициям в пленках характеризовали методом спектроскопии комбинационного рассеяния света на спектрометре LabRam HR 800 Evolution.

Спектры КРС пленок (рис.1) характеризуются значительным уширением и перераспределением интенсивности колебательных мод по сравнению со спектрами керамических образцов (моды $F2g(1,2,3)$, Eg , $A1g$), что указывает на

структурное разупорядочение и катионное перемешивание. Высказано предположение о возможности формирования низко-симметричных фаз шпинели, в частности высокотемпературной высокобарической фазы $Mg_2Al_2O_5$ [2], при конденсации тонкой пленки.

Дополнительно обсуждаются особенности спектров оптического поглощения тонкопленочных покрытий $MgAl_2O_4$ различной толщины синтезированных на подложках из Al_2O_3 , а также SiO_2 . Пленки, толщиной более 0.5 мкм проявляют интерференцию, свидетельствующую о равномерном и однородном распределении покрытия на поверхности подложки.

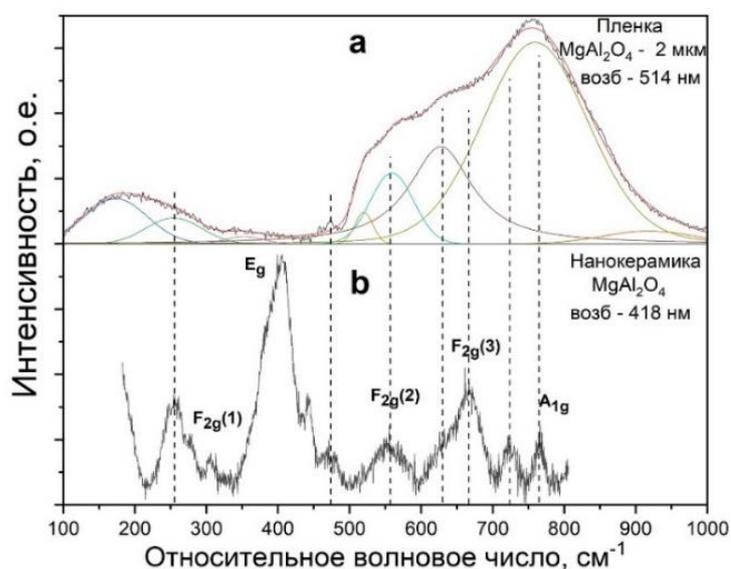


Рис. 1. Спектры КРС тонкой пленки (а) и нанокерамики (б) $MgAl_2O_4$. Пунктирными линиями обозначены моды колебаний, предсказанные теоретико-групповым анализом и экспериментально обнаруженные для $MgAl_2O_4$ в разном структурном состоянии.

Получение тонкопленочных покрытий выполнено в рамках грантов РФФИ № 21-12-00392, РФФИ № 20-42-660012 и госзадания 2020-0059. Измерения КРС выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН, дооснащение которого поддержано грантом Минобрнауки РФ (№075-15-2021-680). Измерения оптических свойств выполнено в НИЛ «Физика функциональных материалов углеродной микро- и оптоэлектроники»

1. D'Ippolito V. et al. Raman fingerprint of chromate, aluminate and ferrite spinels //Journal of Raman Spectroscopy. – 2015. – Т. 46. – №. 12. – С. 1255-1264.
2. Enomoto A. et al. High-pressure transitions in $MgAl_2O_4$ and a new high-pressure phase of $Mg_2Al_2O_5$ //Journal of Solid State Chemistry. – 2009. – Т. 182. – №. 2. – С. 389-395.

RECIPROCAL SPACE STUDY OF HEISENBERG EXCHANGE INTERACTIONS IN FERROMAGNETIC METALS

Kashin I. V.¹, Gerasimov A.¹, Mazurenko V. V.¹

¹Theoretical Physics and Applied Mathematics Department, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
E-mail: i.v.kashin@urfu.ru

Extremely long-ranged magnetic interactions in metals make the theoretical description to be a true challenge. We suggest a fast and stable theoretical technique, designed to study the individual exchange couplings.

The magnetic properties description of real materials can be provided by the spin model and the typical scheme is to construct a minimal model of magnetoactive electron shell by projecting onto Wannier functions.

Thus formulated tight-binding Hamiltonian allows to represent the problem in the framework of Green's functions. In their pioneer works [1-5] it was demonstrated that application of local force theorem to the case of infinitesimal spin rotations remarkably allows one to estimate the magnetic environment of a single atom J_i , as well as particular pairwise exchange interaction J_{ij} , directly on the base of on-site and inter-site Green's functions. The relationship between these two approaches seems trivial: $J_i = \sum_{j \neq i} J_{ij}$. But the question of their actual correspondence requires a detailed examination.

In this work we develop an analytical technique, designed to find a Fourier image of pairwise exchange interactions $J(q)$ from corresponding Green's functions. Along with physical equality to J_{ij} landscape, it is demonstrated that this technique could accurately produce the expected value for $\sum_{j \neq i} J_{ij}$ actual convergence dynamics for the real conducting material, such as bcc iron.

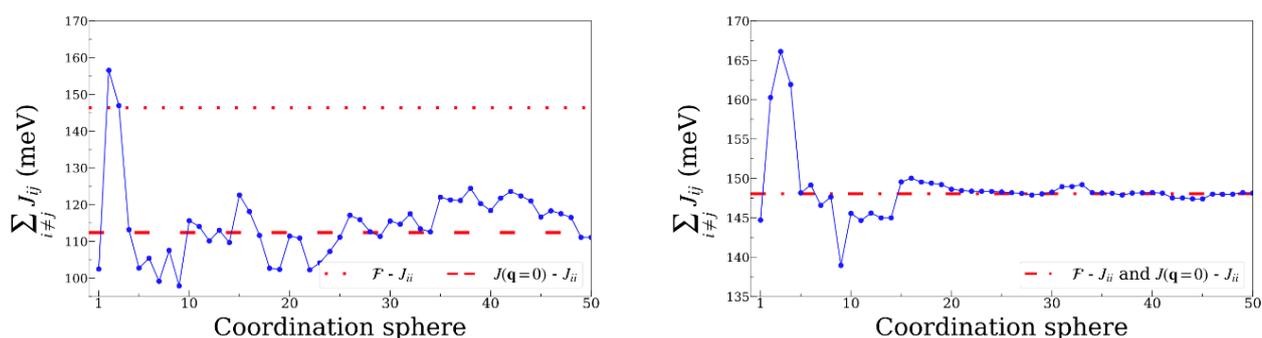


Рис. 1. (Left chart) LSDA-originated convergence dynamics of bcc Fe $\sum_{j \neq i} J_{ij}$, as more distant neighbors are taken into account. (Right chart) LDA+DMFT-originated convergence dynamics of bcc Fe $\sum_{j \neq i} J_{ij}$, as more distant neighbors are taken into account.

We consider bcc Fe magnetism from the viewpoint of spin-polarized electron gas (LSDA) and dynamical mean-field theory (LDA+DMFT). Both schemes give us a

good agreement in the $J_i = \sum_{j \neq i} J_{ij}$ relationship. Furthermore, as expected, intraatomic magnetism model, possessed by LDA+DMFT, leads the approaches based on single and pairwise spin rotations to give even equal numerical results.

The work of IVK and AG is supported by the grant program of the President of the Russian Federation MK-2578.2021.1.2.

The work of VVM is supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 21-72-10136.

The computer simulations are performed on computational resources provided by the Uran supercomputer allocated by the IMM UB RAS.

1. AI Liechtenstein, MI Katsnelson, VA Gubanov, Exchange interactions and spin-wave stiffness in ferromagnetic metals. *J. Phys. F: Met. Phys.* 14, L125–L128 (1984).
2. A Liechtenstein, M Katsnelson, V Antonov, V Gubanov, Local spin density functional approach to the theory of exchange interactions in ferromagnetic metals and alloys. *J. Magn. Magn. Mater.* 67, 65–74 (1987).
3. V Antropov, M Katsnelson, A Liechtenstein, Exchange interactions in magnets. *Phys. B: Condens. Matter* 237-238, 336–340 (1997) Proceedings of the Yamada Conference XLV, the International Conference on the Physics of Transition Metals.
4. MI Katsnelson, AI Liechtenstein, First-principles calculations of magnetic interactions in correlated systems. *Phys. Rev. B* 61, 8906–8912 (2000).
5. M Katsnelson, A Liechtenstein, Magnetic susceptibility, exchange interactions and spin-wave spectra in the local spin density approximation. *J. Phys. Condens. Matter* 16, 7439 (2004).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОВУШЕК В КЕРАМИКАХ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$

Герасимов М.Ф.¹, Никифоров С.В.¹, Ананченко Д.В.¹, Штанг Т.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: gerasimow2001@mail.ru

ENERGY DISTRIBUTION OF TRAPS IN $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$ CERAMICS

Gerasimov M.F.¹, Nikiforov S.V.¹, Ananchenko D.V.¹, Shtang T.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The view of the energy distribution function of traps responsible for the dosimetric thermoluminescent peak of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$ ceramics is determined. The resulting function is used to explain the anomalous behavior of the thermoluminescence isothermal decay curves in the temperature range of 523–623 K.

Ультрадисперсная керамика на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$ является одним из перспективных материалов для оценки высоких доз ионизирующих излучений [1]. Ранее обнаружено, что ловушки, ответственные за дозиметрический пик термолуминесценции (ТЛ) при 525 К, характеризуются распределением по энергии активации. Установление вида функции распределения ловушек необходимо для построения кинетической модели, в полной мере описывающей механизм ТЛ в данном материале, что полезно для оптимизации его использования в практической ТЛ дозиметрии.

Целью настоящей работы являлось исследование энергетического распределения ловушек в керамиках $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$.

Экспериментальные образцы представляли собой таблетки цилиндрической формы диаметром 5 мм и толщиной 1 мм, которые были получены путём холодного одноосного прессования нанопорошка $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (размер частиц: 75–200 нм, фирма «Плазмотерм»). Полученные компакты отжигались в электровакуумной печи при $T = 1400$ 0С в течение 4 часов в тиглях из оксида бериллия. Для возбуждения ТЛ использовался ускоритель «РАДАН ЭКСПЕРТ» с энергией электронов 130 кэВ. Доза облучения составляла 15 кГр. ТЛ измерялась с помощью ФЭУ-142 (максимум спектральной чувствительности: 112–365 нм). Было использовано два режима стимуляции ТЛ: линейный нагрев (скорость: 2 К/с) и изотермическая выдержка.

Существование сложного энергетического распределения ловушек дозиметрического пика при 525 К доказано методами начального подъёма и $T_m\text{-}T_{stop}$. Для идентификации вида распределения был использован метод, описанный в работе [2]. Установлено, что функция распределения ловушек по энергиям $N(E)$

не описывается равномерным, экспоненциальным или гауссовым законом, а имеет сложный вид, ранее не известный в литературе.

Полученная в настоящей работе функция $N(E)$ использована для объяснения аномального поведения кривых изотермического затухания ТЛ, заключающегося в уменьшении скорости затухания с увеличением температуры в диапазоне 523-623 К. С помощью компьютерного моделирования показано, что такое поведение кривых изотермического затухания может быть связано с одновременным опустошением нескольких ловушек с различными энергиями активации.

1. S.V. Nikiforov, I.G. Avdyushin, D.V. Ananchenko, A.N. Kiryakov and A.F. Nikiforov, *Applied Radiation and Isotopes*, 141, 15-20 (2018).
2. K. Van den Eeckhout, A. J. Bos, D. Poelman and P. F. Smet, *Phys. Rev. B*, 87, 045126 (2013).

ЭФФЕКТ АНИЗОТРОПИИ ФОРМЫ В МИКРОПОЛОСКАХ СПИНОВЫХ КЛАПАНОВ С СИНТЕТИЧЕСКИМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОМ

Гермизина А. А.^{1,2}, Наумова Л. И.², Миляев М. А.², Павлова А. Ю.²

¹⁾ Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, 620002, Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, 620108, г. Екатеринбу-
бург, Россия

E-mail: an.germizina@yandex.ru

SHAPE ANISOTROPY EFFECT IN MICROSTRIPED SPIN VALVES WITH SYNTHETIC ANTIFERROMAGNET

Germizina A. A.^{1,2}, Naymova L. I.², Milyaev M. A.², Pavlova A. Y.²

¹⁾ Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia

²⁾ M. N. Mikheev Institute of Metal Physics UB RAS, 620108, Ekaterinburg, Russia

Shape anisotropy effect on the field dependences of magnetoresistance for microstriped spin valves is investigated. Strong shape anisotropy effect on spin valve magnetic reversal and direction of magnetic moments of free and reference layers in the weak magnetic fields were revealed.

Наноструктуры типа спиновый клапан с малой шириной петли гистерезиса перемагничивания свободного слоя используются в качестве магниточувствительного материала в аналоговых устройствах. Изготовление микрообъектов из спиновых клапанов позволяет уменьшить сдвиг низкополевой петли гистерезиса и использовать их в качестве магнитных сенсоров [1].

Металлические наноструктуры типа спиновый клапан композиции Ta(50Å)/[Ni₈₀F₂₀]₆₀Cr₄₀(50Å)/Co₇₀Fe₂₀Ni₁₀(40Å)/Cu(21Å)/Co₇₀Fe₂₀Ni₁₀(40Å)/Ru(8Å)/Co₇₀Fe₂₀Ni₁₀(30Å)/Fe₅₀Mn₅₀(100Å)/Ta(50Å) изготовлены методом магнетронного напыления на подложках из стекла. Для изготовления из пленки спинового клапана микрополосок шириной $w = 6, 4$ и 1 мкм и длиной 8 мм применяли метод безмасковой лазерной литографии. Микрополоски формировались таким образом, чтобы ось легкого намагничивания (ОЛН) была направлена вдоль полосы.

Полевые зависимости сопротивления измеряли в установке, собранной на базе электромагнита и температурного контроллера LakeShore 336. Магнитосопротивление определяли как $\Delta R/R_s = (R(H) - R_s)/R_s$, где $R(H)$ – сопротивление образца в магнитном поле и R_s – сопротивление в поле насыщения.

Полевые зависимости магнитосопротивления (рис. 1) были измерены в магнитном поле приложенном параллельно и перпендикулярно ОЛН и оси однонаправленной анизотропии (ООА).

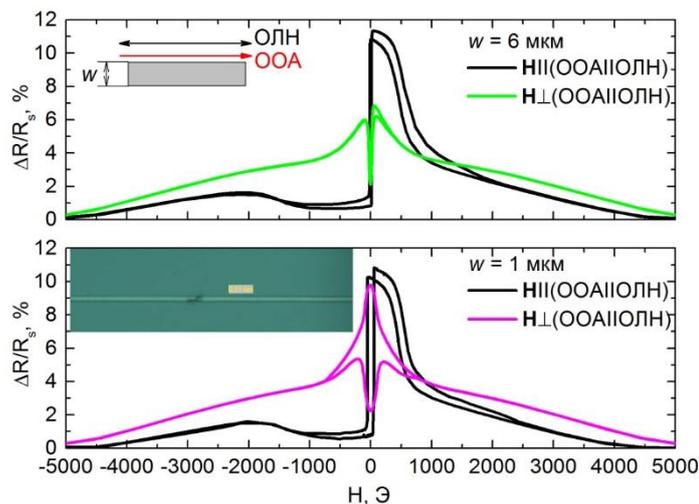


Рис. 1. Полевые зависимости магнитосопротивления для микрополосок шириной 6 мкм и 1 мкм, измеренные в поле направленном параллельно и перпендикулярно осям магнитной анизотропии.

Для микрополоски $w = 1$ мкм при H перпендикулярном ($OLN \parallel OOA$) магнитосопротивление в полях близких к $H=0$ достигает максимального значения близкого к $(\Delta R/R_s)_{\max}$, полученному при H параллельном ($OLN \parallel OOA$). Следовательно, в нулевом поле реализуется антипараллельное упорядочение магнитных моментов свободного и референтного слоев обусловленное выстраиванием этих моментов вдоль оси микрополоски. При $w = 4$ и 6 мкм и H перпендикулярном ($OLN \parallel OOA$) магнитосопротивление в малых полях достигает примерно половины от $(\Delta R/R_s)_{\max}$. Следовательно, в этом случае антипараллельное упорядочение магнитных моментов свободного и референтного слоев и выстраивание их вдоль оси микрополоски не реализуется.

Таким образом, при ширине микрополоски 1 мкм наблюдалось сильное влияние анизотропии формы на процесс перемагничивания спинового клапана и направление магнитных моментов свободного и референтного слоев в области слабых магнитных полей.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме “Спин” АААА-А18-118020290104-2 и при поддержке РФФИ (грант 20-42-660018 p_a) и государственного задания МИНОБРНАУКИ России по теме «Магнит» №122022100034-9.

1. Наумова Л. И., Миляев М. А., Заборницын Р. С., Павлова А. Ю., Максимова И. К., Криницина Т. П., Чернышева Т. А., Проглядо В. В., Устинов В. В., Физика металлов и металловедение, 120, 710-716 (2019).

ЛОКАЛЬНОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА НЕПОЛЯРНОМ СРЕЗЕ НИОБАТА ЛИТИЯ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ ОТ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Грешняков Е.Д.¹, Турыгин А.П.¹, Пряхина В.И.¹, Шур В.Я.¹

¹) Институт Естественных Наук и Математики, Уральский Федеральный Университет, 620000, Екатеринбург, Россия
E-mail: evgeny.greshnyakov@urfu.ru

LOCAL SWITCHING POLARIZATION ON THE NON-POLAR CUT OF LITHIUM NIOBATE WITH CONTROLLED INHOMOGENEOUS STOICHIOMETRY DEVIATION

Greshnyakov E.D.¹, Turygin A.P.¹, Pryakhina V.I.¹, Shur V.Ya.¹

¹) School of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University, 620000, Ekaterinburg, Russia

We investigated direct domain growth at non-polar cut of lithium niobate with inhomogeneous composition distribution along polar axis by application of electric pulses using scanning probe microscope. Dependency of domains parameters from the value of stoichiometry deviation has been shown.

В кристаллах ниобата лития (LN) конгруэнтного состава наблюдается отклонение от стехиометрического состава (Δc_{Li}), выражающееся в дефиците Li (около 1,6 мол.%). Свойства кристаллов LN зависят от величины Δc_{Li} , в частности, пороговых полей переключения поляризации значительно уменьшаются для стехиометрического состава [1]. Отжиг пластин LN при высокой температуре в парах Li (vapor transport equilibration, VTE) позволяет уменьшить Δc_{Li} и используется для контроля градиента состава путем изменения продолжительности отжига [2].

Монодоменные пластины CLN толщиной 1 мм, отжигались в течение 10, 70 и 100 ч в парах Li при температуре 1050 °С. Пространственное распределение состава определялось из локальных измерений спектров комбинационного рассеяния света с помощью микроскопа Alpha AR300 (WiTec, Германия). Локальное переключение поляризации [3] производилось с помощью сканирующего зондового микроскопа NTEGRA Aura (НТ-МДТ, Россия) с использованием зондов NSC18 с покрытием из платины и радиусом закругления до 30 нм. Переключающие импульсы длительностью 0.01-100 с и амплитудой 40–200 В с шагом в 40 В генерировались платой сбора данных NI-6251 (National Instruments, США) и высоковольтным усилителем Trek-677B (ТРЕК, США).

На неполярном Y-срезе пластин LN с градиентами состава в областях с Δc_{Li} в диапазоне от 0,05 до 1,6 мол.% с помощью зонда сканирующего зондового микроскопа осуществлялось приложение прямоугольных импульсов в точке. Рост изолированных клиновидных доменов в полярном направлении исследовался с

высоким пространственным разрешением. Длина (L) доменов линейно зависела от величины приложенного напряжения, а зависимость ширины (W) доменов имеет корневой вид. При этом зависимости L и W от длительности переключающего импульса при постоянном напряжении имели логарифмический вид. При приложении импульсов одинаковой длительности и амплитуды величины dL/dU изменялась обратно пропорционально Δc_{Li} , тогда как dW/dU не изменялась. Зависимость dL/dU является характеристикой подвижности доменных стенок.

В работе использовалось оборудование Уральского центра коллективного пользования «Современные Нанотехнологии» УрФУ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-32-90050.

1. Chen Y.L., Wen J.P., Kong Y.F., Chen S.L., Zhang W.L., Xu J.J., Zhang G.Y., J. Cryst. Growth., 242, 400 (2002)
2. Pryakhina V.I., Greshnyakov E.D., Lisjikh B.I., Nebogatikov M.S., Shur V.Ya, Ferroelectrics, 542, 13 (2019)
3. Kalinin S.V., Morozovska A.N., Chen L.Q., Rodriguez B.J., Reports Prog. Phys., 73, 056502. (2010)

FERRO-ANTIFERROMAGNETIC TRANSFORMATION IN $\text{La}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ AT LOW TEMPERATURES

Haneen M Alsafi¹, Pirogov A.N.^{1,2}

¹) Institute of Natural Science and Mathematics of Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Metal Physics of UB RAS 3, Ekaterinburg, Russia
E-mail: haneenalsafi.1991@gmail.com

It is shown that Mn-atom spins transform from ferromagnetic to antiferromagnetic ordering at 48 K.

The intermetallic compounds RMn_2X_2 (R is a rare earth metal, X is germanium or silicon) have the crystal structure of the ThCr_2Si_2 -type which can be described as a stacking of atomic layers in the direction of the crystallographic c-axis with the strong sequence of -R-X-M-X-R-. The naturally layered structure is responsible for a very exciting variety of physical properties ranging from superconductivity to heavy-fermion behavior. Above 50 K magnetic structure types and properties depend on interplane and intraplate distances between Mn atoms. Below 50 K a magnetic ordering is defined by interactions between the manganese and rare-earth ions.

To study what kind of magnetic phase transformation takes place at 50 K we carried out neutron diffraction on the $\text{La}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ intermetallic compounds.

Polycrystalline sample $\text{La}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ was melted in an induction furnace in an argon atmosphere and annealed then at 900 C for one week. Neutron powder diffraction (NPD) patterns have been recorded with the diffractometer DISK, IR-8 reactor Kurchatov Institute. The NPD measurements were carried out at 8, 15, 25, 30, 35, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, and 53K. Following data were obtained.

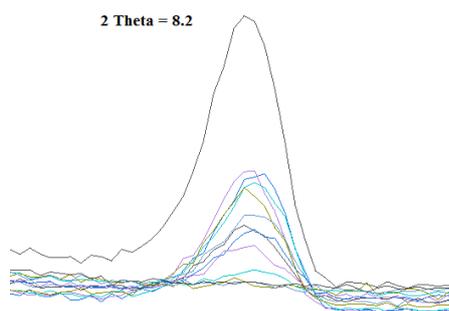


Fig. 1. The profile of the (001) peak over-temperature interval 8 – 52 K.

The magnetic structure is described by the propagation vector $\mathbf{k} = 2 \cdot 3.14/c(001)$. Below 48 K Tb- and Mn- spins are ordered, at that Tb-ion magnetic moments are mutually parallel and oriented along the c-axes. The Mn-atom magnetic moments have two components. One of them is lied in the basic plane and is antiferromagnetic. The other component is oriented along the c-axis and antiparallel to Tb moments. At 8 K

the magnitude of the Tb magnetization is equal to $9.0 M_B$ at 8 K, and the average magnetic moment of Mn atom is $2.1 M_B$. At temperatures above 48 K, the Tb-ion magnetic moment is equal to $0 M_B$ and The Mn moments are ordered antiferromagnetically. Thus, ferro antiferromagnetic change of Mn moment order takes place in $\text{La}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ at 48 K.

This work was supported by MES of RF (contract No. FEUZ-2020-0051).

1. Kaneko, T., H. Yasui, T. Kanomata, H. Kobayashi, and H. Onodera, J. Physique Colloques. 49, C8-441 (1988).
2. Li, Guoxing, Jianli Wang, Zhenxiang Cheng, Qingyong Ren, Chunsheng Fang, and Shixue Dou, J. Appl. Phys. 18, 182405 (2015).
3. Gerasimov, E. G., N. V. Mushnikov, P. B. Terentev, K. A. Yazovskikh, I. S. Titov, V. S. Gaviko, and Rie Y. Umetsu, J. Magnetism and Magnetic Materials. 422, 237-242 (2017).
4. Gerasimov, E. G., N. V. Mushnikov, P. B. Terentev, and A. N. Pirogov. J. Alloys and Compounds 731, 397-402 (2018).
5. Kubo, Katsunori. J. Phys. Review. 19, 195127 (2013).

ACTIVATION ENERGY OF THE JAHN-TELLER COMPLEXES IN CaF₂:Cu²⁺ CRYSTAL

Sarychev M.N¹, Hosseney W.A.L.^{1,2}, Ulanov V. A.^{3,4}, Egranov A. V⁵,
Zhevstovskikh I.V^{1,6}, Averkiev N.S⁷, Gudkov V.V¹

¹) Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Department of physics, Faculty of science, Benha University, Benha 13511, Egypt

³) Kazan E. K. Zavoisky Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

⁴) Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

⁵) A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

⁶) M. N. Miheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

⁷) A. F. Ioffe Physical Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

E-mail: wessam.hosseney@fsc.bu.edu.eg

In CaF₂ crystal doped with Cu²⁺ ions, attenuation of all the normal ultrasonic modes with the wave vector $k \parallel \langle 110 \rangle$ were investigated at 22 -163 MHz in the temperature region of 4 - 200 K.

Temperature dependence of attenuation of ultrasonic normal modes, longitudinal and transverse polarized along [1,-1,0] axes and propagating along the [1,1,0] crystallographic axis in fluorite crystal doped with copper ions is described in the framework of a phenomenological approach, whereas the contribution of the sub-system of the Jahn-Teller complexes is presented by the microscopic theory. The observed attenuation peak of relaxation origin was interpreted as manifestation of the Jahn-Teller effect. Analysis of experimental data, obtained at the frequency of 22 - 162 MHz in the temperature range of 4 – 200 K, and calculation of isothermal contribution indicated T ⊗ (e+t₂) Jahn-Teller effect problems with important impact of quadratic term in the vibronic Hamiltonian. The value of activation energy V₀ was derived from the temperature dependence of relaxation time τ with account of three mechanisms of relaxation: thermal activation $\tau^{-1} = \nu_0 \exp(-V_0 / k_B * T)$, tunnelling through the potential energy barrier, and two-phonon mechanism similar to Raman scattering.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ И УСЛОВИЙ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Иевлева Е.В.¹, Коротков Л.Н.¹

¹) ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"
E-mail: elenaz.86@mail.ru

EFFECT OF THE PARTICLE SIZE OF STRONTIUM TITANATE AND THE CONDITIONS FOR THEIR PRODUCTION ON THE PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED MATERIALS BASED ON THEM

Ievleva E.V.¹, Korotkov L.N.¹
¹) VSTU

A nanostructured ceramic material based on SrTiO₃ has been synthesized. Its crystal structure has been studied. The properties of ultrafine nanostructured ceramic samples were investigated and a set of data on the dielectric and electrical properties of nanocrystalline SrTiO₃ was obtained.

Титанат стронция (SrTiO₃) со структурой типа перовскита широко используется как компонент при изготовлении сегнетоэлектрической керамики и как нелинейный диэлектрический материал, широко используемый в устройствах техники СВЧ [1].

В качестве объектов исследования были использованы образцы ультрадисперсного порошка титаната стронция, и порошки, которые были синтезированы по обычной технологии.

С помощью рентгеновской дифрактометрии и электронной микроскопии были исследованы структуры образцов и осуществлен фазовый анализ образцов титаната стронция. Диэлектрические исследования при охлаждении и нагреве проводили при помощи метода измерения электрического иммитанса. Обработку экспериментальных результатов осуществляли с использованием программного пакета «Origin Pro».

В результате экспериментального исследования выявлено, что:

- увеличение времени спекания компактированных наночастиц титаната стронция при температуре 1000 °С приводит к значительному увеличению диэлектрической проницаемости, увеличению постоянной Кюри - Вейсса, но слабо влияет на температуру Кюри – Вейсса;

- температурная зависимость диэлектрической проницаемости наноструктурированного SrTiO₃, полученного спеканием частиц подвергшихся интенсивной механической обработке в широком интервале температур, удовлетворительно описываются «квадратичным» законом Кюри – Вейсса;

- в сегнетоэластической фазе образца, полученного с использованием мейно-активации обнаружена диэлектрическая релаксация, имеющая термоактивированный характер с энергией активации $U \approx 0,09$ эВ и временем $\tau_0 \approx 2,86 \cdot 10^{(-11)}$ с.

1. Иевлева Е.В., Коротков Л.Н., Толстых Н.А., Бочаров А.И. Диэлектрические свойства ультрадисперсного титаната стронция. // «Альтернативная и интеллектуальная энергетика». Материалы Международной научно-практической конференции. – 2020. С. 51-52.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ К ЧАСТИЧНО-СМЕШИВАЮЩЕЙСЯ СМЕСИ С НКТР В ОПЫТАХ ПО ИМПУЛЬСНОМУ НАГРЕВУ

Игольников А.А.^{1,2}, Рютин С.Б.¹, Скрипов П.В.¹

¹) Институт теплофизики УрО РАН

²) Уральский федеральный университет

E-mail: alexander.igolnikov@bk.ru

STUDY OF HEAT TRANSFER BY PARTIALLY-MISCIBLE MIXTURE WITH LCST IN PULSE HEATING EXPERIMENTS

Igolnikov A.A.^{1,2}, Rutin S.B.¹, Skripov P.V.¹

¹) Institute of Thermal Physics Ural Branch of RAS

²) Ural Federal University

Heat transfer by mixture with the lower critical solution temperature in the course of non-stationary heating is discussed. The superheating degree reached 200 K at the heating rate of 105 K/s. Upon reaching a certain superheating degree, a significant enhancement of heat transfer has been revealed.

Современные микроэлектронные устройства являются мощными источниками тепла. Для обеспечения их безопасной эксплуатации и максимальной производительности требуется внедрение эффективных теплообменных устройств, допустимые размеры которых существенно ограничены высокой степенью интеграции микросхем. Двумя основными направлениями повышения производительности теплообменников являются активные и пассивные системы охлаждения [1]. С практической и экономической точек зрения наиболее предпочтительными являются пассивные системы, к которым относятся: модификация поверхности и замена теплоносителя. Среди перспективных теплоносителей можно выделить кипящие потоки и жидкости с добавлением наночастиц оксидов металлов. Однако, несмотря на уникальные теплофизические свойства, эксплуатация таких систем затруднена. Альтернативой могут выступать двухкомпонентные частично-смешивающиеся смеси с ограниченной областью совместимости компонентов на фазовой диаграмме в координатах температура-концентрация. Нагрев (для систем с нижней критической температурой растворения – НКТР) или охлаждение (для систем с верхней критической температурой растворения – ВКТР) таких систем сопровождается релаксацией нестабильной однофазной смеси к стабильному двухфазному состоянию. Процесс релаксации идет либо через механизм зародышеобразования (при пересечении бинодали), либо – спиноподобного распада (при пересечении спинодали) [2].

Работа направлена на исследование теплоотдачи к частично-смешивающейся смеси с НКТР в условиях малых характерных времен нагрева (до 180 мс), размеров (~ 10 мкм) и больших плотностей теплового потока (10-14 МВт/м²). В

импульсных опытах осуществляется перегрев смеси на сотни градусов за линию равновесия жидкость-жидкость и/или диффузионную спинодаль. Метод импульсного нагрева проволочного зонда-термометра сопротивления позволяет напрямую контролировать параметры тепловыделения в течение всего импульса и регистрировать функцию отклика во всем диапазоне нагрева, при этом малые характерные времена нагрева позволяют свести к минимуму влияние гравитационных эффектов. Регистрируемыми величинами являются падение напряжения на платиновом зонде и ток в цепи зонда. Запись первичных величин сопровождается расчетом мощности тепловыделения, температуры зонда и плотности теплового потока [3].

В докладе будут представлены результаты опытов по импульсному нагреву смеси вода/полипропиленгликоль-425 с НКТР в диапазоне давлений 1-100 МПа.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 19-19-00115.

1. S. Li, H. Zhang, J. Cheng, X. Li, W. Cai, Z. Li, F. Li, Int. J. Heat Mass Transfer, 143 (2019) 118476
2. J.M.H. Levelt Sengers, How Fluids Unmix. Discoveries by the School of Van Der Waals and Kamerlingh Onnes, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam (2002)
3. P.V. Skripov, A.A. Igolnikov, S.B. Rutin, A.V. Melkikh, Int. J. Heat Mass Transfer, 184 (2022) 122290

СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ильяшенко И.Н.¹, Мартемьянов Н.А.¹, Камалов Р.В.¹, Вохминцев А.С.¹,
Ищенко А.В.¹, Вайнштейн И.А.¹

¹) НОЦ НАНОТЕХ, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: f4rr9l@gmail.com

STRUCTURAL PARAMETERS OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE SYNTHESIZED AT DIFFERENT TEMPERATURES

Ilyashenko I.N.¹, Martemianov N.A.¹, Kamalov R.V.¹, Vokhmintsev A.S.¹,
Ishchenko A.V.¹, Weinstein I.A.¹

¹) NANOTECH Centre, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Different types of the $g\text{-C}_3\text{N}_4$ structures are suggested to describe experimental XRD data. It is found that rising synthesis temperature leads to a disappearance of the amorphous phase, an increase in the distance between the chains of heptazine units, and a decrease in the interplanar distance.

Интерес к графитоподобным средам на основе нитрида углерода ($g\text{-C}_3\text{N}_4$) обусловлен перспективами его применения в технологиях фотокатализа, получения водорода путем выделения из воды, нано- и оптоэлектроники. Однако структура $g\text{-C}_3\text{N}_4$ остаётся недостаточно изученной и зачастую предполагается, что она состоит из идеальных триазиновых или гептазиновых блоков [1]. В данной работе исследованы зависимости структуры графитоподобного нитрида углерода от температуры синтеза T_S и выполнено моделирование различных вариантов структур, максимально совпадающих с экспериментальными.

Порошки $g\text{-C}_3\text{N}_4$ были получены методом термической поликонденсации. В качестве прекурсора использовалась мочеви́на, процесс проводился на воздухе при температурах нагрева 450–600°C. Для исследования структуры методом рентгенофазового анализа были измерены дифрактограммы продуктов $g\text{-C}_3\text{N}_4$ с применением дифрактометра Miniflex 600, Rigaku Corporation, с излучением в полосе $\text{CuK}\alpha$, диапазон углов 2θ от 10 до 105°. Расчет дифрактограмм модельных структур был проведен по методу Ритвельда с помощью ПО VESTA 3.5.7.

При увеличении T_S происходит смещение максимумов пиков, что позволяет говорить о более плотной упаковке гептазиновых слоёв (002) одновременно с увеличением расстояния между центрами гептазиновых колец (210) у более высокотемпературных образцов, а также происходит линейное увеличение области когерентного рассеяния с 2.35 до 4.31 нм. Известно, что экспериментальные дифрактограммы $g\text{-C}_3\text{N}_4$ не могут быть теоретически описаны на основе только идеальных структур триазина или гептазина. Моделирование мелона было

выполнено с изменением расстояний между Z -образными цепочками гептазиновых звеньев и полимеризованными слоями, а также с учетом синусоидального изгиба слоев. Такой подход позволяет более точно описать наблюдаемую структуру g - C_3N_4 . В результате анализа теоретических и экспериментальных данных обнаружено, что повышение T_S до 550 – 600°C приводит к снижению доли аморфной фазы g - C_3N_4 , увеличению дистанции между Z -образными цепочками гептазиновых звеньев и уменьшению межплоскостного расстояния.

1. Мартемьянов Н. А. и др., Физика. Технологии. Инновации: сборник статей VIII Международной молодежной научной конференции, 189–197 (2021).

МАГНИТОСТРИКЦИЯ В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ $TbCo_2Mn_x$

Инишев А.А.^{1,2}, Герасимов Е.Г.^{1,2}, Терентьев П.Б.^{1,2}, Мушников Н.В.^{1,2}

¹⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, 620990 Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, 18

²⁾ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, ул. Мира 19
E-mail: inishev@imp.uran.ru

MAGNETOSTRICTION OF NONSTOICHIOMETRIC $TbCo_2Mn_x$ COMPOUNDS

Inishev A.A.^{1,2}, Gerasimov E.G.^{1,2}, Terentev P.B.^{1,2}, Mushnikov N.V.^{1,2}

¹⁾ M.N. Miheev Institute of Metal Physics

²⁾ Ural Federal University

The magnetostriction of the nonstoichiometric $TbCo_2Mn_x$ compounds have been investigated. The compounds have a large volume and anisotropic magnetostriction in a wide temperature range, which makes it possible to consider compounds as materials that are promising for magnetostrictive applications

Кубические фазы Лавеса RCo_2 (R – редкоземельный элемент) обладают гигантскими значениями магнитострикции и являются перспективными материалами для различных магнитострикционных приложений [1]. Зонный магнетизм 3d подрешетки кобальта приводит к возникновению гигантской объемной магнитострикции, а локализованный магнетизм 4f подрешетки редкоземельных ионов обуславливает существование гигантской одноионной анизотропной магнитострикции в этих соединениях [1, 2].

Недавно было обнаружено, существование новых нестехиометрических соединений RCo_2Mn_x со структурой типа $MgCu_2$ [3, 4]. В отличие от твердых растворов замещения $RCo_{2-x}Mn_x$, в которых атомы 3d переходных металлов занимают только позиции (16d), в нестехиометрических соединениях RCo_2Mn_x 3d атомы частично занимают и позиции редкоземельного металла (8a). В частности, было показано, что в диапазоне концентраций $x < 0.4$ существуют однофазные соединения $TbCo_2Mn_x$ со структурой типа $MgCu_2$ [4]. Атомы марганца в этих соединениях занимают до 9% редкоземельных позиций Tb (8a). С увеличением концентрации марганца температура Кюри повышается от 235 К для $TbCo_2$ до 350 К для $TbCo_2Mn_{0.4}$. Синтез нестехиометрических соединений, дает возможность одновременно изменять как на магнетизм 3d подрешетки кобальта, так и магнитную анизотропию 4f подрешетки редкоземельного металла. Магнитострикция в таких нестехиометрических соединениях до настоящего времени не была исследована. Цель данной работы заключалась в исследовании теплового расширения и магнитострикции в нестехиометрических соединениях $TbCo_2Mn_x$ ($0 \leq x \leq 0.6$).

Показано, что с ростом концентрации марганца уменьшается объемный вклад в магнитострикцию соединений, что обусловлено увеличением локализации магнитного момента $3d$ подрешетки. Увеличение концентрации марганца в нестехиометрических соединениях приводит к значительному увеличению линейной магнитострикции при комнатной температуре, что позволяет рассматривать нестехиометрические соединения $TbCo_2Mn_x$ как потенциальные перспективные материалы для различных магнитострикционных приложений.

Работа выполнена в рамках госзадания шифры «Магнит» и «Сплавы» при поддержке РФФИ грант № 20-42-660008.

1. E. Gratz, A. Lindbaum, A.S. Markosyan, H. Mueller, A.Yu. Sokolov. Isotropic and anisotropic magnetoelastic interactions in heavy and light RCo_2 Laves phase compounds. *J. Phys.: Condens. Matter* 6 (1994) 6699. (<https://doi.org/10.1088/0953-8984/6/33/017>)
2. E. Gratz and A. S. Markosyan, Physical properties of RCo_2 Laves phases. *J. Phys.: Condens. Matter*. 13 (2001) 385–413. (<https://doi.org/10.1088/0953-8984/13/23/202>)
3. E. G. Gerasimov, N. V. Mushnikov, A. A. Inishev, P. B. Terentev, V. S. Gaviko. Structure, magnetic and magnetothermal properties of the non-stoichiometric $ErCo_2Mn_x$ alloys. *J. Alloys Compd.* 680 (2016) 359–365. (<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.04.130>)
4. A. A. Inishev, E. G. Gerasimov, N. V. Mushnikov, P. B. Terent'ev, V. S. Gaviko. Structure, magnetic and magnetocaloric properties of nonstoichiometric $TbCo_2Mn_x$ compounds. *Physics of Metals and Metallography* 118 (11) (2018) 1036–1042. (<https://doi.org/10.1134/S0031918X18110042>)

МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОЛИКЕТОНА ОБЛУЧЕННОГО ГАММА-КВАНТАМИ Co^{60}

Ташметов М.Ю.¹, Саидов Р.П.¹, Исмаатов Н.Б.¹, Абдаминов А.Б.²

¹) Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан

²) Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

E-mail: normamat@inp.uz

MICROHARDNESS OF POLYKETONE IRRADIATED BY GAMMA RAYS Co^{60}

Tashmetov M.Yu.¹, Saidov R.P.¹, Ismatov N.B.¹, Abdaminov A.B.²

¹) Institute of Nuclear Physics of Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

²) National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

The effect of radiation on the microhardness of polyketone has been studied. When exposed to gamma irradiation, the near-surface and bulk microhardness increases. The values of microhardness at a load of 10 g increased by 14%, and at a load of 100 g by 20%, respectively.

Разработка новых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками на основе полимеров, используемых в условиях абразивных и активных сред, является очень актуальной задачей. Известно, что наличие структурных дефектов влияет на физико-механические свойства полимерных материалов [1]. Существует различные способы (термические, механические, радиационные и т.д.) создания структурных дефектов в полимерах. Изменение свойств полимеров под действием радиации обусловлено возбуждением и ионизацией молекул веществ [2]. В процессе облучения одновременно протекают несколько процессов, которые зависят от вида и дозы ионизирующего излучения. К основным радиационно-химическим превращениям полимеров относятся образование связей между макромолекулами, разрыв связей в главных цепях и деструкция. Эти реакции протекают одновременно и наиболее сильно влияют на прочностные свойства полимеров. В настоящей работе исследовано влияние радиации на микротвердость поликетона. Поликетоны состоят из звеньев олефина и монооксида углерода $-(CH_2-CH_2-C=O)_n-$ [3], обладают высокой износостойкостью, ударопрочностью и устойчивостью к химическим средам. Учитывая вышеприведенные свойства, а также относительно высокую температуру плавления до 533 К [4], поликетоны используются в машиностроении, аэрокосмической, автомобильной, химической и судостроительной промышленности. В работе [5] показано, что после облучения гамма-квантами до поглощенной дозы 45 кГр в пленках полиимида увеличивается приповерхностное упрочнение и снижается объемная микротвердость, а в образцах полиэтилентерефталата наблюдается снижение микротвердости приповерхностного слоя. Облучение образцов поликетона гамма квантами средней энергией 1,25 МэВ (Co^{60}) осуществлялось на Гамма установке

ИЯФ АН РУз. При облучении мощность поглощенной дозы составляла 0.7 Гр/с. Исследование микротвердости поликетонов проводилось при температуре 300 К на микротвердомере Model HVS 1000A методом Виккерса. Измерение микротвердости проводилось с использованием стандартной методики согласно ГОСТ 9450-76. Величина микротвердости рассчитывались по средней величине диагонали отпечатка d согласно формуле: $H=1,8544 \cdot P/d^2$

где, H -твердость по методу Виккерса (кгс/мм²), P -нагрузка (Н); d -диагональ отпечатки (мм).

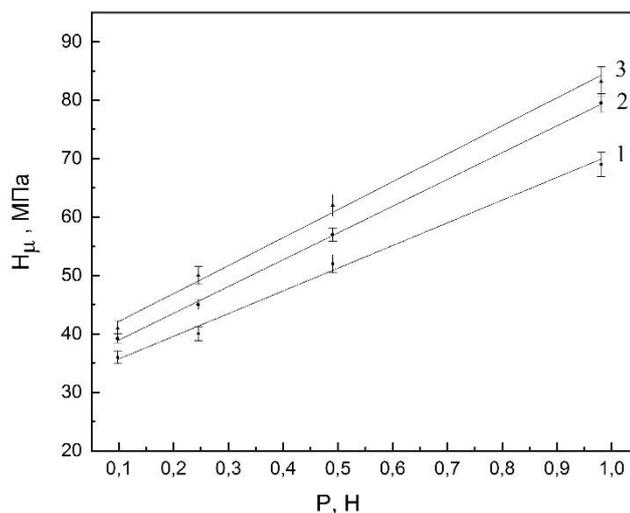


Рис. 1. Зависимость микротвердости облученного гамма-квантами поликетона от величины нагрузки: 1 – исходный (0 кГр); 2 – 1800 кГр; 3 – 3600 кГр.

Из рисунка видно, что при воздействии гамма облучения увеличивается приповерхностная и объемная микротвердость. Значения микротвердости при нагрузке 10 г увеличились на 14%, а при нагрузке 100 г на 20%, соответственно. Из этого можно предполагать, что увеличение микротвердости скорее всего связано с радиационным сшиванием макромолекул поликетона.

Таким образом, облучение поликетона гамма квантами до поглощенной дозы 3600 кГр приводит к увеличению микротвердости. Результаты механических свойств радиационно-модифицированного поликетона показывают, что поликетоны обладают более высокой радиационной стойкости по сравнению другими полимерами.

Исследование проводилось в рамках программы научно-исследовательских работ Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистана на 2020-2024 годы, по теме «Радиационно - стимулированные процессы при ядерной трансмутации легированного монокристаллического кремния» в лаборатории радиационной физики и техники твердотельной электроники.

1. Жорин В.А., Мухина Л.Л., Разумовская И.В. Микротвердость ряда полимеров после пластического течения под высоким давлением. Высокомолекулярные соединения, Серия Б, Т.40, №7, с.1209-1212, (1998).
2. Боровков В.В., Брискман Б.А., Дубровина А.С. и др. Радиационная стойкость органических материалов. Справочник. Энергоатомиздат, Москва, (1986).
3. Belov G.P., Novikova, E.V. Polyketones as alternating copolymers of carbon monoxide. Russ. Chem. Rev. 73, p.267–291, (2004)..
4. Lagaron J.M., Powell A.K., Davidson N.S. Characterization of the Structure and Crystalline Polymorphism Present in Aliphatic Polyketones by Raman Spectroscopy. Macromolecules, Vol.33, pp.1030–1035, (2000).
5. Бринкевич Д.И., Лукашевич М.Г., Просолович В.С., Харченко А.А., Вабищевич С.А., Вабищевич Н.В. Микротвердость пленок полиимида и полиэтилентерефталата, облученных гамма-квантами ^{60}Co . Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки, № 12, с.30-34, (2017).

РАДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ГИДРОКСИАПАТИТА

Иванов Д.В.^{1,2}, Байтимиров Д.Р.¹, Слесарев Г.П.¹, Наугольных В.Е.¹,
Конев С.Ф.¹

¹) УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН
E-mail: divanov1@gmail.com

RADIATION PROPERTIES OF SYNTHESIZED UNDER DIFFERENT CONDITIONS HYDROXYAPATITE

Ivanov D.V.^{1,2}, Baytimirov D.R.¹, Slesarev G.P.¹, Naugolnykh V.E.¹, Konev S.F.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

²) M.N. Miheev Institute of Metal Physics Ural Branch of Russian Academy of Sciences

The aim of the study is investigating of the formation mechanisms of radiation paramagnetic defects in synthesized carbonized hydroxyapatite. The response to ionizing radiation exposure was studied by the electron paramagnetic resonance method.

Исследование направлено на изучение механизмов формирования радиационных парамагнитных дефектов в искусственно синтезированном карбонированном замещенном гидроксиапатите (ГАП). ГАП, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, имеет способность к изоморфному замещению и обладает сорбционными свойствами к целому ряду катионов и анионов, в том числе к тяжелым металлам и радионуклидам [1], [2]. Исследования радиационных дефектов в синтетических ГАП проводятся достаточно давно, однако до сих пор не было выявлено, как условия синтеза влияют на структуру и радиационные свойства ГАП [3].

Был проведен синтез карбонированного ГАП путем осаждения из раствора гидроксида кальция с помощью ортофосфорной кислоты. pH раствора варьировался в диапазоне от 7 до 11, также проводилась карбонизация ГАП как с помощью CO_2 воздуха, так и пропусканием газа через раствор. Синтезированные высушенные образцы ГАП облучались дозами от 5 до 44 кГр, после чего регистрировался радиационно-индуцированный сигнал электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Было показано, что большинство исследованных образцов имеют слабый фоновый сигнал, который, однако, ничтожно мал по сравнению с радиационно-индуцированным, по форме идентичным тому, что наблюдается в биологическом гидроксиапатите. Было обнаружено, что наибольшую чувствительность к облучению имеет ГАП, синтезированный при pH=7 с пропусканием через раствор CO_2 .

Синтезированные таким способом образцы ГАП могут использоваться как дозиметры в высокодозовом диапазоне.

Исследование частично поддерживалось госзаданием «Спин» Г.р. № 122021000036-3

1. Н.А. Никитеева, А.В. Пасынкова, Л.А. Леонова, О.А. Лелюк. Гидроксиапатит как неорганический сорбент урана / XII Всеросс. НПК молодых ученых и студентов «Химия и химическая технология в XXI веке», ТПУ, Томск 2011, с. 130-132
2. Хрестенко Р.В., Рудин В.Н., Калмыков С.Н., Мелихов И.В. Взаимодействие нано-гидроксиапатита кальция с уранил-ионом // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. № 5. С. 52-57
3. Callens FJ1, Verbeeck RM, Naessens DE, Matthys PF, Boesman ER. The effect of carbonate content and drying temperature on the ESR-spectrum near $g = 2$ of carbonated calcium apatites synthesized from aqueous media. *Calcif Tissue Int.* 1991 Apr;48(4):249-59

ВЫСОКОСПИНОВОЕ СОСТОЯНИЕ ИОНОВ Fe В ГЕКСАФЕРРИТАХ SrFe₁₂O₁₉

Кантур И.Э.¹, Ярмошенко Ю.М.¹, Долгих В.Е.¹, Кузнецова Т.В.¹,
Живулин В. Е.², Винник Д. А.²

¹) Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.
E-mail: il.kantur@mail.ru

THE HIGH-SPIN STATE OF Fe IONS IN SrFe₁₂O₁₉ HEXAFERRITES

Kantur I.E.¹, Yarmoshenko Yu.M.¹, Dolgikh V.E.¹, Kuznetsova T.V.¹, Zhivulin V.
E.², Vinnik D. A.²

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Yekaterinburg, Russia

²) South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

The high-spin state of Fe ions was detected in SrFe₁₂O₁₉ by X-ray emission X-ray spectroscopy.

Основное состояние Fe в соединении SrFe₁₂O₁₉ представляет собой смешанную высокоспиновую конфигурацию 3d₄3d₅L, где значения L соответствует дырке на кислородном лиганде. Сильная примесь конфигурации 3d₅ возникает в результате понижения энергии шестикратного мультиплета из-за обменного взаимодействия 3p-3d электронов. Спектр флуоресценции Kβ распадается на интенсивную линию Kβ_{1,3} при энергии 7059 эВ и более широкую и слабую линию Kβ' при более низкой энергии, около 7042 эВ. Сателлит Kβ' отображает почти чистую антипараллельную ориентацию 3p дырки и спином 3d электрона. Ориентация спиновой остовой дырки относительно валентных электронов сохраняется при рентгеновском переходе. Появление Kβ' линии является однозначным доказательством существования незанятых уровней в Fe 3d плотности состояний со спином вверх. Спектр Kβ_{1,3} был получен при помощи лабораторного рентгеновского спектрометра с кристаллом SiO_x, изогнутым по методу Иоганна с радиусом R=130 см.

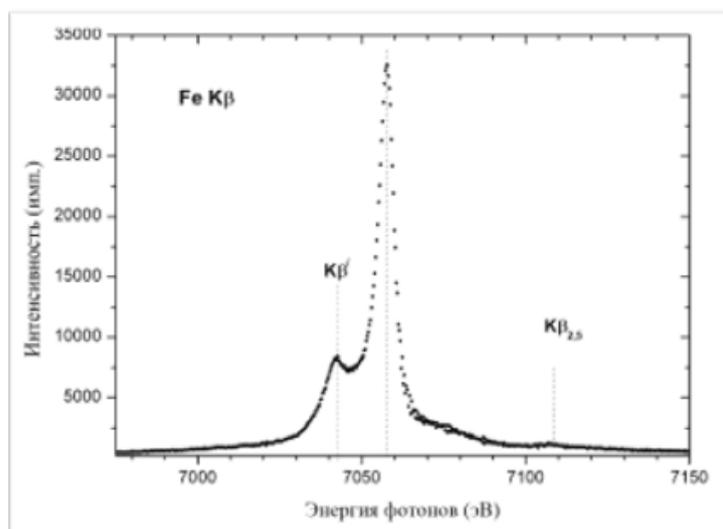


Рис. 1. Рентгеновский спектр Fe K β в соединении SrFe₁₂O₁₉

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 20-02-00541 А

1. de Groot, F. Chem. Re . 2001, 101, 1779
2. de Groot, F. M. F.; Glatzel, P.; Bergmann, U.; van Aken, P. A.; Barrea, R. A.; Klemme, S.; Havecker, M.; Knop-Gericke, A.; Heijboer, W. M.; Weckhuysen, B. M. J. Phys. Chem. B 2005, 109, 20751.
3. Vanko, G.; Neisius, T.; Molnar, G.; Renz, F.; Karpati, S.; Shukla, A.; de Groot, F. M. F. J. Phys. Chem. B 2006, 110, 11647

ПОКРЫТИЕ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЭФФЕКТА САЛЬВИНИИ

Капустин С.Н.¹, Цыкарева Ю. В.¹

¹) САФУ им. М. В. Ломоносова
E-mail: hare22@yandex.ru

CARBON NANOPARTICLE COATING INTENDED FOR REPRODUCING THE SALVINIA EFFECT

Kapustin S. N.¹, Tsykareva Y. V.¹

¹) NArFU after name of Lomonosov

The possibility of using the previously proposed anti-icing superhydrophobic coating based on mixtures of carbon nanotubes and carbon nanolubes is demonstrated not only to reproduce the Lotus effect, but also to reproduce the Salvinia effect.

В наших работах [1,2] было предложено использование ксерогеля на основе углеродных нанотрубок и углеродных нанолуковиц для воспроизведения эффекта лотоса [3]. Подобные покрытия могут применяться в качестве сверхгидрофобных и антиобледенительных. Особенностью предложенного покрытия было многообразие подходов к его применению, а также простота его нанесения. Большая пористость ксерогеля давала возможность усилить его антиобледенительные свойства за счет пропитки специальными лубрикантами, а высокая проводимость — усилить его антиобледенительные свойства за счет подогрева электрическим током.

В ходе изучения возможности применения данного покрытия для защиты металлических поверхностей от коррозии и кавитации, было обнаружено что оно так же хорошо воспроизводит эффект Сальвинии [4].

Эффект Сальвинии заключается в длительной стабилизации воздушного слоя на иерархически структурированной поверхности, погруженной в воду. Такие поверхности требуют чрезвычайно водоотталкивающей сверхгидрофобной поверхности и упругой волосистой структуры в миллиметровом диапазоне для улавливания воздуха при погружении. Такие покрытия предлагают использовать для снижения сопротивления движения в водной среде.

1. Eseev M.K., Goshev A.A., Kapustin S.N., Tsykareva Y.V. // *Nanomaterials*. 2019. V. 9. P. 1584–1597
2. Есеев М.К., Капустин С.Н., Лугвищук Д.С., Мордкович В.З., Лях Н.Л. // *Письма в журнал технической физики*, 2020, V. 22. p. 19-21
3. Y.Ebihara et al., *Sci. Rep.* 5, 2015, p. 15992
4. W.Bing et al., *Small Struct.* 2021, V. 2, p. 2100079

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КЕРАМИК ОКСИДА МАГНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СИНТЕЗА

Касаткина Я.П.¹, Ананченко Д.В.¹, Никифоров С.В.¹, Лисицын В.М.²,
Голковский М.Г.³

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

³) Институт ядерной физики, СО РАН, г. Новосибирск, Россия
E-mail: anakasatkina660@gmail.com

THERMOLUMINESCENCE OF MAGNESIUM OXIDE CERAMICS OBTAINED BY THE METHOD OF ELECTRON BEAM SYNTHESIS

Kasatkina Y.P.¹, Ananchenko D.V.¹, Nikiforov S.V.¹, Lisitsyn V.M.²,
Golkovskii M.G.³

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

³) Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

The luminescent properties of MgO ceramics synthesized by the electron beam method were investigated. The luminescence centers were identified in the samples. The TL curves and dose characteristics of TL peaks excited by a pulsed electron beam (130 keV, 1.5–60 kGy) were analyzed.

Одной из важных задач дозиметрии является измерение доз сильнооточных импульсных электронных пучков, которые могут составлять 1–500 kGy [1]. Перспективным материалом для высокодозной люминесцентной дозиметрии ионизирующих излучений являются керамики на основе оксида магния. Ранее исследовались дозиметрические свойства керамик MgO, полученных путем термохимического окрашивания наноструктурных компактов [2]. Синтезированные электронно-лучевым способом керамики MgO прежде не изучались.

Целью данной работы является исследование люминесцентных свойств керамик MgO, синтезированных электронно-лучевым методом, и оценка возможности их применения в высокодозной ТЛ дозиметрии.

Керамики были синтезированы в потоке быстрых электронов с энергией 1.4 MeV [3]. Для возбуждения ТЛ образцы облучались при комнатной температуре импульсным электронным пучком (60 A/cm², 2 ns) ускорителя «РАДАН ЭКСПЕРТ» с энергией электронов 130 keV. Доза облучения составляла 1.5 kGy за один импульс. ТЛ измерялась при линейном нагреве со скоростью 2 K/s с помощью ФЭУ-130 с областью спектральной чувствительности 200–600 nm и ФЭУ-142 с областью 112–365 nm.

Для идентификации дефектов, присутствующих в керамиках, были измерены спектры импульсной катодолюминесценции. Они содержали полосы свечения F

и F^+ -центров. Анализ кривых ТЛ показал, что в керамиках MgO наблюдается два пика при температуре 370 и 500 К. Пик ТЛ при 370 К является доминирующим и изолированным, что является преимуществом при дозиметрических измерениях. ТЛ глубоких ловушек при 500 К характеризуется более низкой интенсивностью.

Были исследованы дозовые характеристики ТЛ обоих пиков, измеренной с помощью разных ФЭУ в диапазоне доз 1.5–60 кГу. Установлено, что большинство из них носит сублинейный характер, коэффициент нелинейности принимал значения 0,44–0,98. Данные результаты показывают, что полученные керамики пригодны для высокодозной дозиметрии. Наилучшая линейность дозовой характеристики была получена для ТЛ пика при 370 К (ФЭУ-142) (рис.1). Видно, что в диапазоне доз 1.5–30 кГу коэффициент нелинейности k близок к 1 и равен 0.98.

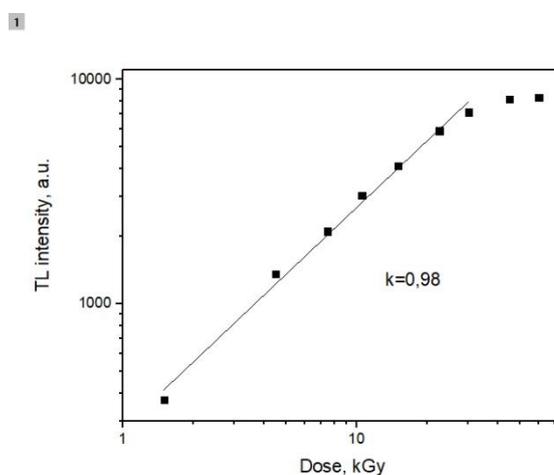


Рис.1. Дозовая характеристика пика ТЛ при 370 К (ФЭУ-142)

1. Никифоров С.В., Кортков В.С. Радиационно-индуцированные процессы в широкозонных нестехиометрических оксидных диэлектриках. Москва: ТЕХНОСФЕРА (2017)
2. Nikiforov S.V., Kortov V.S., Petrov M.O. Luminescent and dosimetric properties of ultrafine magnesium oxide ceramics after high dose irradiation. Radiation Measurements. V. 90, p. 252-256 (2016)
3. Полисадова Е.Ф., Ермолаев А.В., Лисицын В.М. Способ получения люминесцентной керамики методом электронно-лучевого синтеза. Сборник материалов всероссийской научнометодической конференции. С. 293–294. Томск (2020)

НЕТРИВИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ДВУМЕРНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛОВ СТАНДАРТНЫХ ГЕОМЕТРИЙ

Кашин И.В.¹

¹) Уральский федеральный университет
E-mail: i.v.kashin@urfu.ru

NON-TRIVIAL ELECTRONIC CONFIGURATIONS OF TWO- DIMENSIONAL FERROMAGNETIC CRYSTALS WITH STANDARD GEOMETRIES

Kashin I.V.¹

¹) Ural Federal University

In this work we numerically determine non-trivial trends in electron structure of 2D materials, which favors the ferromagnetic ordering. For this purpose we use local force theorem and genetic algorithm of optimization. It was found that the most stable FM crystals possess a moderate metallicity.

Магнетизм в двумерных и квазидвумерных материалах стабильно привлекает огромное внимание исследователей в силу значительно большей (по сравнению с объёмными кристаллами) чувствительностью ко внешним воздействиям. Контроль микроскопического состояния электрическим полем [1] и другими технологически реализуемыми средствами открывает широкий простор для построения на основе таких систем вычислительных устройств и модулей памяти нового поколения.

Однако класс двумерных магнетиков достаточно малочислен. Причина этого в том, что теорема Мермина-Вагнера [2] указывает на возможность термически стабильного магнитного упорядочения только при дополнении изотропных обменных взаимодействий анизотропными факторами. Поэтому построение физически адекватных моделей, способных прогнозировать магнетизм в еще не синтезированном материале, крайне затруднено.

Цель данной работы - произвести численный поиск нетривиальных тенденций в двумерных материалах стандартных геометрий (треугольная, квадратная, гексагональная решётка), способных стимулировать формирование дальнего ферромагнитного порядка. Для этого произвольный кристалл был представлен в виде своего гамильтониана, записанного в приближении сильной связи. В рамках приближения бесконечно малого спинового поворота [3] и среднего поля [4] температура магнитного перехода для каждого типа решётки была определена как функция параметров электронной структуры: орбитальных энергий электронов и интегралов межатомного перескока.

Для нахождения конфигураций этих параметров, соответствующих математическим максимумам этой функции, была применена модифицированная схема генетического алгоритма оптимизации, позволяющая в автономном режиме производить исчерпывающий поиск экстремумов. Так как рассматривались только интегралы перескока между ближайшими друг к другу атомами, количество варьируемых параметров было равно 60.

В результате были обнаружены 4562, 3797 и 1699 модельных материалов с треугольной, квадратной и гексагональной решёткой, соответственно. Анализ базовых характеристик найденных кристаллов позволил сделать оригинальный вывод, что ни один из традиционных взглядов на магнетизм - модель локализованных магнитных моментов Гейзенберга и зонная модель Стонера - не отражает реальных тенденций к формированию максимально устойчивого ферромагнитного порядка. На уровне спектра плотности электронных состояний наблюдаются вторичные (по отношению к главному пику) особенности вблизи уровня Ферми, что указывает на интенсификацию более сложных механизмов магнитного взаимодействия, таких как двойное обменное и сверхобменное взаимодействие. Выраженная несимметричность полученных матриц электронных перескоков говорит о возможности действительного индуцирования этих механизмов в реальных материалах путём механического растяжения или иных пространственно анизотропных внешних воздействий.

Результаты опубликованы в работе [5].

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-2578.2021.1.2.

1. S. Jiang, L. Li, Z. Wang et al., Nature Nanotech. 13, 549–553 (2018)
2. N.D. Mermin, H. Wagner, Phys. Rev. Lett. 17(22), 1133–1136 (1966)
3. A.I. Liechtenstein, M.I. Katsnelson, V.P. Antropov, V.A. Gubanov, J. Magn. Magn. Mater. 67(1), 65–74 (1987)
4. M. Hortamani, L. Sandratskii, P. Kratzer, I. Mertig, M. Scheffler, Phys. Rev. B 78, 104402 (2008)
5. I. V. Kashin, A. Gerasimov, E. V. Syrnikov, ArXiv 2112.15374 (2021)

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ $\text{Bi}_{2-x}\text{Cr}_x\text{Se}_3$ С $x=0.1, 0.3$ И 0.6

Хачатрян А.Ш.¹, Чарная Е.В.², Марченков В.В.^{3,4}

- ¹) Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия
²) Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
³) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
⁴) Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
 E-mail: maizr@yandex.ru

MAGNETIC PROPERTIES OF TOPOLOGICAL INSULATORS $\text{Bi}_{2-x}\text{Cr}_x\text{Se}_3$ WITH $x=0.1, 0.3$ AND 0.6

Khachatryan A.Sh.¹, Charnaya E.V.², Marchenkov V.V.^{3,4}

- ¹) A. F. Ioffe Physical Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
²) Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
³) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
⁴) M. N. Miheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

In this work, we have studied magnetic properties of $\text{Bi}_{2-x}\text{Cr}_x\text{Se}_3$ single crystals with $x=0.1, 0.3$ и 0.6 . The homogeneous distribution of dopants was justified by the energy-dispersive X-ray spectroscopy. Different types of magnetic phase transitions were observed in samples with various compositions.

Объемные монокристаллы дихалькогенидов висмута Bi_2Se_3 являются топологическими изоляторами (ТИ). Легирование ТИ переходными металлами может нарушить симметрию относительно обращения времени ТИ, что открывает возможность контролировать транспортную спиновую поляризацию, наблюдать топологический квантовый фазовый переход и квантовый аномальный эффект Холла.

С помощью СКВИД-магнитометра MPMS (SQUID-VSM) производства Quantum Design были исследованы магнитные свойства ТИ, легированные хромом $\text{Bi}_{2-x}\text{Cr}_x\text{Se}_3$ с $x=0.1, 0.3$ и 0.6 , выращенные методом Бриджмена-Стокбаргера. Тестирование поверхности монокристаллов производилось с помощью сканирующего электронного микроскопа методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS). Картирование поверхности продемонстрировало достаточно однородное распределение примесей хрома на поверхности кристаллов. Измерены полевые зависимости dc намагниченности в полях напряженностью до 70 кОе и температурные зависимости магнитной восприимчивости в режимах ZFC и FCC в диапазоне 2 – 300 К. Измерения производились в двух кристаллографических ориентациях образцов: $c \parallel H$ и $c \perp H$.

Образец $\text{Bi}_{1.99}\text{Cr}_{0.01}\text{Se}_3$ демонстрирует явный ферромагнитный порядок с четким, широким гистерезисом намагниченности. При увеличении концентрации хрома образцы $\text{Bi}_{2-x}\text{Cr}_x\text{Se}_3$ с $x=0.03$ и 0.06 демонстрируют антиферромагнитный переход с температурой Нееля примерно 77 K для обоих монокристаллов. Образец $\text{Bi}_{1.97}\text{Cr}_{0.03}\text{Se}_3$ имеет не только антиферромагнитную компоненту, но также демонстрирует свойства магнитомягкого ферромагнетика в широком диапазоне температур вплоть до 2 K . Образец $\text{Bi}_{1.94}\text{Cr}_{0.06}\text{Se}_3$ также является антиферромагнетиком с ферромагнитной компонентой, наблюдаемой ниже температуры 10 K , но с существенной коэрцитивной силой. В поле 50 kOe , температурная зависимость магнитной восприимчивости образцов описывалась законом Кюри – Вейса. Парамагнитные температуры Вейса отрицательны для всех образцов, а полученные значения эффективного спина указывают на смешанные валентные состояния хрома [1].

Исследования проводились с использованием оборудования Ресурсных центров Научного парка СПбГУ. Работа поддержана РФФ, грант 21-72-20038.

1. A. Sh. Khachatryan, et al., *Europhys. Lett.* 134, 47002 (2021).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНОСТИ НЕРВНЫХ КЛЕТОК АДАПТИРОВАННЫМ МЕТОДОМ РАВНОВЕСНОЙ ДИНАМИКИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Кашин И.В.¹, Хасанова А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: adelya031690@gmail.com

MODELING THE ELECTRICAL ACTIVITY OF NERVE CELLS USING THE PREDETERMINED EQUILIBRIUM DRIVEN DYNAMICS METHOD

Kashin I.V.¹, Khasanova A.S.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

The brain is a large neural network, where almost all neurons are used to perform any action. Using the method of predetermined equilibrium driven dynamics, an attempt is made to reconstruct the electrical activity of nerve cells.

Много лет, человечество всегда интересовал вопрос «устройства мозга». Благодаря ученым, мы знаем из каких отделов состоит мозг, и какие функции они могут выполнять. Долгое время мы считали, что определенная часть мозга выполняет конкретную функцию, но это оказалось мифом, мозг — это огромная нейронная сеть, где для выполнения любого действия используются почти все нейроны. Вследствие этого, появился новая проблема «моделирования мозга», а точнее его нейроструктуры. Ведь, реконструкция даже мозга мухи, сложна и объемна.

Используя метод заданной равновесной динамики [1], предпринимается попытка реконструкции электроактивности клеток. Симуляция электроактивности нервных клеток, будет достигаться путем воспроизведения динамики системы, с заранее заданным равновесным распределением и флуктуацией нормы, что должно привести к гомеостазу системы. Ожидается, что будет восстановлена картина электроактивности клеток, а также проведен анализ отклика модели на "раздражители".

1. I.V. Kashin, AIP Conf. Proc. **2313**, 030048 (2020)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЗЯЛОШИНСКОГО- МОРИЯ В ПРОВОДЯЩЕМ СИЛИЦИДЕ МАРГАНЦА, В РАМКАХ ПЕРВОПРИНЦИПНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кильметов А.Ю.¹, Кашин И.В.¹

¹) Кафедра Теоретической физики и прикладной математики, Уральский федеральный университет, ул. Мира 19, 620002 Екатеринбург, Россия.
E-mail: a_kilmetov@mail.ru

INVESTIGATION OF DZYALOSHINSKII-MORIYA INTERACTIONS IN CONDUCTIVE MANGANESE MONOSILICIDE, BASED ON AB INITIO MODELING

Kilmetov A. Yu.¹, Kashin I. V.¹

¹) Theoretical Physics and Applied Mathematics Department, Ural Federal University, Mira Street 19, 620002 Ekaterinburg, Russia.

In this work, we develop the theoretical approach for calculating the intensity of the Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interaction in insulators and apply it to calculate interaction in a conductive manganese monosilicide.

Известно, что в магнетиках сильное обменное взаимодействие определяет взаимную ориентацию соседних спинов, а более слабое спин-орбитальное взаимодействие может формировать сложные пространственные структуры на больших масштабах. Спиральные структуры возникают в силу отсутствия центра инверсии в кристаллической решетке. Их описывают на языке спиновой модели, путем введения взаимодействия Дзялошинского-Мория [1]. В данной работе рассматривается развитие существующего теоретический подход [2] для решения задачи расчета вектора Дзялошинского. В качестве проверки метода был выбран объемный кристалл MnSi, для которого уже имеются сведения об антисимметричном обменном взаимодействии [3]. На основе теоретической модели был разработан программный комплекс для проведения численных экспериментов. Было выполнено сравнение полученных данных и имеющихся экспериментальных результатов. Стоит отметить, что уже существуют другие способы теоретического описания взаимодействия Дзялошинского-Мория [4], поэтому также были показаны преимущества нашего метода.

1. I. Dzyaloshinskii (1958). "A thermodynamic theory of "weak" ferromagnetism of anti-ferromagnetics". *Journal of Physics and Chemistry of Solids*.
2. V. V. Mazurenko, Y. O. Kvashnin, Fengping Jin, H. A. De Raedt, A. I. Lichtenstein, and M. I. Katsnelson *Phys. Rev. B* 89, 214422 (2014)
3. C. Dhital, L. DeBeer-Schmitt, Q. Zhang, W. Xie, D. P. Young, and J. F. DiTusa. *Phys. Rev. B* 96, 214425 (2017).
4. K. V. Shanavas and S. Satpathy. *Phys. Rev. B* 93, 195101 (2016).

МОРФОЛОГИЯ И МИКРОСТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ $MgAl_2O_4:GRAPHENE$

Киряков А.Н.¹, Михайлович А.П.¹, Дьячкова Т.В.², Тютюнник А.П.²

¹) Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина

²) Институт химии твердого тела Уральского Отделения Российской Академии
Наук

E-mail: arseny.kiriakov@urfu.ru

MORPHOLOGY AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF $MgAl_2O_4:GRAPHENE$ NANOCOMPOSITES

Kiryakov A.N.¹, Michailovich A.P.¹, Dyachkova T.V.², Tyutyunnik A.P.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Solid State Chemistry of Ural Branch of Academy Science

Optically transparent $MgAl_2O_4:Graphene$ nanocomposite was synthesized by thermobaric pressing. As a result of the synthesis, the graphene plates are crushed without chemical interaction with the spinel matrix. The effect of graphene on the luminescent characteristics of the composite was found.

Графен активно используется как связующая добавка во многих конструкционных и функциональных материалах. Известно, что добавка графена увеличивает прочностные характеристики бетона, повышает износостойкость и эластичность многих полимеров, а также может быть использована как упрочняющий компонент многих карбоновых изделий [1, 2]. Целью настоящей работы являлось изучение влияния добавки графена на морфологические и структурно-оптические свойства нанокерамик $MgAl_2O_4$, синтезированных при термобарической обработке.

Наноконпозиты получены методом термобарического прессования смеси $MgAl_2O_4$ и графена при давлении 6 ГПа и температуре синтеза 600 °С. В работе был выполнен комплексный анализ рентгенограмм исходных материалов, а также синтезированного композита. Проведен СЭМ анализ поверхности и сколов композита, а также выполнена оценка спектров оптического поглощения.

Коллаж из СЭМ изображений с разным увеличением представлен на рисунке 1. Видно, что композит представляет собой безпористую структуру, сформированную из плотно упакованных наночастиц $MgAl_2O_4$. На верхних рисунках в матрице из наночастиц присутствуют тёмные включения, обусловленные по всей видимости наночастицами графена разной фракции. Крупные частицы, хорошо регистрируемые при приближении $\times 10.0k$ (верхний левый снимок) имеют неравномерное распределение по композиту, тогда как более мелкие частицы графена имеют равномерное распределение (верхний правый снимок). Графеновые

пластины характеризуются малой толщиной, в результате чего частицы, с размером меньше 100 нм плохо различимы.

Рентгенофазовый анализ синтезированных нанокompозитов показал присутствие как фазы шпинели ($MgAl_2O_4$, простр.гр. Fd3m), так и графитовой фазы (C – Graphite, простр. гр. R-3m). Наличие графитовой фазы скорее всего обусловлено присутствием стэков графеновых частиц в матрице. Малая концентрация графена не позволяет разрешить методом РФА наличие отдельных графеновых наночастиц.

Дополнительно выполнен анализ оптических характеристик нанокерамических композитов. Установлено присутствие собственных оптически-активных F и F+ центров, с характерными полосами поглощения при 5.3 и 4.75 eV соответственно. Помимо собственных центров присутствуют также примесные центры поглощения, интенсивность которых коррелирует с изменением концентрации примесного графена. Наличие дополнительных центров обусловлено формированием в результате термобарического синтеза квантовых точек графена с широким распределением по размерам. Ансамбль квантовых точек активно поглощает УФ спектральный диапазон с доминирующими переходами $\pi \rightarrow \pi^*$, $\sigma \rightarrow \pi^*$, где * - возбужденное состояние квантовой точки. Обсуждается возможный механизм оптических переходов (экситонный переход или наличие флюорофоров по краям) в квантовых точках.

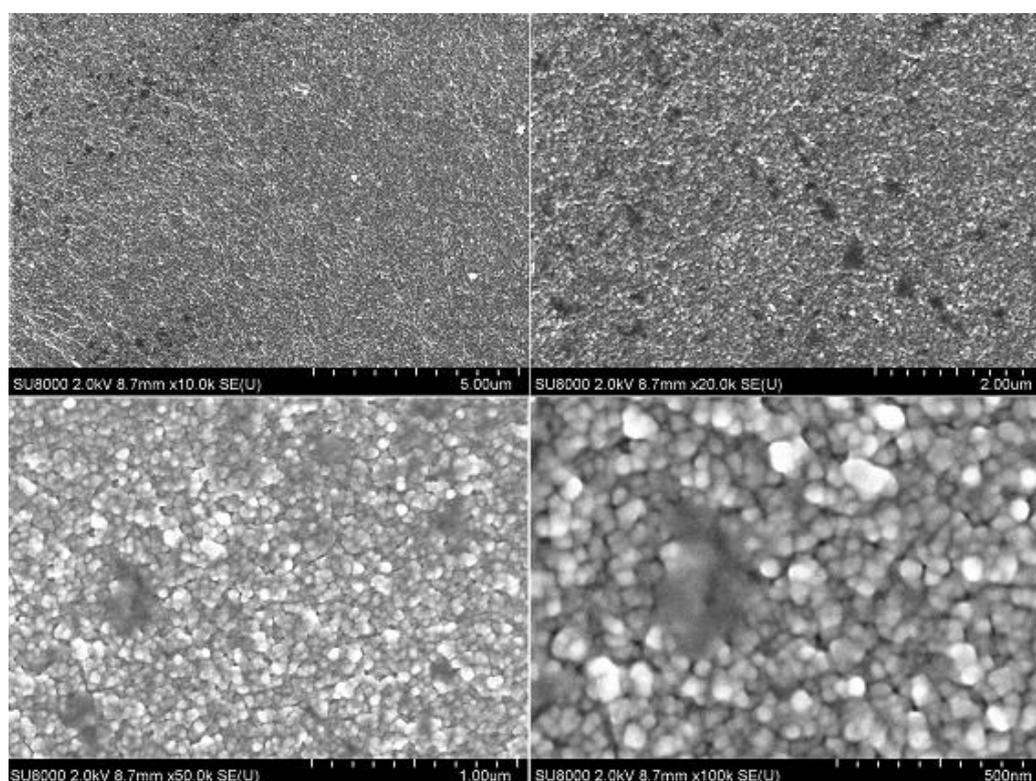


Рис. 1 – Коллаж СЭМ изображений нанокompозита $MgAl_2O_4$:Graphene полученных при разном приближении. Масштаб дан в нижнем левом углу каждого снимка.

Авторы выражают благодарность Отделу структурных исследований ИОХ РАН за СЭМ анализ поверхности образцов и НИЛ «физика функциональных материалов углеродной микро- и оптоэлектроники» за анализ оптоэлектронных свойств исследуемых объектов.

работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-42-660012), проекта FEUZ-2020-0059, а также проекта No. АААА-А19-119031890025-9

1. Devasena M., Karthikeyan J. Investigation on strength properties of graphene oxide concrete //Int. J. Eng. Sci. Invent. Res. Dev. – 2015. – Т. 1. – С. 307-310.
2. Das T. K., Prusty S. Graphene-based polymer composites and their applications //Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 2013. – Т. 52. – №. 4. – С. 319-331.

МАГНИТОУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПИРОХЛОРЕ $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$

Клековкина В.В.¹

¹ Казанский федеральный университет
E-mail: vera.klekovkina@gmail.com

MAGNETOELASTIC INTERACTIONS IN PYROCHLORE $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$

Klekovkina V.V.¹

¹ Kazan Federal University

Magnetic field dependences of the forced magnetostriction in PrZr single crystals are calculated. Opposite signs of the longitudinal and transversal parastriction in magnetic fields parallel to the rhombic and trigonal symmetry axes in PrZr and TbTi are revealed from our simulations.

Кристаллы редкоземельных (РЗ) оксидов со структурой пирохлора привлекают внимание исследователей широким разнообразием проявляемого ими магнитного поведения при низких температурах. В последние годы особый интерес вызывает цирконат празеодима $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ (PrZr). Развитые до настоящего времени модели электронной структуры ионов празеодима, связанных обменными и квадрупольными взаимодействиями, не описывают данные измерений даже в парамагнитной фазе [1]. Магнитоупругие взаимодействия играют важную роль в формировании магнитных свойств РЗ пирохлоров (см., например, [2]). В настоящей работе были проведены расчеты полевых зависимостей вынужденной магнитострикции PrZr, используя полученный нами набор параметров электрон-деформационного взаимодействия (ЭДВ), скорректированный путем анализа данных измерений полевых зависимостей вынужденной магнитострикции и температурных зависимостей упругих постоянных монокристаллов $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (TbTi) [3].

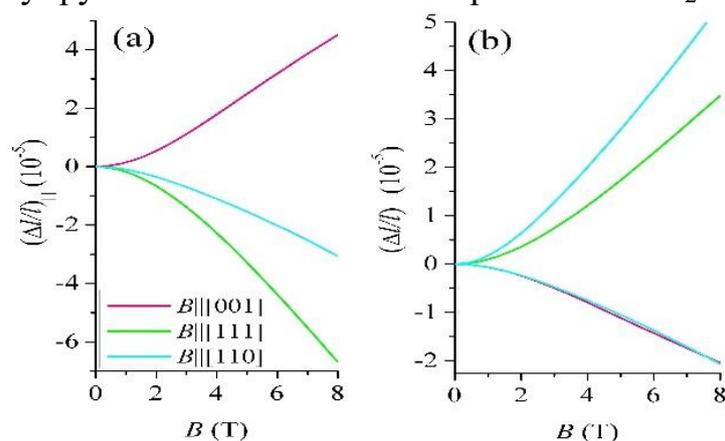


Рис. 1. Вычисленные полевые зависимости продольной (а) и поперечной (б) вынужденной магнитострикции монокристалла PrZr в магнитных полях, направленных вдоль кристаллографических осей, при температуре 4.2 К.

При низких температурах магнитные и магнитоупругие свойства кристаллов PrZr и TbTi определяются структурой волновой функции основного состояния РЗ иона (первое возбужденное состояние имеет энергию 17 К и 110 К для ионов Tb³⁺ и Pr³⁺, соответственно). Основным электронным состоянием ионов Tb³⁺ и Pr³⁺ в кристаллической решетке пирохлора является некрамерсов дублет. Вследствие разной структуры волновых функций основного дублета РЗ иона, эффективные параметры ЭДВ, определяющие взаимодействия РЗ ионов с деформациями решетки, преобразующимися по неприводимым представлениям E_g и F_{2g}, записанного в усеченном базисе основного дублета, оказываются не только существенно отличающимися по величине, но и по знаку (−538, 552 см^{−1} и 242, 1386 см^{−1} для Tb³⁺ и Pr³⁺, соответственно). Рассчитанные полевые зависимости магнитострикции для PrZr количественно (на порядок) и качественно отличаются от зависимостей для TbTi, полученных ранее [3,4]. В частности, продольная и поперечная деформации решетки в магнитных полях, приложенных вдоль тригональной и ромбической оси кубического кристаллах пирохлора, имеют разные знаки для PrZr и TbTi. Проведенные недавно измерения продольной магнитострикции вдоль тригональной оси [5] подтверждают полученные нами результаты. Дальнейшее исследование магнитоупругих свойств РЗ пирохлоров будет способствовать пониманию различий в их магнитных свойствах.

Автор выражает благодарность профессору Борису Залмановичу Малкину за ценные замечания.

1. Bonville P., Guitteny S., Gukasov A., Mirebeau I., Petit S., Phys. Rev. B, 94, 134428 (2016).
2. Xu Y., Man H., Tang N., Baidya S., Zhang H., Nakatsuji S., Vanderbilt D., Drichko N., Phys. Rev. B, 104, 075125 (2021).
3. Klekovkina V. V., Malkin B. Z., Optics and Spectroscopy, 116, 849 (2014).
4. Klekovkina V. V., Zakirov A. R., Malkin B. Z., Kasatkina L. A., J. Phys.: Conf. Ser., 324, 012036 (2011).
5. Tang N., Masaki G., www.merit.t.u-tokyo.ac.jp/merit/en/training/pdf/report/jihatsu_tangnan_eng.pdf, (2021).

ПРИМЕНЕНИЕ PEDD ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ХАОТИЧЕСКИХ СИСТЕМКлименко В.А.¹

¹ Уральский Федеральный Университет
E-mail: vladklim21@gmail.com

APPLICATION OF PEDD FOR CHAOTIC SYSTEM'S SIMULATIONKlimenko V.A.¹

¹ Ural Federal University

The aim of this work was to apply PEDD method in system of chaotic dynamics to solve problem of unstable solutions in this system due to small changes in initial conditions.

Численное моделирование физических систем является важной частью любого исследования. Проблема хаотических систем заключается в том, что при их описании классическими методами, а именно системами дифференциальных уравнений, возникает серьезная неустойчивость решений этих систем при незначительном изменении начальных условий, в то время как такое же малое изменение в реальной системе может не нести за собой столь серьезных последствий для динамики хаотической системы. В данной работе был применен метод PEDD для хаотических систем, для предотвращения этой проблемы и получения возможности приблизить хаотическое описание системы к тому, что происходит в реальности. Хаотическая система, которая была взята для изучения – это модель динамики экосистемы, состоящей из нескольких видов, конкурирующих за пищевые ресурсы. Данная модель описывается системой линейных дифференциальных уравнений. После компьютерного просчета данной модели было получено распределение в фазовом пространстве, а затем полученная картина была восстановлена с помощью метода PEDD.

1. Kashin I.V., AIP Conference Proceedings, 2313, 030048 (2020).
2. Зверев В.В., Регулярная и хаотическая динамика в системах различной природы, УГТУ-УПИ (2009)

МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$

Комарова В.А.¹, Носова Н.М.¹, Шерокалова Е.М.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: lera.komarova.200094@gmail.com

MAGNETOCALORIC EFFECT OF MAGNETICALLY ORDERED $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$ COMPOUNDS

Komarova V.A.¹, Nosova N.M.¹, Sherokalova E.M.¹

¹⁾ Ural Federal University, Institute of Natural Sciences and Mathematics,
Ekaterinburg, Russia

The structure and physical properties of $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$ were researched. It was found composition with a magnetic ordering temperature near room temperature and the obtained values of the change in magnetic entropy allow the consideration of this material as a promising object for practical application.

Соединение Fe_3Se_4 имеет слоистую моноклинную структуру (пространственная группа $I12/m1$), ионы селена и железа занимают чередующиеся слои вдоль оси c , при этом в элементарной ячейке в каждом втором слое Fe возникают вакансии. Такая особенность кристаллической структуры приводит к тому, что магнитные моменты на атомах железа, ориентированные ферромагнитно в слое и антиферромагнитно в соседних слоях, оказываются некомпенсированы. Ниже критической температуры $T \sim 320$ К в соединении Fe_3Se_4 формируется дальний ферромагнитный порядок. Также известно, что замещение железа другими 3d-элементами (M) позволяет существенно влиять на магнитные характеристики соединений $\text{Fe}_{3-x}\text{M}_x\text{Se}_4$ [1].

В данной работе представлены результаты исследования кристаллической структуры и физических свойств соединений $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$. Такие системы могут быть рассмотрены как перспективные магнитокалорические материалы, поскольку имеют удобную рабочую температуру (вблизи комнатной), легко синтезируются, химически стабильны и не содержат дорогостоящих элементов.

Соединения $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$ ($x = 0, 0.03, 0.5, 1$) получены методом твердофазного синтеза при температуре 800°C . С помощью рентгеноструктурного анализа исследована кристаллическая структура (дифрактометр Bruker D8 Advance), с помощью четырехзондового метода получены температурные зависимости электросопротивления, с помощью измерений на вибромагнитометре Lake Shore VSM 7407 исследовано поведение намагниченности в зависимости от величины магнитного поля и температуры.

Полученные соединения $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$ изоструктурны исходному соединению. При замещении железа на никель до $x = 1$ наблюдается анизотропное изменение параметров кристаллической решетки.

Температурные зависимости электросопротивления $\rho(T)$ для соединений $\text{Fe}_{3-x}\text{Ni}_x\text{Se}_4$ выше температуры магнитного упорядочения имеют вид, характерный для металлического типа проводимости, а значение ρ при комнатной температуре снижается на два порядка в сравнении со значением для исходного Fe_3Se_4 .

Анализ температурных и полевых зависимостей намагниченности показал, что соединения, как и исходный Fe_3Se_4 являются ферромагнетиками. Однако, температура магнитного упорядочения при замещении железа никелем существенно снижается и составляет $T \sim 290$ К при $x = 0.03$ и $T \sim 104$ К при $x = 1$.

Для соединения $\text{Fe}_{2.97}\text{Ni}_{0.03}\text{Se}_4$, с близкой к комнатной температурой магнитного упорядочения, был получен набор зависимостей $M(T)$ при различных значениях магнитного поля в интервале от 500 Э до 15 кЭ, которые в дальнейшем использовались для расчета изменения магнитной энтропии ΔS_M . Замещение по катионной подрешетке привело к повышению изменения энтропии, при $H = 15$ кЭ для $x = 0$ оно составило $\Delta S_M = 0.20$ Дж/К*кг, а для $x = 0.03$ составило $\Delta S_M = 0.22$ Дж/К*кг.

Работа подготовлена при финансовой поддержке ППК 3.1.1.1.г-20.

1. Regnard J.R., Chappert J. Délocalisation des électrons 3d dans les composés semi-métalliques MFe_2Se_4 avec $M = \text{Ti}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$ // Le journal de physique. – 1973. – V. 34. – P. 721–731. <https://doi.org/10.1051/jphys:01973003408-9072100>.
2. Komarek K.L., Wessely K. Die Systeme Nickel-Selen and Kobalt-Nickel-Selen // Monatshefte für Chem. – 1972. – V. 103. – P. 923–933. <https://doi.org/10.1007/BF00905165>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛАСТИН С РАЗЛИЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

Костин А.А.¹, Капустин С.Н.¹, Волков А.С.¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Лаборатория диагностики углеродных материалов и спиново – оптических явлений в
широкозонных полупроводниках г. Архангельск, Россия
E-mail: leiiiia.kostin.98@mail.ru

INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES OF SYNTHETIC DIAMOND PLATES WITH VARIOUS DEFECTS

Kostin A.A.¹, Kapustin S.N.¹, Volkov A.S.¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov " Laboratory for
diagnostics of carbon materials and spin-optical phenomena in wide-bandgap semiconduc-
tors, Arkhangelsk, Russia

Spectrometric studies of diamond plates with various defects and the use of IR spectrometry and impedance spectroscopy have been carried out. IR spectra and specific electrical conductivities were obtained.

Внедрение дефектов в структуры алмазных пластин приводит к изменению их механических, оптических и электрических свойств [1, 2]. Синтетические алмазы, являясь перспективным и инновационным материалом, особенно интересны для изучения и могут послужить для обновления и создания усовершенствованных технологий [4]. Алмаз занимает особое место среди широкозонных полупроводниковых материалов благодаря уникальному сочетанию высоких механических, тепловых и электрических свойств [3]. Примеси и дефекты создают в запрещенной зоне целый «спектр» локальных энергетических состояний. Помимо алмазов с включениями бора, являющихся полупроводниками с примесной проводимостью, кристаллическая структура алмаза богата своим разнообразием других дефектов. В каждом алмазе присутствует азот различной концентрации, вакансии, влияющие на физические свойства. Совокупность связей между атомами в кристалле алмаза классифицируется на множество видов дефектов.

В данной работе выбраны алмазные пластины с различными дефектами – А, С, В1, С, NV, НЗ, В [5]. Получение ИК-спектров осуществлялось с помощью спектрометра ФТ-801 при комнатной температуре в диапазоне волновых чисел от 1000 до 1500 см⁻¹. Частотные зависимости удельной электрической проводимости определялись с помощью импедансного спектрометра Novocontrol Concept 80 в частотном диапазоне 10⁻² - 10⁻⁷ Гц. Полученные спектры представлены на рисунке 1.

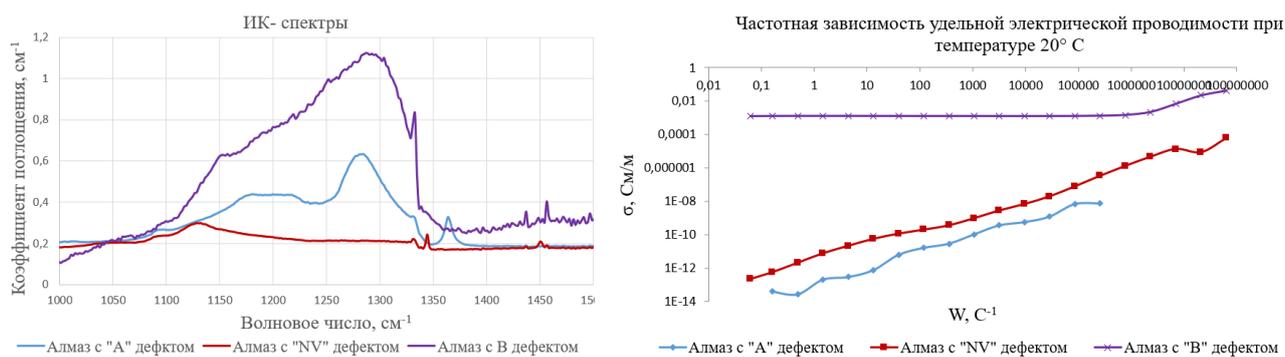


Рис. 1. Спектры ИК- и удельной электрической проводимости

Характер ИК-спектров и импедансных спектров определяется типом и концентрацией дефектов в структуре кристалла алмаза. По величине и характеру зависимости удельной электрической проводимости от частоты можно сделать вывод о диэлектрических или полупроводниковых свойствах алмазных пластин в зависимости от типа и концентрации дефектов.

1. A. Vdovichenko, N.M. Kuznetsov, V.G. Shevchenko, S. Belousov, E. Yudina, S. Chvalun The role of charge states in the self-organization of detonation nanodiamonds nanoparticles. Published 1 August 2020. Diamond and Related Materials
2. V.S Bormashov, S.A. Tarelkin, S.G. Buga, A.P. Volkov, A.V. Golovanov, M.S. Kuznetsov, N.V. Kornilov, D.V. Teteruk, N.V. Luparev. S.A. Terentev and V.D. Blank, Received October 5, 2016, THE STUDY OF STRUCTURE AND PROPERTIES PHYSICAL METHODS FOR STUDY AND CONTROL
3. Andreo Crnjac, Natko Skulan, Georgios Provatas, Mauricio Rodriguez-Ramos, Michal Pomorski and Milko Jaksic, Received: 29 April 2020; Accepted: 26 May 2020; Published: 29 May 2020, Electronic Properties of a Synthetic Single-Crystal Diamond Exposed to High Temperature and High Radiation
4. B.T. Webber, M.C. Per, D.W. Drumm, L.C.L. Hollenberg, and S.P. Russo (Received 10 July 2011; revised manuscript received 13 November 2011; published 5 January 2012. Ab initio thermodynamics calculation of the relative concentration of NV- and NV0 defects in diamond
5. A. M. Zaitsev Optical Properties of Diamond. Data Handbook

НАНОРАЗМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ, ВЫРАЩЕННЫЕ В АМОРФНЫХ МИКРОПРОВОДАХ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА ДЛЯ МАГНИТНЫХ СЕНСОРОВ

Козлов И.В.¹, Лукьянчук А.А.², Шутов А.С.², Разницын О.А.²,
Гудошников С.А.^{1,3}

- ¹) Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия
- ²) Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия
- ³) Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук (ИЗМИРАН), г. Троицк, Россия
E-mail: ilya_mephist@mail.ru

NANOSTRUCTURES CREATED IN COBALT-BASED AMORPHOUS MICROWIRES FOR MAGNETIC SENSORS

Kozlov I.V.¹, Lukyanchuk A.A.², Shutov A.S.², Raznitsyn O.A.²,
Gudoshnikov S.A.^{1,3}

- ¹) National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia
- ²) National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia
- ³) Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow, Russia

In this paper, we have focused on determination of the influence prolonged heat treatments of amorphous alloy on the processes of structural relaxation and thermally induced atomic regions formed up to 10 nm in size of the Co-Si-B system.

Объектом исследования являются аморфные ферромагнитные микропровода в стеклянной оболочке с металлической жилой состава $\text{Co}_{69}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{11}$ и диаметром порядка 30 мкм, изготовленные методом Улитовского – Тейлора. Данные микропровода интересны и с точки зрения общей теории магнетизма, как пример квазиодномерных магнетиков, и для целого ряда технических приложений при изготовлении миниатюрных высокочувствительных датчиков, магнитных меток и смарт материалов.

Магнитные характеристики микропроводов в значительной мере определяются их составом, структурно-фазовыми состояниями и внутренними закалочными напряжениями. При этом магнитомягкие свойства микропроводов могут быть существенно улучшены за счет специальной термообработки. Нами были разработаны методы термической обработки микропроводов с непрерывным мониторингом их электрического сопротивления и микроструктуры при использовании комплекса синхротронных исследований. Для определения в реальном времени структурно-фазовых состояний отрезков микропроводов на синхротронной станции мы использовали автоматизированную систему отжига и

контроля сопротивления образцов [1]. Это позволило обеспечить термообработку образцов микропроводов за счет Джоулева нагрева постоянным током и проводить непрерывное измерение и контроль его электросопротивления, а также структурно-фазового состояния в процессе нагрева. При контролируемой термообработке микропровода постоянным током, в нем были созданы различные наноразмерные структуры – кластеры разных типов и нанокристаллы различных форм и размеров. Наноструктуры были сформированы при длительной термообработке (40 часов) ниже температуры кристаллизации (порядка 400 °С). Указанные структуры детектировались с помощью методов атомно-зондовой томографии и просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Важно подчеркнуть, что кластеры могут образовываться не во всех аморфных сплавах. В нашем случае, они образуются в виде нескольких характерных по размеру фракций. Такая микроструктура отражает максимальную степень релаксации и является началом перехода сплава из вязкого состояния в хрупкое, которое одновременно детектируется и по изменению электросопротивления [2].

На Рисунке 1 приведена карта распределения кластеров и нанокристаллов состоящих из Co, Fe и B в образце-игле из микропровода системы $\text{Co}_{69}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{11}$, данные получены с помощью атомно-зондовой томографии. Видно, что образуются кластеры соединений типа CoB и CoSi. Сплав с кластерами характеризуется специфическими магнитными свойствами, обычно это увеличение магнитной проницаемости сплава, стабилизация границ доменов за счет их пиннинга кластерами, уменьшение шумов [3]. В настоящее время проводится характеристика магнитных свойств материала с такой «кластерной» структурой.

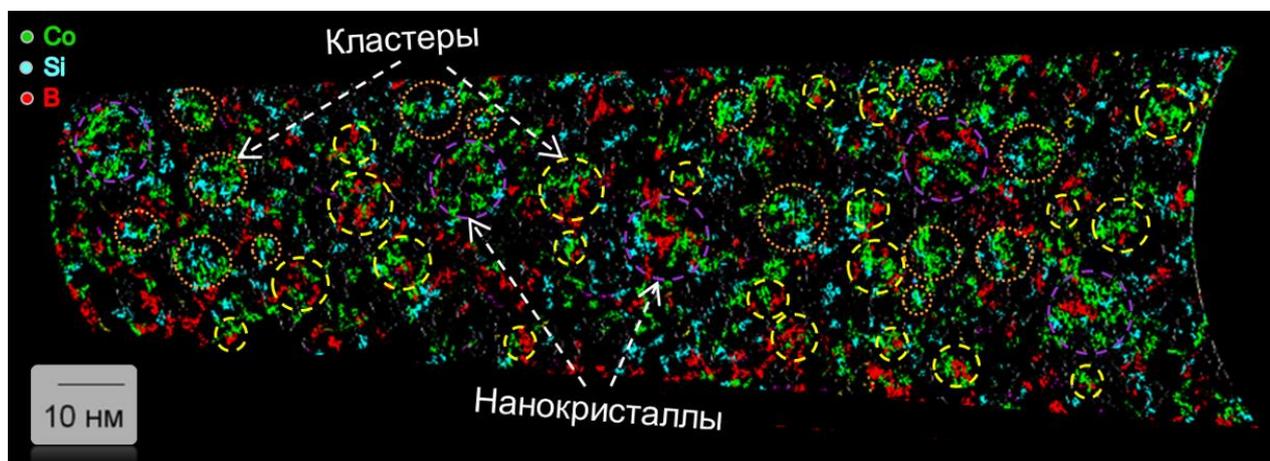


Рис. 1. Карта распределения наноразмерных структур на основе Co, Si, B в микропроводе. Кругами фиолетового цвета выделены нанокристаллы, а желтого и оранжевого цветов – кластеры CoB и CoSi

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку Российского научного фонда, грант 20-19-00607.

1. S.A. Gudoshnikov, V.I. Odintsov, B.Ya. Liubimov, S.A. Menshov, M.N. Churukanova, S.D. Kaloshkin, G.N. Elmanov, *Measurement* 182, 109783 (2021).
2. G.N. Elmanov, I.V.Kozlov, S.M. Irmagambetova, K.E. Prikhodko, R.D. Svetogorov, P.A. Chernavskii, A.A. Lukyanchuk, A.M. Shutov, O.A. Raznitsyn, V.P. Tarasov, S.A. Gudoshnikov, *J. Alloys Compd.* 872, 159710 (2021).
3. I.B. Kekalo, D.Z. Lubyanyi, P.S. Mogil'nikov, I.A. Chichibaba, *Phys. Met. Metallogr.* 116, 645–655 (2015).

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК As-Se, ЛЕГИРОВАННЫХ ИТТЕРБИЕМ

Мочалов Л.А.^{1,2}, Кудряшов М.А.^{1,2}, Логунов А.А.^{1,2}, Прохоров И.О.¹,
Вшивцев М.А.¹, Кудряшова Ю.П.¹, Малышев В.М.¹

¹) Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

²) Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

E-mail: mikhail.kudryashov1986@yandex.ru

PREPARATION AND PROPERTIES OF As-Se THIN FILMS DOPED WITH YTTERBIUM

Mochalov L.A.^{1,2}, Kudryashov M.A.^{1,2}, Logunov A.A.^{1,2}, Prokhorov I.O.¹,
Vshivtsev M.A.¹, Kudryashova Yu.P.¹, Malyshev V.M.¹

¹) Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

²) Lobachevsky University

The PECVD method was used for the synthesis of IR transparent As-Se chalcogenide films doped with Yb in the range of 1-8 at. %. As the Yb content increases, the optical band gap decreases from 1.84 to 1.32 eV. All samples exhibit photoluminescence at room temperature in the range of 960-1040 nm.

Халькогенидные материалы, легированные редкоземельными элементами, широко используются в электронике и оптоэлектронике в качестве новых источников инфракрасного (ИК) излучения, лазеров и усилителей. В частности, представляется возможным разработать гибридные волноводные широкополосные системы среднего ИК с обнаружением сигнала в видимом диапазоне, основанные на переизлучении с повышением частоты [1,2]. В качестве основной матрицы для таких устройств наиболее подходящими являются халькогенидные стеклообразные полупроводники, обладающие широким окном прозрачности (до 20 мкм) [3] и возможностью получения с разумными (меньше 2 дБ/см) потерями в ИК области.

В данной работе пленки системы As-Se, легированных иттербием, синтезированы осаждением из газовой фазы в условиях низкотемпературной неравновесной плазмы с использованием в качестве прекурсоров элементарных высокочистых мышьяка, селена и иттербия, а также исследованы структурные и оптические свойства полученных образцов. Температура источников мышьяка и селена поддерживалась постоянно 380 и 330 °С, соответственно. Температура источника иттербия варьировалась в диапазоне 600-700 °С. Рабочее давление составляло 0.1 Торр. При таком методе синтеза нет принципиальных ограничений по составу получаемых структур и количеству добавленных редкоземельных элементов.

Из анализа оптических эмиссионных спектров плазменного разряда можно предположить, что добавление иттербия в образец $As_{40}Se_{60}$ приводит к образованию сульфидов иттербия $YbSe$ и Yb_2Se_3 за счет замещения мышьяка. В случае легирования на уровне 1 ат. % структура поверхности пленки остается типичной для образцов $As_{40}Se_{60}$, полученных методом PECVD [4]. Увеличение содержания Yb до 5 ат.% приводит к увеличению шероховатости образцов. В случае 8 ат.% Yb , обнаруживаются поверхностные кластеры наибольших размеров одновременно с увеличением шероховатости поверхности. Увеличение концентрации иттербия в пленках приводит к сдвигу края поглощения в длинноволновую область. Величина ширины оптической запрещенной зоны рассчитывалась по методу Тауца. С увеличением содержания иттербия ширина оптической запрещенной зоны уменьшается с 1.84 до 1.32 эВ.

Возбуждение фотолюминесценции осуществляли лазером с длиной волны 785 нм. Как видно из рис. 1, все синтезированные образцы проявляют фотолюминесценцию при комнатной температуре в диапазоне 960-1040 нм, что относится к излучательным переходам Yb^{3+} из возбужденного состояния $^2F_{5/2}$ в основное состояние $^2F_{7/2}$. Хорошо известно, что интенсивность и положение этих переходов зависят как ближайшего окружения, так и от структурной матрицы материала [5]. С увеличением содержания иттербия в пленках наблюдается заметное уменьшение общей интенсивности люминесценции, что, по-видимому, связано с ее тушением из-за явления самопоглощения.

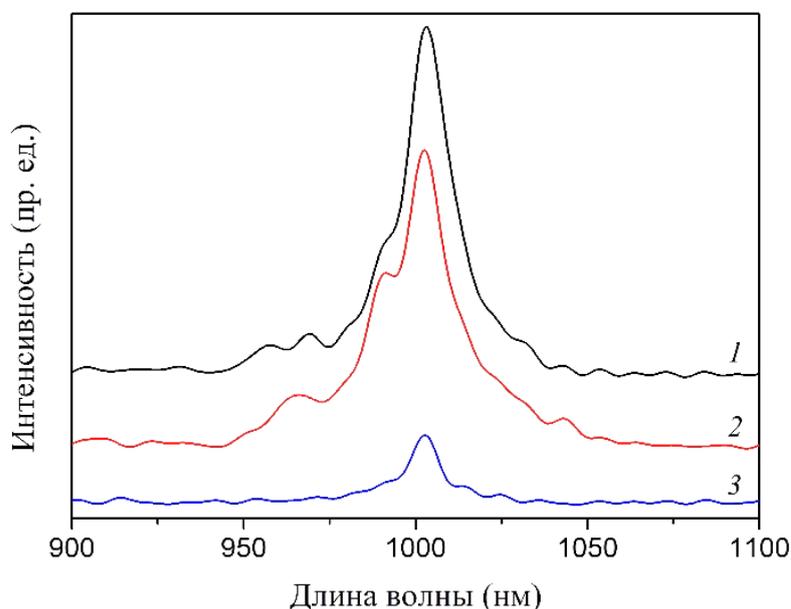


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции пленок $As_{39}Se_{60}Yb_1$ (1), $As_{37}Se_{58}Yb_5$ (2) и $As_{35}Se_{57}Yb_8$ (3).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-19-00459.

1. Adam J-L, Zhang X (2014) Chalcogenide glasses: preparation, properties and applications. Woodhead Publishing, Sawston, c. 704.
2. Galstyan A, Messaddeq SH, Skripachev I, Galstian T, Messaddeq Y (2016) Opt Mater Express 6:230.
3. Heo J (1995) J Mater Sci Lett 14:1014.
4. Mochalov L et al (2020) Plasma Chem Plasma Process 40:407.
5. Plesko E P and White W B (1994) J. Solid State Chem. 112:295.

ПОВЫШЕНИЕ СХОДИМОСТИ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ МОДЕЛИ ИЗИНГА ПРИ ПОМОЩИ PEDD

Кукушкин Д.Е.¹, Кашин И.В.¹

¹ Уральский федеральный университет
E-mail: dimoni546@gmail.com

IMPROVING CONVERGENCE OF THE MONTE CARLO METHOD FOR THE ISING MODEL USING PEDD

Kukushkin D.E.¹, Kashin I.V.¹

¹ Ural Federal University

The purpose of this work is to modernize the Monte Carlo algorithm for the Ising model, using the algorithm PEDD[1], to more effectively find the ground state of the system.

Численное моделирование физических систем различных типов и масштабов является важной частью теоретической физики.

Одним из типов моделей является - модель Изинга. Ее суть заключается в том, что на каждом узле ставится число. Из 2^n возможных вариантов расположения спинов записывается энергия, получающаяся из взаимодействия спинов. В простом случае сопоставляемые числа равны -1 $+1$, а взаимодействие спинов происходит между соседями.

Основное состояние модели Изинга - это состояние, при котором энергия модели минимальна. Для его нахождения можно перебрать все возможные состояния, но это займёт много времени, так что обычно применяют метод Монте-Карло (МК):

Берём произвольную конфигурацию.

Случайно меняем в нем проекцию одного из спинов.

Вычисляем энергию нового состояния.

Принимаем или не принимаем конфигурацию с вероятностью пропорциональной $e^{b\Delta E}$ где b - обратная температура, ΔE - разница энергий между новой и старой конфигурацией.

Переходим к пункту 2 и выполняем достаточное число итераций

В итоге получаем состояние близкое к основному. Проблема данного алгоритма заключается в медленной сходимости.

Алгоритм Predetermined equilibrium driven dynamics (PEDD) [1] позволяет решить данную проблему. Для модели Изинга это означает, что алгоритм PEDD будет осуществлять случайное равномерное блуждание по всем конфигурациям. Для его работы необходимо задать распределение, в наивной реализации это будет распределение по конфигурациям. Однако такой подход будет трудозатратным, поэтому можно использовать сверточное распределение по намагниченности. Также стоит отметить что w_i - неравновесное распределение, w_q -

равновесное распределение и оба нормированы на единицу. В качестве равновесного распределения возьмём распределение количества конфигураций по намагниченности.

В случае алгоритма МК это означает, что он будет выглядеть следующим образом:

Надо взять произвольную конфигурацию. Вычислить ее намагниченность и отметить её на неравновесном распределении.

Определить, какой из алгоритмов применять с определенной вероятностью: если PEDD то переходим к пункту 3, если МК то 7

Берём две конфигурации, в одной поворачиваем случайный спин вниз, другой вверх.

Для конфигурации рассчитываем недостатки по формуле $H_i = \sum ((w_q - w_i) * \Theta(w_q - w_i))$, где Θ - функция Хевисайда

Принимаем ту конфигурацию, которая удовлетворяет наименьшему значению недостатка. И записываем ее в неравновесное распределение.

После переходим к пункту 2.

Изменить в нем проекцию одного из спинов на один.

Вычислить энергию нового состояния. Саму конфигурацию записываем в неравновесное распределение.

Принять или не принять конфигурацию с вероятностью пропорциональной $e^{b\Delta E}$ где b - обратная температура, ΔE - разница энергий между новой и старой конфигурацией.

Переходим к пункту 2 и выполняем достаточное число итераций.

Комбинированный подход позволит улучшить сходимость метода МК, тем самым упростив получение результата.

1. I. V. Kashin, "Predetermined equilibrium driven dynamics", AIP Conference Proceedings 2313, 030048 (2020)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛАСТИНАХ МЕТОДАМИ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Кузив И.В.¹, Долгобородов Д.А.¹

¹) Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия.
E-mail: i-kuziv@yandex.ru

DETECTION OF DEFECTS IN SYNTHETIC DIAMOND PLATES BY POSITRON ANNIHILATION SPECTROSCOPY

Kuziv I.V.¹, Dolgoborodov D.A.¹

¹) Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

The main problem that limit the application of synthetic diamonds plates is the need to diagnose, analyze and control the level of defects in them. Vacancies and dislocations or impurities and substitutions affect the thermal, electromagnetic or quantum properties of the synthetic diamond plates.

Проведены исследования по определению дефектов в синтетических алмазных пластинах, выращенных по технологии НТНР используя метод температурного градиента. Была исследована серия синтетических алмазных пластин размерами 3x3 мм с высотой 0,5 мм и 1,5 мм, а также серия синтетических алмазных пластин произвольной формы.

Для определения наличия и типа дефектов, а также анализа концентрации дефектов использовалась позитронная аннигиляционная спектроскопия. Позитронная аннигиляционная спектроскопия представляет собой уникальный инструмент неразрушающего контроля, в основе которой лежит процесс аннигиляции. В качестве источника позитронов использовался ^{22}Na . Позитронная аннигиляционная спектроскопия может быть реализована тремя методами: методом измерения времени жизни позитронов, методом доплеровского уширения аннигиляционной линий, а также методом углового распределения аннигиляционных фотонов [1-3]. В исследовании использовались первые два метода. Метод доплеровского уширения аннигиляционной линий был реализован используя непосредственно источник позитронов, а также пучок позитронов с энергиями от 0 до 20 кэВ.

Первая часть эксперимента состояла в подготовке синтетических алмазных пластин. Вторая часть эксперимента состояла в исследовании среднего времени жизни позитронов в синтетических алмазных пластинах на спектрометре со сцинтилляторами на основе BaF_2 , а также в исследовании образцов на пучке позитронов методом доплеровского уширения аннигиляционной линии.

В результате эксперимента были изучены данные позитронной аннигиляционной спектроскопии, показывающие наличие дефектов, определяющие тип дефектов и концентрацию дефектов в образцах. Определены зависимости S параметра (валентный параметр аннигиляции, отражающий низкие импульсы электронов) от W параметра (параметр аннигиляции, который рассматривается в области высокого импульса спектра), а также зависимость S параметра от энергии пучка позитронов.

В ходе доклада будут подробно рассмотрены полученные данные.

Исследование выполнено при поддержке государственного задания Российской Федерации № FSRU-2020-0008.

1. I. Prochazka, Materials Structure, 8, 55-60 (2001).
2. P. Horodek, M. Eseev and A. Kobets, Nukleonika, 60, p. 721-724 (2015).
3. P. Horodek, A. G. Kobets, I. N. Meshkov, A.A. Sidorin and O.S. Orlov, Nukleonika 60, Iss. 4, 725–728 (2015).

ВЛИЯНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКИХ ДВУСЛОЙНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Ларина Е.А.^{1,2}, Бурмашева Н.В.^{1,2}

- ¹⁾ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация.
- ²⁾ Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация.
E-mail: larinakaterina@hotmail.com

THE INFLUENCE OF SHEAR STRESSES ON THE VELOCITY OF ISOTHERMAL FLOW OF VISCOUS TWO-LAYER FLUIDS

Larina E.A.^{1,2}, Burmasheva N.V.^{1,2}

- ¹⁾ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation.
- ²⁾ Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation.

The report presents the new exact solution of the Navier-Stokes equations for describing the isobaric flow of a viscous two-layer incompressible fluid, which layers have different properties (thickness, density, viscosity). The main attention is paid to the analysis of the velocity field.

На данный момент прогнозирование циркуляции вод Мирового океана остается одной из актуальных задач гидродинамики. Результаты исследования этой области важны в связи с обширным применением получаемых данных: при составлении карты течений, при добыче полезных ископаемых, при проектировании схемы расположения подземных кабелей и т.д. Основными причинами возникновения океанических течений являются климатические факторы. В частности, касательное напряжение ветра остается одним из самых распространенных факторов, не воздействующих на изменение свойств морской воды, но вызывающих их движение. В силу того, что ветровые течения определяются направлением преобладающих ветров, течения такого типа всегда являются поверхностными. К числу крупнейших ветровых течений относятся Северное и Южное Пассатные течения, течение Западных Ветров и др. Теория ветровых течений была разработана шведским океанологом В. Экманом, советскими учеными: геофизиком В. Б. Штокманом и океанологом П. С. Линейкиным, американцем Г. Стоммелом.

В докладе представлены результаты исследования решения краевой задачи, описывающей изотермическое течение двухслойной [1] вязкой жидкости, слои которой характеризуются различными геометрическими и физическими характеристиками (толщина слоя, плотность, вязкость). Течение происходит в

протяженном горизонтальном слое и индуцируется полем касательных напряжений [2], заданным на верхней границе этого слоя. Нижняя (твердая) граница полагается гидрофильной, в результате чего реализуется условие прилипания. На границе, общей для слоев рассматриваемой двуслойной жидкости, выполняется условие непрерывности скоростей и напряжений.

В рамках исследования было получено точное решение уравнений Навье-Стокса [3], описывающее нелинейные профили поля скорости в каждом из слоев для заданных граничных условий. Показано, что представленное точное решение способно описывать множественную стратификацию поля скорости и поля касательных напряжений. Кроме того, построенное точное решение обобщает ранее полученные исследователями результаты для однослойных вязких жидкостей при тех же граничных условиях (прилипание внизу слоя и известные (заданные) напряжения вверху слоя), поскольку может быть сведено к ним путем одновременного приравнивания вязкостей двух слоев друг другу и плотностей этих слоев.

1. Пешль Т., Эвальд П., Прандтль Л. Физика упругих и жидких тел. – М.-Л.: ГТТИ, (1933)
2. Седов Л. И. Механика сплошной среды. Том 1. – М.: Наука, (1970)
3. Темам Р. Уравнения Навье – Стокса. Теория и численный анализ. – 2-е изд. – М.: Мир, (1981)

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНВЕРТЕРЫ СВЕТА НА ОСНОВЕ МЕЗОГЕННЫХ В-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ

Лещёва А.А.¹, Зиятдинова Р.М.¹, Крупин А.С.¹, Галеева А.И.¹, Князев А.А.¹,
Галяметдинов Ю.Г.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
E-mail: starrfish51@gmail.com

EFFECTIVE LIGHT CONVERTERS BASED ON MESOGENIC B- DIKETONATE COMPLEXES OF EUROPIUM

Leshcheva A.A.¹, Ziyatdinova R.M.¹, Krupin A.S.¹, Galeeva A.I.¹, Knyazev
A.A.¹, Galyametdinov Yu.G.¹

¹) Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», Kazan, Russia

A Eu^{3+} mesogenic complex was obtained and demonstrated the possibility of its application as a efficient light converter. It was shown that it is possible to obtain photo- and thermally stable film light converters that effectively absorb in the visible region $\lambda=395\text{-}405$ nm.

В последние десятилетия соединения $\text{Ln}(\text{III})$ вызывают большой интерес во многих областях науки и техники благодаря своим уникальным фотофизическим свойствам. В первую очередь, это интенсивная монохроматическая люминесценция, высокий квантовый выход, большой Стоксов сдвиг и длительное время жизни, что определяет актуальность использования данных соединений для создания различных материалов и устройств молекулярной фотоники и электроники [1]. Несмотря на очевидные преимущества, одной из причин, ограничивающей применение соединений лантаноидов в качестве люминесцентных материалов является использование УФ источников для их возбуждения. Это обуславливает их дороговизну по сравнению со светодиодами, излучающими в видимой области спектра, низкую яркость и несовместимость с пластиковыми оптическими элементами.

В работе получен мезогенный комплекс $\text{Eu}(\text{CPDK}_{3.5})_3\text{Phen}$, исследованы его оптические свойства и показана возможность применения в качестве высокоэффективного конвертера света. Особенности строения комплекса (анизотропная геометрия, наличие длинных алкильных цепей в торцевых частях молекул) позволили на его основе путем стеклования из расплава при охлаждении между двумя кварцевыми подложками создать микроразмерные пленочные материалы. Полученная плёнка не деградирует под действием УФ излучения и является термостабильной [2]. В спектрах возбуждения растворов комплекса Eu^{3+} с увеличением концентрации происходит постепенное смещение максимумов в длинноволновую область, что свидетельствует об образовании J агрегатов [3]. Методом

динамического рассеяния света установлено, что для растворов с концентрацией 10^{-3} моль/л гидродинамический радиус агрегатов варьируется от 200-500 нм. Спектр возбуждения люминесценции микроразмерной застеклованной плёнки (при регистрации на длине волны 612 нм) близок к спектрам возбуждения концентрированных растворов и состоит из широкой полосы с максимумом на длине волны 398 нм (Рис. 1).

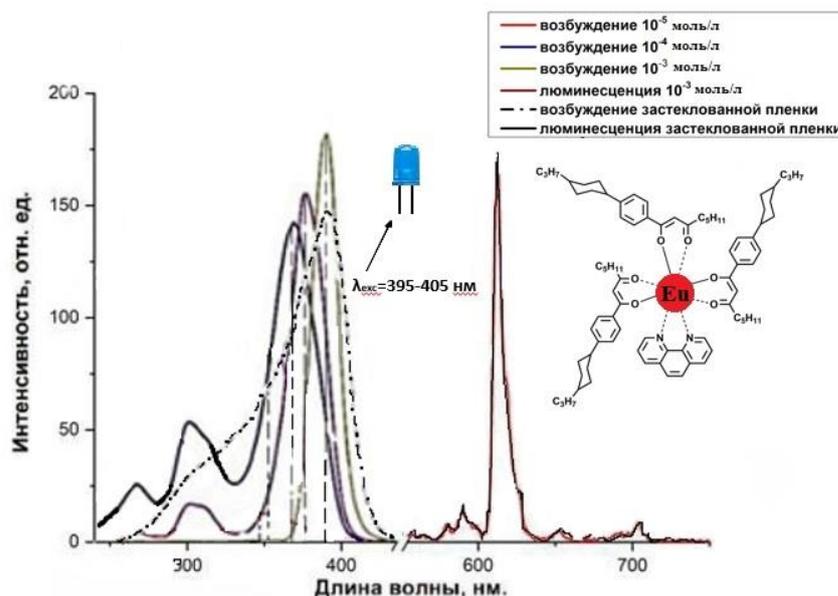


Рис. 1. Спектры возбуждения и люминесценции застеклованной пленки и растворов различной концентрации анизометричного комплекса $\text{Eu}(\text{CPDK3-5})\text{3Phen}$

Таким образом показано, что путем стеклования из расплава мезогенного комплекса Eu^{3+} можно получать фото- и термостабильные пленочные конвертеры света, эффективно поглощающие в видимой области света, с длиной волны $\lambda = 395-405 \text{ нм}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 18-13-00112

1. G. J. Kipouros and S. N. Flengas, J. Electrochem. Soc. 132, 1087–1098 (1985)
2. Lapaev D. V. et al. Influence of Chemical Structure on the Thermo-Sensitive Luminescent Properties of Vitrified Films Based on Anisometric Europium (III) Beta-Diketonate Complexes // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 85, 1377–1382 (2021)
3. L. L. Bricks Fluorescent J-aggregates of cyanine dyes: basic research and applications review. Methods and Applications in Fluorescence. 6, 1–8 (2018)

SHAPE TRANSFORMATION OF COPPER NANOPARTICLES IN WATER COLLOID DURING AGING

Lisjikh B.I.¹, Pryakhina V.I.¹, Shur V.Ya.¹

¹Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University,
Yekaterinburg, Russia
E-mail: boris.lisikh@urfu.ru

The shape transformation of copper nanoparticles in water colloid by the aging was demonstrated. Initial spherical nanoparticles synthesized by laser ablation of Cu target in water had been aged at temperatures in the range 25-85 °C. The aging temperature notably influenced the nanoparticles shape.

Copper oxides, Cu₂O and CuO, are semiconductors which widely studied because of their properties and applications. The properties of nanoparticles differ from bulk materials and the shape of nanoparticles correlates with their structure, chemical composition, and physical properties. Therefore, the synthesis of nanoparticles with different shapes and understanding of formation mechanisms are of importance for both fundamental and practical investigations. Laser ablation in liquid represents fast, simple, and green technique for nanoparticles synthesis comparing to chemical methods and the initial configuration allows to effect the obtained product [1].

Nanoparticles colloids had been synthesized by laser ablation of Cu target (99,995 %) in deionized water (Millipore Elix 10, Merck). The Cu target, placed into glass dish and covered by mm water layer, was scanned by Yb-pulsed wire laser using the laser marking system “MiniMarker2-M20” with following parameters: scan speed 274 mm/sec, line density 30 lines/mm, pulse frequency 21 kHz, wavelength 1064 nm, energy per pulse 1 mJ, pulse duration 100 ns, averaged power up to 20 W.

The drop of colloid was dried on polished silicon substrate to study nanoparticles morphology and composition. The nanoparticles shape and size were studied by scanning electron microscope Auriga CrossBeam WorkStation, Carl Zeiss. The composition of nanoparticles was investigated by using X-ray photoelectron spectrometer K-Alpha+, Thermo Fisher Scientific (Al K α , $h = 1436$ eV) and confocal Raman microscope Alpha 300AR, Witec. The optical absorbance of nanoparticles colloids was studied by double-beam spectrophotometer Cary 5000, Agilent.

Initial fresh-synthesized nanoparticles had spherical shape with diameter distribution 16 ± 7 nm. The initial nanoparticles had Cu@Cu₂O core-shell structure as Cu oxidized in oxygen presence. Prepared nanoparticles colloids were aged at different temperatures in the range from 25 to 85 °C. The increasing of temperature caused the acceleration of aging – the transformation time decreased from 1 week at 25 °C to ~90 min at 55 °C. The temperature during aging notably influenced the nanoparticles shape. As a result of aging at temperature from 25 to 35 °C nanoparticles had a near-spherical shape with complex surface and diameter increased up to 200 ± 40 nm. Whereas the aging at the temperatures in the range from 55 to 85 °C resulted in nanoparticles with

spindle-like shape with length 240 ± 60 nm, width 50 ± 14 nm, and aspect ratio 5 ± 1 . During the aging process nanoparticles composition had changed to CuO. Shape and composition transformation was accompanied by changes in colloid absorbance.

The work was supported by Russian Science Foundation (project 21-72-00116; <https://rscf.ru/project/21-72-00116>). The equipment of the Ural Center for Share Used «Modern Nanotechnologies» Ural Federal University (Reg. 2968) was used.

1. Zhang K., Ganeev R.A., Boltaev G.S., Guo C., Appl. Phys. A, 125, 1, (2019)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНИЛИЗОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ТЕПЛОВЫХ АККАМУЛЯТОРАХ НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

Логинова А.С.¹, Капустин С.Н.¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия
E-mail: loginova.a.s@edu.narfu.ru

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBES IN THERMAL ACCUMULATORS AT A PHASE TRANSITION

Loginova A.S.¹, Kapustin S.N.¹

¹Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, Russia

This paper presents research on the search for optimal conditions for heat conservation with the help of carbon nano-objects in heat accumulators at a phase transition.

Потребность людей в электрической и тепловой энергии растет год от года. Для удовлетворения этой потребности не обходимо уметь запастись её при получении из возобновляемых источников энергии в связи с непостоянством их мощности или при получении её из других непериодических источников тепла. Для этого удобно использовать тепловые аккумуляторы.

Так в работе [1] проводится экспериментальное исследование по повышению эффективности солнечного воздухонагревателя за счет использования теплового аккумулятора. Для повышения эффективности теплонакопления и теплоотдачи исследуют так же наномодифицированные теплоаккумулирующие материалы, управляемые магнитным полем [2].

В качестве материала, обладающего эффектом накопления энергии в фазовом переходе часто используют парафин в следствии его дешевизны. Однако он обладает недостатком — в твердой фазе его теплопроводность падает, что усложняет извлечение тепла из аккумулятора.

В работе [3] представлены экспериментальные результаты, которые демонстрируют увеличение теплопроводности парафина практически на 2 порядка при использовании графена. Схожее исследование [4] продемонстрировало возможности эффективного использования высокой солнечной радиации в Ираке для обогрева воздуха в комнатах и зданиях зимой. В этом исследовании одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) так же были добавлены к парафиновому воску.

Добавление углеродных наноматериалов увеличивает теплопроводность парафина и облегчает выведение тепла из теплового аккумулятора.

Для нашего исследования был использован парафин марки П-2 (ГОСТ 2336833), пищевой и углеродные нанотрубки - Таунит-МД. Парафин доводился до жидкого состояния в духовом шкафу BINDER до 65°C, затем при помощи ультразвуковой диспергации, диспергатором МФ 91.1 в него вводились различные концентрации углеродных нанотрубок. Теплопроводность была измерена при помощи прибора МИТ-1.

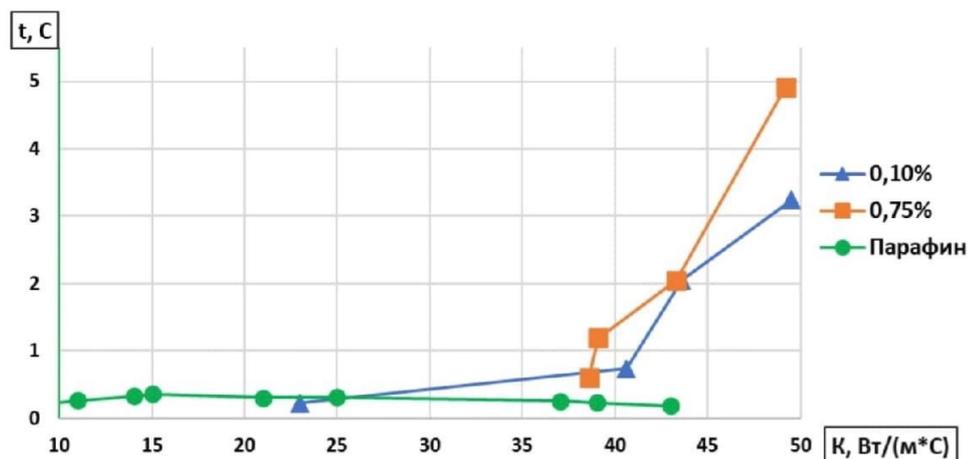


Рис. 1. Зависимость теплопроводности от температуры парафина с добавлением углеродных нанотрубок. ▲ - 0,1% углеродных нанотрубок в парафине ● – парафин без добавок, ■ – 0,75% углеродных нанотрубок в парафине.

В результате работы были получены предварительные данные, которые подтверждают повышение теплопроводности парафина при введении модифицирующей добавки. В дальнейшем будет набрана статистика по различным концентрациям, а так же исследованы эффекты от введения функционализированных УНТ. Мы предполагаем, что наличие функциональных групп позволяет нанотрубке активнее обмениваться фоновыми с окружающей средой, что еще более повышает эффективность добавки.

1. A. Khadraoui. Solar air heater with phase change material: An energy analysis and a comparative study .248-254 (2019).
2. Shchegolkov A.V. Yagubov V.S. Zorin A.S. Kobelev A.V. Heat-accumulating materials based on nanomodified paraffin controlled by a magnetic field (2018).
3. A. Khadraoui, Sami Kooli. Solar air heater with phase change material: An energy analysis and a comparative study (2016).
4. V. V. Makarova, S. Gorbacheva, A. V. Kostyuk, Composites based on neat and modified asphaltene and paraffin: Structure, rheology and heat conductivity.103595 (2021).

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ FE₂Ge С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

Майбах Е.А.¹, Кашин И.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
E-mail: maibah_lena@mail.ru

MODELING OF FE₂Ge COLLECTIVE MAGNETIC EXCITATIONS USING QUANTUM PERTURBATION THEORY

Maibakh E.A.¹, Kashin I.V.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

In this paper, low-energy collective magnetic excitations in FeGe are reproduced using quantum perturbation theory, formulated for XXZ model around Ising ground state. The results allow us to extract the helical period of spin spirals as well as other basic characteristics of such excitations.

На сегодняшний день одним из основным направлений исследований в области современной физики конденсированного состояния является экспериментальное наблюдение коллективных магнитных возбуждений, таких как спиновые спирали и более сложные топологические структуры - скирмионы.

Целью данной работы является реконструкция низколежащих коллективных магнитных возбуждений гелимагнетика FeGe на уровне квантовой теории возмущений, записанной для невырожденного уровня.

FeGe является типичным представителем соединений, в которых экспериментально регистрируются спиновые спирали. При низких температурах и нулевом магнитном поле данный материал является гелимагнетиком, характеризующимся длиннопериодными спиновыми спиралями [1].

Для воспроизведения таких спиралей на уровне единой квантовой модели необходимо учесть большое количество элементарных ячеек кристалла. В данной работе для решения этой проблемы применяется теория возмущений. Для этого базовая исходная модель Гейзенберга, описывающая квантовые изотропные обменные взаимодействия, представляется в XXZ варианте, где плоскостной и осевой магнетизм полагаются независимыми. Экспериментально известно, что плоскостной магнетизм в FeGe гораздо слабее, чем осевой [2].

Это означает, что мы можем построить традиционную квантовую теорию возмущений для невырожденного уровня вокруг основного состояния соответствующей модели Изинга. Это позволяет найти поправку не только к энергии, но и к собственному вектору. Стоит отметить, что при большом количестве спинов

вектор состояния невозможно удержать в памяти вычислительного комплекса, поэтому в данной работе он применяется в расчете средненаблюдаемых величин.

Результаты позволяют восстанавливать базовые характеристики спиновых спиралей на уровне спиновой модели при различных соотношениях интенсивности плоскостного и осевого магнетизма при ненулевых температурах.

1. G. Shirane, V.J. Minkiewicz, R. Nathans, Spin waves in 3d metals, *J. Appl. Phys.* 39 (1968) 383–390, <https://doi.org/10.1063/1.2163453>
2. Q. Niu, L. Kleinman, Spin-wave dynamics in real crystals, *Phys. Rev. Lett.* 80 (1998) 2205–2208, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.80.2205>

MAGNETIC PROPERTIES OF FENI FILMS DEPOSITED BY OBLIQUE SPUTTERING AT DIFFERENT GROWTH CONDITIONS

Makarochkin I.A.¹, Lepalovskij V.N.¹, Pasyunkova A.A.¹, Feshchenko A.A.¹,
Kurlyandskaya G.V.¹, Svalov A.V.¹

¹) Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University,
620002 Ekaterinburg, Russia
E-mail: makarochkin98@gmail.com

The role of the growth parameters in the formation of the magnetic anisotropy, domain structure and magnetization reversal of FeNi films was investigated. The conditions for thin films deposition with both maximum and minimum induced in-plane uniaxial magnetic anisotropy are determined.

Successful operation of magnetoelectronic devices requires thin magnetic films with both a high in-plane uniaxial anisotropy and isotropic ones [1,2]. Therefore, tailoring of anisotropy in magnetic thin films is important from both fundamental and practical points of view. Anisotropy can be induced in a magnetic film in many ways, for example, by oblique deposition [3] or by applying magnetic field during deposition [4]. On the contrary, substrate rotation during deposition weakens the anisotropy and can be used for preparation of isotropic films [5]. In this work, the role of the growth conditions in the formation of the magnetic anisotropy, domain structure and magnetization reversal was studied.

FeNi films were deposited by dc magnetron sputtering onto glass substrates at room temperature using a Fe₁₉Ni₈₁ target. The oblique deposition angle relative to the normal surface of the substrate was 35°. In this case, the deposition was carried out either on a rotating or non-rotating substrate with or without a constant magnetic field of 250 Oe applied parallel to the substrate plane during deposition. The thickness of the thin films was between 10 and 40 nm. The microstructure of the films was studied by X-ray diffraction technique. The magnetic properties of the samples were measured by a vibrating sample magnetometer and Evico Magnetics Optical Kerr microscope.

The strongest anisotropy in the films was induced in the case of deposition onto the rotating substrate in the presence of a magnetic field. Oblique deposition on a non-rotating substrate without a magnetic field not only generates weaker anisotropy, but also leads to an increase in the coercive force of the films. The weakest anisotropy was observed in the case of deposition on a rotating substrate without a magnetic field, but absolute isotropy in the film plane could not be achieved. These conclusions were made based on the analysis of both hysteresis loops and images of the domain structure (Fig. 1). Both of individual deposition parameters and their various combinations contribute to the magnetic properties of FeNi films. Obtained results can be useful for creating future spintronics applications.

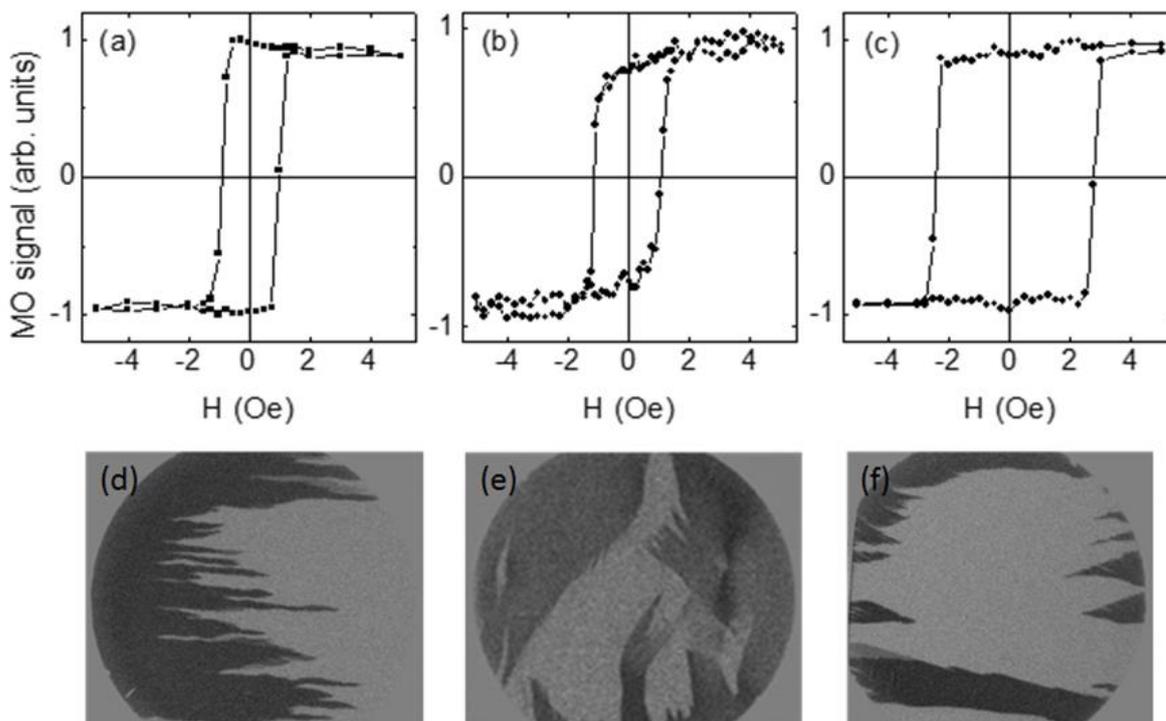


Рис. 1. Hysteresis loops and domain structure of FeNi films deposited onto a rotating substrate in the presence of a magnetic field (a,d), deposited onto a rotating substrate without magnetic field application (b,e), deposited onto a non-rotating substrate by the oblique deposition without magnetic

This work was financially supported by the Russian Science Foundation (RSF), project No. 22-29-00980.

1. Y. Fukuma, Z. Lu, H. Fujiwara, et al., *J. Appl. Phys.* 106, 076101-3 (2009).
2. J. B. Youssef, N. Vukadinovic, D. Billet, M. Labrune, *Phys. Rev. B.* 69, 174402-9 (2004).
3. S. V. Komogortsev, S. N. Varnakov, S. A. Satsuk, et al., *J. Magn. Magn. Mater.* 351, 104–108 (2014).
4. G. V. Kurlyandskaya, J. L. Muñoz, J. M. Barandiarán, A. García-Arribas, A. V. Svalov, V. O. Vas'kovskiy, *J. Magn. Magn. Mater.* 242-245, 291–293 (2002).
5. N. Chowdhury, S. Bedanta, *AIP Advances.* 4, 027104-6 (2014).

РАССЕЯНИЕ АТТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛАХ

Макарова К.А.¹

¹) Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: ksenya931408@yandex.ru

SCATTERING OF ATTOSECOND PULSES ON MULTI-ATOMIC MOLECULES

Kseniya Makarova¹

¹) Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. M.V. Lomonosov

In this work it is shown that the scattering theory of attosecond laser pulses differs from the scattering theory in the case of longer pulses. This approach is particularly important for scattering on multi-atomic molecules.

Развитие современной техники генерации ультракоротких импульсов электромагнитного поля (УКИ) позволяют наблюдать атомные и молекулярные явления в реальном масштабе времени [1]. Значительное количество работ посвящено процессам ионизации и возбуждения мишеней [1,2]. Теория рассеяния ультракоротких лазерных импульсов (УКИ) является основой дифракционного анализа вещества с использованием современных источников УКИ. В настоящее время особенности взаимодействия УКИ со сложными структурами разработаны недостаточно хорошо [3-5]. В целом исследования сосредоточены на особенностях взаимодействия УКИ с простыми системами, такими как атомы и простые молекулы. Здесь мы показываем, что при рассеянии аттосекундных лазерных импульсов на молекулах с многоатомной структурой, проявляется особенности взаимодействия УКИ. Полученные результаты отличаются от теории рассеяния непрерывного рентгеновского излучения в веществе. Если считать длительность импульса бесконечно большой, наш подход переходит в хорошо известную теорию рассеяния. Простота полученных выражений позволяет использовать их в дифракционном анализе. В качестве примера приведены спектры рассеяния аттосекундного лазерного импульса на нуклеотиде дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

Работа поддержана Грантом Президента РФ №МД-4260.2021.1.2., Российским фондом фундаментальных исследований, № 20-32-90239, государственным заданием РФ № FSRU-2021-0005 и № FSRU-2021-0008.

1. Krausz F., Ivanov M. Attosecond physics. Rev. Mod. Phys. 2009 V. 81, 163.
2. А.М. Zheltikov. The Raman effect in femto- and attosecond physics // Phys.Usp. 2011, V. 54, 29

3. Matveev V.I., Makarov D. N., Dynamics of electronic transitions and reemission spectra of attosecond electromagnetic pulses // JETP Letters, 2014, V. 99(5), 258-265
4. Makarov D., Kharlamova A, Scattering of X-ray Ultrashort Pulses by Complex Polyatomic Structures // Int. J. Mol. Sci. 2022. V. 23(1), 163.
5. Makarov D.N., Eseev M.K., Makarova K.A. Analytical wave function of an atomic electron under the action of a powerful ultrashort electromagnetic field pulse // Optics Letters. 2019. V. 44(12). 3042-3045.

УПРАВЛЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПОДВОДЕ ПРИМЕСИ

Маковеева Е.В.¹

¹) Кафедра теоретической и математической физики, лаборатория многомасштабного математического моделирования, Уральский федеральный университет, Екатеринбург 620000, Российская Федерация
E-mail: eugenyalm@gmail.com

SMOOTH OPERATION CONTROL OF THE CRYSTALLIZER WITH CONTINUOUS IMPURITY SUPPLY

Makoveeva E.V.¹

¹) Department of Theoretical and Mathematical Physics, Laboratory of Multi-Scale Mathematical Modeling, Ural Federal University, Ekaterinburg 620000, Russian Federation

In this study, a mathematical model describing the process of bulk crystal growth in a crystallizer filled with supersaturated liquid is formulated and solved. Solutions for stationary and non-stationary problems are obtained in analytical form. The solution allows controlling the crystal growth.

Данное исследование посвящено построению и дальнейшему решению математических моделей процессов роста кристаллов в пересыщенных растворах. Такие задачи находят практическое применение при производстве различных порошков, медицинских препаратов, а также в пищевой, химической и фармакологической промышленности. Все перечисленные процессы обычно протекают в лабораторных и промышленных кристаллизаторах, в которые можно добавлять примесь и отводить готовые кристаллы заданного размера. Для того чтобы обеспечить бесперебойный режим работы кристаллизатора, можно использовать определённые законы для подачи примеси. Выбор оптимального закона, а также изучение поведения математической системы, описывающей процесс, поможет сократить финансовые и временные ресурсы и позволит получить кристаллы продукта с заданными свойствами. [1,2].

В работе проанализирована математическая модель процесса бесперебойного режима работы кристаллизатора с учетом отвода кристаллов продукта и подвода примеси извне. Модель состоит из кинетического уравнения первого порядка для функции распределения частиц по размерам с учетом непостоянной скорости их отвода из системы. Вторым уравнением является уравнением баланса массы растворенного вещества в пересыщенном растворе кристаллизатора. Решение сформулированной интегро-дифференциальной системы получено на основе метода седловой точки для интегралов лапласовского типа. Построены стационарное и нестационарное решения указанной модели, которые в дальнейшем позволят управлять процессом работы кристаллизатора.

Фонд развития теоретической физики и математики "БАЗИС" [№ 20-1-5-82-1].

1. Vollmer U., Raisch J. H^∞ -Control of a continuous crystallizer //Control Engineering Practice. – 2001. – V. 9. – №. 8. – P. 837-845.
2. Hanhoun M. et al. Simultaneous determination of nucleation and crystal growth kinetics of struvite using a thermodynamic modeling approach //Chemical Engineering Journal. – 2013. – V. 215. – P. 903-912.

PHASE TRANSITIONS IN TERBIUM OXIDE NANOPOWDERS SYNTHESIZED BY LASER ABLATION UNDER VARIOUS BUFFER GASES

Maksimov R.N.^{1,2}, Platonov V.V.¹, Shitov V.A.¹, Yurovskikh A.S.²

¹) Institute of Electrophysics UrB RAS, Ekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: romanmaksimov@e1.ru

Synthesis of nanosized particles of terbium oxide by laser ablation under various buffer gases is reported. Influence of the gas composition (air, Ar, Ar+H₂) on the morphology, average particle size and phase evolution during heating up was investigated.

In recent years, ceramic materials based on terbium sesquioxide (Tb₂O₃) with a high Verdet constant have attracted considerable interest as promising magnetoactive media for Faraday isolators used in high-power near-IR laser technology [1,2]. The main difficulty in fabricating optical Tb₂O₃ ceramics is to ensure a strict stoichiometric ratio of TbO_{1.5} and a pore-free microstructure of the material at temperatures not exceeding the phase transition point of Tb₂O₃ from the cubic to the monoclinic structure (~1550 °C). In this case the sintering of the material to full density at such a low temperature becomes possible owing to the utilization of ultrafine powders exhibiting a high surface energy.

In this work we report on the synthesis of nanosized terbium oxide particles by the laser method which consists in ablation of a solid target by radiation from an ytterbium fiber laser followed by vapor condensation in a buffer gas flow. The effect of the buffer gas composition (air, Ar, Ar+H₂) on the morphology, average size and phase composition of the particles as well as the processes occurring during the heat treatment of nanopowders under oxidizing and neutral atmospheres was investigated. It was found that regardless of the composition of the buffer gas, the particles have a shape close to spherical and crystallize in the metastable phase since the diffraction patterns obtained at room temperature can be interpreted in terms of the well-known monoclinic B-modification of Tb₂O₃ with the space group C2/m and the following lattice parameters: a=14.03 Å, b=3.536 Å, c=8.717 Å, β=100.1° (ICCD PDF No. 01-074-2131). The characteristic particle size was found to be about 13 nm using transmission electron microscopy. According to the results of high-temperature X-ray diffraction analysis, when nanopowders are heated under vacuum a complete phase transition from the monoclinic modification of Tb₂O₃ to the cubic one (the closest entry ICCD PDF2 №00-021-1208) is observed at the temperatures above 1000–1050 °C and the onset temperature is about 750 °C, 850 °C and 850–900 °C for samples synthesized under air, argon and Ar+H₂ mixture, respectively.

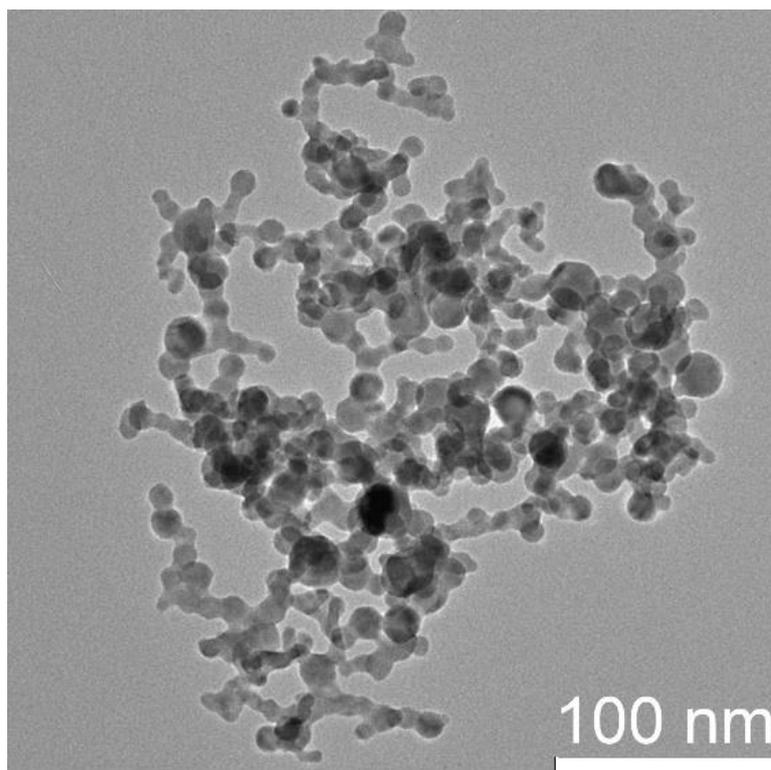


Рис. 1. TEM image showing the morphology of terbium oxide nanoparticles synthesized under Ar+H₂ buffer gas

The occurrence of the B→C phase transition in the temperature range of 600–800 °C is also confirmed by the appearance of exothermic peaks in the DTA curves during thermal treatment of nanopowders under Ar. In turn, upon calcination of nanoparticles in air regardless of the buffer gas composition the formation of C-Tb₂O₃ is accompanied by a rapid weight loss and occurs at ~905 °C as a result of endothermic reactions of the reduction of nonstoichiometric terbium oxides, which are observed in the powder sample again after cooling to room temperature. The obtained data on the phase composition of nanopowders and their thermal behavior are important for the development of sintering methods of Tb₂O₃ magneto-optical ceramics.

The reported study was carried out with the use of grant № 22-23-00658 of the Russian Science Foundation, <https://rscf.ru/en/project/22-23-00658/>

1. Ikesue A., Aung Y.L., Makikawa S., Yahagi A. *Materials*, 12, 421 (2019).
2. Snetkov I., Yakovlev A., Starobor A., Balabanov S., Permin D., Rostokina E., Palashov O. *Optics Letters*, 46, 3592 (2021).

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Nd-Fe-B, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Мальцева В.Е.¹, Уржумцев А.Н.¹, Андреев С.В.¹, Волегов А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики
E-mail: viktorija.maltseva@urfu.ru

MAGNETIC CHARACTERISTICS OF Nd-Fe-B 3D-PRINTED PERMANENT MAGNETS

Maltseva V.E.¹, Urzhumtsev A.N.¹, Andreev S.V.¹, Volegov A.S.¹

¹) Ural Federal University, Institute of Natural Science and Mathematics

Work is devoted to the study of additive manufacturing methods used for 3D-printing of permanent magnets, establishing the relationship between the magnetic hysteresis properties of samples of single-layer permanent magnets of the Nd-Fe-B system and conditions of their synthesis by SLS by experiment.

Магнитотвердые материалы и изготавливаемые из них постоянные магниты широко используются в современных технических устройствах. Помимо сложных высокоточных измерительных систем и приборов, постоянные магниты используются в электронных устройствах, которые окружают нас каждый день. В связи со стремлением уменьшить размеры устройств в целом, возникает необходимость существенной оптимизации постоянных магнитов и магнитных систем, используемых в таких устройствах. Технологии, разработанные за многие годы для получения магнитов, не всегда способны сохранить те же магнитные характеристики при уменьшении размеров магнитов, или магниты не могут быть сконфигурированы так, как это требуется при миниатюризации устройств. Одним из вариантов создания магнитов сложной формы без потери магнитных гистерезисных свойств является использование технологий аддитивного производства [1]. Целью данной работы является установление связи между условиями синтеза однослойных постоянных магнитов на основе соединения $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ методом селективного лазерного спекания магнитными и их гистерезисными магнитными свойствами.

Полученные образцы имеют форму квадратов, линейные размеры которых равны $10 \times 10 \text{ мм}^2$ и толщину менее 1 мм. Для 3D-печати использовалась механическая смесь двух порошков: MQR-B (производство Magnaquench Int.) и сплава легкоплавкой эвтектики $\text{Nd}_{75}(\text{Cu}_{0,25}\text{Co}_{0,75})_{25}$ в пропорции 80 – 20 % масс. соответственно. Сплавы измельчались посредством шаровой мельницы в этиловом спирте для предотвращения окисления порошков. 3D-печать осуществлялась посредством аддитивной системы селективного лазерного плавления Orlas Creator RA: в камеру построения вставлялась специально выточенная платформа из

латуни, на которой в выемке с глубиной 1 мм равномерно распределялся порошок. Латунь обеспечивала теплоотвод достаточный для спекания образцов и предотвращала прилипание сплавленного порошка к платформе.

Для получения оптимальных механических и магнитных свойств варьировались следующие параметры: мощность лазерного луча (P , Вт), количество проходов лазерного пучка по спекаемому образцу (N , раз), расстояние между последующим и предыдущим проходом лазерного луча (h , мкм), скорость движения лазерного луча (v , мм/с), направление прохождения лазерного луча (α , град.), диаметр лазерного пучка (d , мкм). Каждый параметр очень тесно связан с другими, поэтому варьировать приходилось сразу несколько различных. Все магнитные гистерезисные свойства были измерены при комнатной температуре посредством вибромагнетометра. Результаты измерений магнитов с наилучшими магнитными свойствами ($\mu_0 H_c \sim 1,2$ Тл) представлены на рисунке 1.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-72-10104.

1. Volegov A.S. et. al., Acta Materialia, 188, 733-739 (2020).

LOW-TEMPERATURE LUMINESCENT SPECTROSCOPY AND CHARGE TRANSFER PROCESSES IN NANOMETER DIELECTRIC FILMS OF HAFNIUM-ZIRCONIUM-OXYGEN

Mamonov A.A.¹, Sarychev M.N.¹, Gritsenko V.A.², Pustovarov V.A.¹

¹Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia

²Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS, 630090, Novosibirsk, Russia

E-mail: anton.mamonov2000@yandex.ru

Using the methods of low-temperature luminescent spectroscopy, charge transfer processes in nanometer dielectric films of solid solutions of hafnium-zirconium-oxygen were explored.

Nanometer films of $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ solid solutions on a silicon substrate with a high permittivity (high-k dielectrics) are explored. The $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ permittivity is greater than that of silicon oxide, which makes it possible to reduce the size of the RAM cell. These films have a ferroelectric effect, the ability to maintain a given polarization without an external field. Their use as a gate dielectric will increase the electric field strength in the conductive channel, which will improve the performance of MOSFET and flash memory. The results of initial studies show the real possibilities of creating new technologies in the area of controlled formation of nanostructures with desired properties [1]. Understanding the mechanisms of transport of charges, determining the parameters of their capture centers will create a physical basis for monitoring and controlling the parameters of elements based on high-k dielectrics.

The spectra of stationary cathodoluminescence (CL), their temperature dependence in the temperature range of 9-300 K, the decay kinetics of pulsed CL are explored, and a comparison with photoluminescent (PL) studies is made. The films were synthesized and certified at the Rzhanov Institute of Semiconductor Physics of SB RAS [1]. To research CL, a home-built electron gun with an energy range of 0.4-1.0 keV was developed and manufactured. The energy range was chosen from the conditions of complete energy absorption of exciting electrons in the volume of nm-films. A special power supply unit was manufactured. The electron beam (size of spot is 1.5 mm² at sample) was brought into a vacuum cryostat ($P=10^{-6}$ mbar). A closed cycle cryogenic station was used. Figure 1 shows the CL spectrum and, for comparison, the PL spectra upon differ exciting photons.

Both spectra exhibit the emission bans in regions of 250-320 and 350-500 nm. According to Ref. [2] the wide long-wavelength emission band is caused by anion vacancies in different charge conditions. The shot wavelength emission band corresponds to the emission of self-trapped excitons [3]. CL spectra show that electron beam excites a defect-related luminescence more intensively. The energy of electron beam has a stronger effect on the CL intensity than the beam current. This fact indicates a higher concentration of emission centers (anion vacancies) in the film volume.

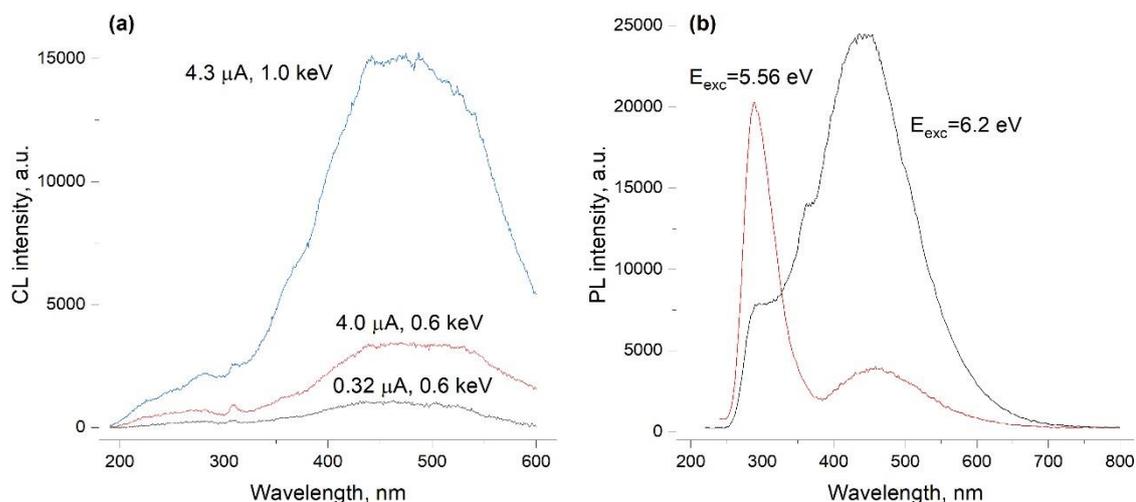


Figure 1. $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ film, $d=19.5$ nm: (a) – CL spectrum at $T=9$ K; (b) – PL spectra, $T=7$ K, the energies of the exciting photons are shown

The work was partially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (through the basic part of the government mandate, project No. FEUZ-2020-0060) and RFBR (project No. 20-57-12003).

1. D.R. Islamov, V.A. Gritsenko, T.V. Perevalov, V.A. Pustovarov, O.M. Orlov, A. G. Chernikova, A.M. Markeev, S. Slesazek, U. Schröder, T. Mikolajick, and G.Ya. Krasnikov. Identification of the nature of traps involved in the field cycling of $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ -based ferroelectric thin films, *Acta Materialia* 166 (2019) 47-55.
2. V.A. Gritsenko, T.V. Perevalov, *Physics of dielectric films: Atomic and electronic structure* / Ed. Gritsenko V.A. RZhanov Institute of Semiconductor Physics of SB RAS. Novosibirsk: Autograph (2015) - 234 p.
3. M. Kirm, J. Aarik, M. Jurgens, and I. Sildos, Thin films of HfO_2 and ZrO_2 as potential scintillators, *Nucl. Instr. Meth. A* 537 (2005) 251-255.

MULTICOLOR EMISSION IN Gd₂O₃ FILMS IMPLANTED WITH Bi IONS

Mamonov A.P.¹, Kuznetsova Yu.A.¹, Zatsepin A.F.¹, Gavrilov N.V.²

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

² Institute of Electrophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

E-mail: mammonov@bk.ru

Based on an analysis of Gd₂O₃:Bi absorption spectrum, the optical transparency gap for direct transitions was determined to be 5.9 eV. Photoluminescence spectrum measured under $E_{\text{exc}} = 5.9$ eV is shown.

Doping of Gd₂O₃ with lanthanide ions opens the wide possibilities to modify its key physical properties (especially luminescence). Bi-doped oxide materials usually exhibit essentially dissimilar electronic properties comparing with initial undoped hosts due to appearance of Bi³⁺-clusters and, hence, additional charge-transfer effects, electronic excitations, and radiative decay of Bi³⁺-related excited states [1]. Gadolinium oxide thin films doped with Bi ion are of interest as functional materials for planar devices of nanophotonics, optoelectronics, alternative energy, and systems of radiation conversion. In this work, we studied optical properties of Gd₂O₃ films implanted with Bi ion.

Initial Gd₂O₃ films were deposited on silica glass substrates using high-frequency (13.56 MHz) reactive magnetron sputtering method. The rate of sputtering and deposition time were 80 nm/h and 6 h, respectively, so the expected film thickness was 480 nm. Analysis of X-ray diffraction measurements shows that Gd₂O₃ film has an amorphous structure with small inclusions of monoclinic crystalline phase. Synthesized Gd₂O₃ film was implanted with bismuth ions at fluence of 5×10^{16} cm⁻².

Based on an analysis of Gd₂O₃:Bi absorption spectrum, the optical transparency gap for direct transitions was determined to be 5.9 eV. Photoluminescence spectrum measured under $E_{\text{exc}} = 5.9$ eV is shown in Figure 1. The emission spectrum has a complex form and is represented by the superposition of three bands with maxima at 1.8 eV (FWHM = 0.3 eV), 2.5 eV (FWHM = 0.5 eV), 2.9 eV (FWHM = 0.3 eV) in red, green and blue spectral ranges, respectively. The nature of observed emission bands is related with radiative transitions in different optical centers, namely single Bi²⁺ ions, (Bi³⁺-Bi³⁺) pairs and single Bi³⁺ ions [2, 3]. On the basis of optical transitions in Bi-related centers in Gd₂O₃: Bi film the energy conversion from ultraviolet to visible spectral range is realized.

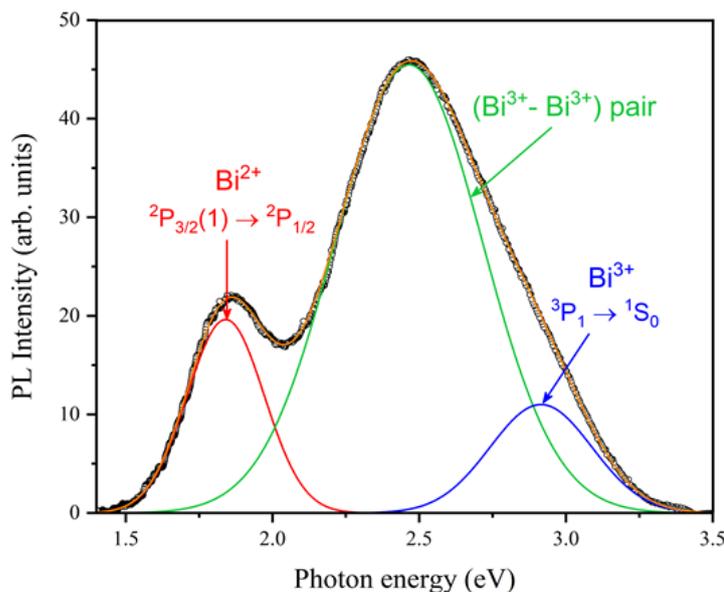


Рис. 1. Photoluminescence spectrum ($E_{exc} = 5.9$ eV) of $Gd_2O_3:Bi$ ($5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$) film. Dots represent experimental data; red, green, and blue bands indicated by arrows correspond to emission in single Bi^{2+} ion, $Bi^{3+}-Bi^{3+}$ pair and single Bi^{3+} ion, respectively

The work was supported by RSF (Project No. 21-12-00392) and RFBR (Project No. 20-42-660012).

1. P. Dang, D. Liu, G. Li, A.A. Al Kheraif, J. Lin. Recent Advances in Bismuth Ion-Doped Phosphor Materials: Structure Design, Tunable Photoluminescence Properties, and Application in White LEDs. *Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 1901993. <https://doi.org/10.1002/adom.201901993>.
2. P. Boutinaud. On the luminescence of Bi^{3+} pairs in oxidic compounds. *J. Lumin.* 197 (2018) 228-232. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.01.052>.
3. A.M. Srivastava, H.A. Comanzo. The ultraviolet and visible luminescence of Bi^{3+} in the orthorhombic perovskite, $GdAlO_3$. *Opt. Mater.* 63 (2017) 118-121. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.05.042>.

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА

Мартемьянов Н.А.¹, Ильяшенко И.Н.¹, Камалов Р.В.¹, Вохминцев А.С.¹,
Ищенко А.В.¹, Вайнштейн И.А.^{1,2}

¹) НОЦ НАНОТЕХ, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: n.a.martemianov@urfu.ru

FEATURES OF OPTICAL PROPERTIES OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE

Martemianov N.A.¹, Ilyashenko I.N.¹, Kamalov R.V.¹, Vokhmintsev A.S.¹,
Ishchenko A.V.¹, Weinstein I.A.^{1,2}

¹) NANOTECH Centre, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia

In this paper, the optical properties of graphitic carbon nitride samples synthesized from urea in the temperature range 450-600°C. are investigated. The PL(PCL) sample parameters were compared by parameters and synthesis modes and possible interpretations of the observed differences were proposed.

Интенсивные исследования в области получения новых фотокаталитических материалов включают изучение неметаллических композитов на основе полимерных модификаций нитрида углерода. Графитоподобный g-C₃N₄ обладает слоистой структурой, аналогичной графиту и являющихся полупроводником с шириной зоны около 2.7 эВ [1,2]. Структурные и электронные особенности позволяют использовать графитоподобный нитрид углерода в качестве катализатора для получения водорода путем разложения воды под воздействием естественного солнечного освещения, а также для очистки вод от различных органических загрязнителей. При этом оптический отклик g-C₃N₄ может проявляться также в виде собственной люминесценции, параметры которой существенно зависят от условий синтеза.

В работе изучены оптические свойства образцов g-C₃N₄, синтезированных методом термической полимеризации при температурах 450–600 °С и времени выдержки 30–180 мин. В качестве прекурсора использовалась мочевина. С применением рентгеноструктурного анализа установлено, что синтезированные образцы g-C₃N₄ кристаллизуются в орторомбической фазе.

Для синтезированных образцов изучены спектры диффузного отражения (СДО), фотолюминесценции (ФЛ) и импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) при комнатной температуре. На основе построения Тауца выполнены оценки ширины запрещенной зоны 2.78 – 2.83 эВ, которая формируется непрямыми разрешенными межзонными переходами.

Выполнено сравнение люминесцентной эффективности образцов от параметров и режимов их роста. Показано, что с увеличением температуры синтеза максимумы свечения незначительно смещаются в низкоэнергетическую область от 2.58 до 2.49 эВ (ФЛ) и от 2.69 до 2.61 эВ (ИКЛ). При этом смещение максимумов не наблюдается для образцов, различающихся только временем синтеза. После термообработки образцов на воздухе вплоть до температуры синтеза выявлено снижение интенсивности свечения. На основе проведенного литературного обзора и количественного анализа измеренных спектров предложены возможные интерпретации наблюдаемых различий в излучательных механизмах, которые реализуются в процессах ФЛ и ИКЛ для исследуемых структур g-C₃N₄.

Работа выполнена при поддержке научного проекта Минобрнауки FEUZ-2020-0059.

1. A. V. Zhurenok, T. V. Larina, D. V. Markovskaya et al., *Mendeleev Communications*, Vol. 31, № 2, P. 157-159, 2021.
2. Н. А. Мартемьянов, И. Н. Ильяшенко, И. Н. Байнов, *Физика. Технологии. Инновации* : сборник статей VIII Международной молодежной научной конференции, 2021, P. 189-197.

КВАНТОВО-КЛАССИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ

Матицев А.И.¹, Бунтов Е.А.¹

¹ Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: sasha_sz61@mail.ru

QUANTUM-CLASSICAL MOLECULAR SIMULATION OF THE LINEAR-CHAINED CARBON SYNTHESIS ON SILICON SUBSTRATE

Matitsev A.I.¹, Buntov E.A.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The aim of this work is the molecular dynamics simulation of the linear-chained carbon synthesis. Comparison of quantum-classical molecular dynamics methods: Simple, Force-based and Electrostatic.

Линейно-цепочечный углерод (ЛЦУ) представляет собой одномерный аллотроп углерода, который обладает рядом уникальных оптических и электронных свойств, которые делают его перспективным материалом для применения в электронике. Впервые ЛЦУ был синтезирован несколько десятилетий назад [1], и уже нашел несколько применений за счет своих уникальных свойств. Однако, синтез линейно-цепочечного углерода до сих пор является сложной технологической задачей. Причиной данной проблемы является крайняя нестабильность и химическая активность цепочек углерода.

Целью данной работы является изучение синтеза углеродных цепей на поверхности кремний с помощью молекулярной динамики. В ходе работы была создана симуляция осаждения различных углеродных молекул (C_2 , C_2H , C_2H_2 , CH , C_4H_2 , C_6H_2) на поверхность кремния. Было реализовано моделирование тремя методиками гибридной молекулярной динамики [2]: вычитающая (Simple), силовая (Force-based) и электростатическая (Electrostatic).

Все методики демонстрируют схожие результаты при моделировании короткой молекулы с ненасыщенной связью C_2H . Моделирование осаждения кластера C_2 дало качественно схожие результаты при использовании FQMMM и EQMMM, а в результате SQMMM не происходит разрыва углерод-углеродной связи. При моделировании длинных молекул (C_4H_2 и C_6H_2) три метода QM/MM предсказывают разные механизмы их разрушения.

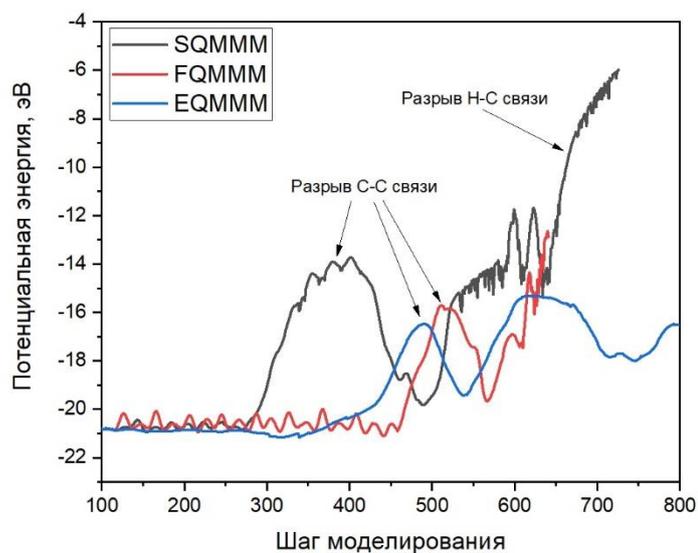


Рис. 1. График изменения потенциальной энергии во время моделирования осаждения C_2H_2 молекулы на поверхность кремния

1. Matitsev A.I., Buntov E.A., Zatsepin A.F., *Optical Materials* 115, p. 111021 (2021)
2. Pezeshki S., Lin H., *Molecular Simulation* 41, pp. 1-22 (2014)

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОДЕЛИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЛОВУШЕК

Мережников А.С.¹, Никифоров С.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: merezhnikov.artiom@gmail.com

ALGORITHM FOR DETERMINING THE KINETIC PARAMETERS OF THERMOLUMINESCENCE IN THE MODEL WITH THE DISTRIBUTION OF TRAPS

Merezhnikov A.S.¹, Nikiforov S.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A new algorithm for determining the kinetic parameters of thermoluminescence in the presence of a distribution of traps over activation energies and frequency factors has been developed. The novelty of the algorithm is the use of several error functions to reproduce many experimental curves.

Одной из актуальных задач анализа кинетики термолюминесценции (ТЛ) является определение кинетических параметров, при которых модель наилучшим образом воспроизводит экспериментальные кривые. Как правило, кривая ТЛ является сложной и может состоять из нескольких пиков. Для расчета таких кривых используются модели ТЛ с распределением ловушек по энергиям активации и частотным факторам. При этом распределение параметров может быть неизвестным, и его необходимо определить, решая задачу оптимизации. В таких задачах вводят функцию ошибки, которая характеризует различие между экспериментальной и теоретической кривыми. В общем случае для получения теоретической кривой необходимо решать систему дифференциальных уравнений, что сильно усложняет задачу поиска параметров модели с точки зрения необходимых вычислений. Для упрощения задачи оптимизации распределение параметров можно дискретизировать, а итоговую кривую ТЛ описать суммой кривых, соответствующих кинетике первого порядка [1]. Для более надежного определения параметров распределения ловушек необходимо использовать экспериментальные кривые, полученные при различных условиях (скорость нагрева, длительность отжига, доза облучения и так далее). Это требует разработки усовершенствованного подхода к решению задачи оптимизации.

Целью данной работы являлось разработка алгоритма поиска кинетических параметров для модели ТЛ с учетом распределения ловушек по энергии активации и частотному фактору.

В основе алгоритма лежало использование модификации метода градиентного спуска [2]. Новизна предложенного алгоритма заключается в следующем. Во-первых, вместо одной функции ошибки использовалось несколько (на каждую экспериментальную кривую и их сумму). Градиент суммарной функции ошибки использовался для определения параметров модели, которые соответствуют неизменным свойствам материала (энергии активации, частотные факторы). Остальные функции ошибки использовались для определения параметров, характеризующих текущее состояние материала: заселенность уровней энергии. Во-вторых, вместо расчета переменного шага изменения параметров в соответствии с формулой для градиентного спуска параметры изменялись с постоянным шагом, знак которого определялся градиентом функции ошибки. Такой подход позволяет лучше контролировать устойчивость решения, особенно в условиях, когда модель обладает сильно отличающейся чувствительностью к значениям параметров.

Прототип реализации алгоритма разработан на языке Python. Для демонстрации в качестве простого примера использовалась модель ТЛ с тремя ловушками. Для наглядности вместо экспериментальной кривой была рассчитана теоретическая (целевая) кривая, имитирующая экспериментальную. Она использовалась в качестве входных данных для программы. Результат работы алгоритма приведен на рисунке. Как видно из рисунка, кривая, рассчитанная с помощью предложенного алгоритма, полностью совпадает с целевой кривой.

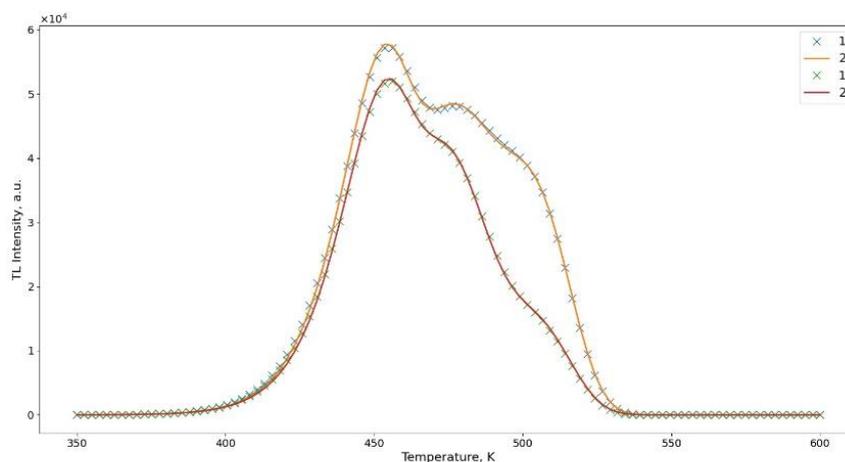


Рис. 1. ТЛ кривые в рамках модели с тремя ловушками. 1 – целевые кривые, 2 – решение, полученное при помощи алгоритма.

1. Chen R. and Kirsh Y. Analysis of Thermally Stimulated Processes in Solids. Oxford: Pergamon (1981).
2. Ruder, S. An overview of gradient descent optimization algorithms. ArXiv Preprint ArXiv:1609.04747 (2016).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОТЕЧЕНИЙ ГАЗА

Михеева В. М.¹, Токманцев В. И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: verushkam@bk.ru

NUMERICAL SIMULATION OF GAS MICROFLOWS

Miheeva V. M.¹, Tokmantsev, V. I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia Institute of Physics and Technology

The development and application of micro devices designed to control highly nonequilibrium gas flows and having characteristic dimensions comparable to the average free path in gas require fundamental research aimed at identifying the features of the processes occurring in them.

Разработка и применение микроустройств, предназначенных для управления сильно неравновесными газовыми потоками и имеющих характерные размеры сравнимые со средней длиной свободного пробега в газе, требуют проведения фундаментальных исследований, направленных на выявление особенностей протекающих в них процессов. В силу миниатюрности, применение многочисленных экспериментальных исследований крайне затруднительно или даже невозможно [1]. Учитывая это, особое значение приобретают методы математического моделирования, основанные на численном решении кинетического уравнения Больцмана.

Целью данной работы является исследование истечения струи одноатомного газа с произвольной, в том числе, сверхзвуковой скоростью из микросопла в пространство, заполненное произвольно разреженным газом.

При моделировании использовалось нестационарное кинетическое уравнение Больцмана в форме Бхатнагара-Гросса-Крука для неравновесной осесимметричной функции распределения по координатам и молекулярным скоростям. Решение уравнения методом дискретных скоростей позволяет найти указанную функцию распределения в произвольной точке пространства в любой момент времени от начала процесса истечения до установления стационарного состояния, построить распределения по углам и модулю молекулярной скорости, а также вычислить все макроскопические характеристики процесса.

1. Но, С.-М. Micro-electro-mechanical systems (MEMS) and fluid flows / С.-М. Но, Y.-С. Tai // Annual Review of Fluid Mechanics
2. Черемисин, Ф. Г. Решение кинетического уравнения Больцмана для высоко-скоростных течений / Ф. Г. Черемисин // Ж. вычисл. матем. и матем. физ.

3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КОНКУРЕНЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ АНИЗОТРОПИИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

Минькова А.В.¹, Прудников П. В.¹

¹) Омский государственный университет имени Ф.М. Достоевского
E-mail: minkovaav@stud.omsu.ru

INVESTIGATION OF THE COMPETITION EFFECTS FOR DIFFERENT TYPES OF ANISOTROPY ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF MULTILAYER STRUCTURES

Minkova A.V.¹, Prudnikov P.V.¹

¹) Dostoevsky Omsk State University

The effect of two competitive types of anisotropy - single-ion and easy-plane anisotropy - in a Co/Cu/Co multilayer magnetic structure has been studied. The simulation was carried out by Monte Carlo methods. The temperature and field behavior is studied for various values of anisotropy parameters.

Магнитные свойства ультратонких пленок обладают особой восприимчивостью к эффектам магнитной анизотропии [1], создаваемой кристаллическим полем подложки [2, 3]. В данной работе проведено компьютерное моделирование влияния двух конкурентных типов анизотропии – одноионной и типа «легкая плоскость» на поведение трехслойной магнитной структуры. Рассматриваемая структура состоит из двух ферромагнитных слоев Co, разделенных немагнитной прослойкой Cu. Для проведения численного моделирования методами Монте-Карло использовалась анизотропная модель Гейзенберга [4, 5].

В данной работе были рассчитаны магнитные характеристики с учетом различных значений параметра одноионной анизотропии $A = -2.0, -1.0, 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ и значений анизотропии типа «легкая плоскость» в зависимости от толщины каждой пленки структуры $N = 3, 5, 7, 9, 11$ атомных монослоев.

Результаты компьютерного моделирования намагниченности в зависимости от приложенного магнитного поля при разных толщинах пленок представлены на рисунке 1. Значение параметра анизотропии типа «легкая плоскость» убывает с увеличением толщины пленок N . Видно, что начиная с $N = 9$ проявляются эффекты одноионной анизотропии со значением $A = 2.0 J_1$.

Было рассмотрено поведение намагниченности в зависимости от приложенного магнитного поля при изменении параметра одноионной анизотропии. Получено, что с увеличением значения одноионной анизотропии до $A = 3.0, 4.0$ можно наблюдать появление петли гистерезиса при направлении поля вдоль оси Z , потому что эффекты одноионной анизотропии становятся сильнее, чем эффекты

типа «легкая плоскость». Исследования явлений по влиянию эффектов анизотропии могут быть использованы при проектировании спин-вентильных структур.

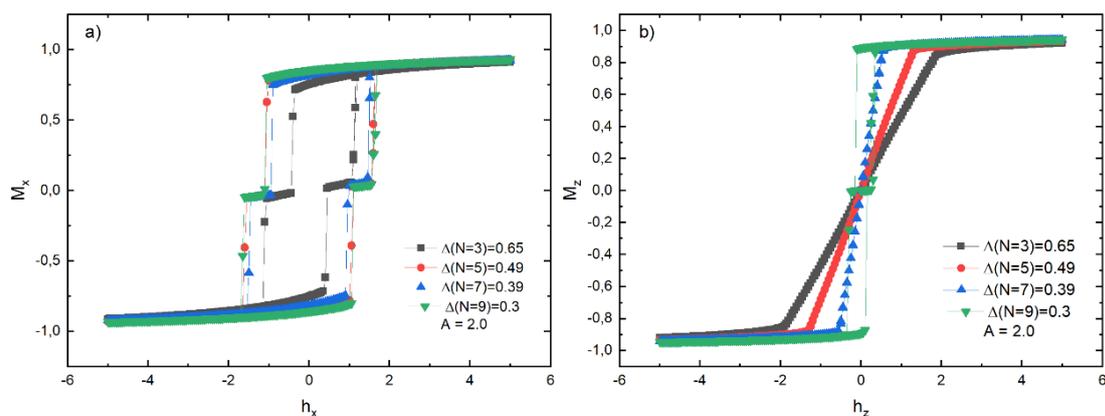


Рис. 1. Результаты моделирования намагниченности в зависимости от магнитного поля h , направленных а) вдоль оси X и б) вдоль оси Z для разных толщин пленок с разными значениями параметра анизотропии типа «легкая плоскость».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002) и гранта МД-2229.2020.2 Президента РФ.

1. He. X.D., Zhang L.L., Wu G.J., Gao J.W., Ran P., Muhammad Sajjad, Zhou X.W., Cao J.W., Xi L., Zuo YL., Ren Y. Controllable intrinsic Gilbert damping in Pt buffered [Co/Ni] n multilayers with enhanced perpendicular magnetic anisotropy // J. Magn. Magn. Mater. 2021. V. 519. art. 167429.
2. Vaz C.A.F., Bland J.A.C., Lauhoff G. Magnetism in ultrathin film structures // Rep. Prog. Phys. 2008. V. 71. art. 056501.
3. Prudnikov P.V., Prudnikov V.V., Mamonova M.V., Piskunova N.I. Influence of anisotropy on magnetoresistance in magnetic multilayer structures // J. Magn. Magn. Mater. 2019. V. 482. P. 201–205.
4. Prudnikov P.V., Prudnikov V.V., Menshikova M.A., Piskunova N.I. Dimensionality crossover in critical behaviour of ultrathin ferromagnetic films // J. Magn. Magn. Mater. 2015. V. 387. P. 77-82.
5. Prudnikov P.V., Prudnikov V.V., Danilova A.Yu., Borzilov V.O., Baksheev G.G. Non-equilibrium critical dynamics of low-dimensional magnetics and multilayer structures // EPJ Web Conf. 2018. V. 185. art. 11009.

КОМПОЗИТНЫЙ ЭФФЕКТ В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОМ СЕЛЕНИДЕ ЖЕЛЕЗА

Мозговых С.Н.¹, Баранов Н.В.^{1,2}, Селезнева Н.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: Stepan.Mozgovykh@urfu.ru

COMPOSITE EFFECT IN NONSTICHIOMETRIC IRON SELENIDE

Mozgovykh S.N.¹, Baranov N.V.^{1,2}, Selezneva N.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ekaterinburg,
Russia

²⁾ Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterin-
burg, Russia

A composite material from a mixture of hexagonal Fe_7Se_8 and monoclinic Fe_3Se_4 was obtained. The resulting material has an increased coercive force H_c , which is rare for materials without rare earth or noble metals, which is possibly related to the composite effect.

При поиске новых материалов для постоянных магнитов, не содержащих дорогостоящих элементов, в качестве возможных кандидатов рассматривают халькогениды железа Fe_3Se_4 и Fe_7Se_8 , которые являются ферромагнетиками с температурами Кюри 320 К и 450 К, соответственно. Для повышения их коэрцитивной силы их переводят в наноразмерное состояние, однако это может сопровождаться снижением намагниченности насыщения. В работе [1] химическим синтезом были получены наноразмерные образцы, которые представляли собой смесь двух фаз: Fe_7Se_8 и Fe_3Se_4 , что не привело к существенному улучшению магнитных характеристик. Из работ [2,3] известно, что на фазовой диаграмме Fe-Se отсутствует непрерывный ряд твердых растворов в диапазоне от $\text{Fe}_{6.28}\text{Se}_8$ до $\text{Fe}_{6.68}\text{Se}_8$, а область гомогенности соединения Fe_7Se_8 очень узкая. Целью данной работы являлось целенаправленное получение композитов из смеси Fe_7Se_8 и Fe_3Se_4 , исследование их магнитных свойств в сравнении со свойствами исходных соединений.

В первую очередь с помощью твердофазного ампульного синтеза были получены соединения Fe_7Se_8 с гексагональной структурой и Fe_3Se_4 в моноклинной структурой. Путём смешения 90 массовых процентов Fe_7Se_8 и 10 массовых процентов Fe_3Se_4 , с дальнейшим спеканием полученной смеси в печи, был получен материал со средним составом $\text{Fe}_{6.9}\text{Se}_8$. Аттестация фазового состава и структуры, выполненная на дифрактометре Bruker D8 Advance, показала, что основная фаза является моноклинной с увеличенными до 3% параметрами кристаллической решётки относительно соединения Fe_3Se_4 , а вторая фаза Fe_7Se_8 обладает гексагональной структурой.

Температурные и полевые зависимости намагниченности измерялись в температурном интервале 80 К – 550 К с помощью вибромагнетометра 7407 VSM (Lake Shore, USA) в полях до 17 кОе. На температурной зависимости намагниченности материала $\text{Fe}_{6.9}\text{Se}_8$ обнаружено две температуры магнитного упорядочения. Первая температура Кюри $T = 400$ К соответствует моноклинной фазе $\text{Fe}_{3+x}\text{Se}_4$, вторая – температуре Кюри гексагональной фазе Fe_7Se_8 .

Исследование гистерезисных свойств показали, что коэрцитивная сила полученного материала существенно выше, чем для отдельных соединений даже в наноразмерном состоянии. Например, при температуре $T = 80$ К $H_c = 2.62$ кОе, тогда как для Fe_3Se_4 $H_c = 0.37$ кОе. Такое изменение гистерезисных свойств вызвано проявлением композитного эффекта в системе « $\text{Fe}_7\text{Se}_8 - \text{Fe}_3\text{Se}_4$ ».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № FEUZ-2020-0054).

1. Lyubutin I. S. et al. Structural, magnetic, and electronic properties of iron selenide $\text{Fe}_{6-7}\text{Se}_8$ nanoparticles obtained by thermal decomposition in high-temperature organic solvents // The Journal of chemical physics. – 2014. – Т. 141. – №. 4. – С. 044704.
2. Kamimura T. and Iwata T. Phase Relation in Fe_{1-x}Se // J. Phys. Soc. Japan. – 1978. – V. 45. – №. 5. – P. 1769 – 1770.
3. Wilfried S. et al. Transition Metal-Chalcogen systems, VII.: The Iron-Selenium Phase Diagram. // Monatshefte für Chemie. – 1979. – V. 110. – P. 1153-1170.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ MoS₂/WS₂

Муксунов Н.Я.¹

¹ Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Белинского 56, Якутск, Россия
E-mail: muksunov97@mail.ru

STRUCTURAL AND ELECTRONIC PROPERTIES OF MoS₂/WS₂ HETEROSTRUCTURE

Muksunov N.Ya.¹

¹ North-Eastern Federal University, Belinsky 56, 677000 Yakutsk, Russia

In this work, based on the density functional theory, we investigate the structural and electronic properties of the MoS₂/WS₂ heterostructure.

В последнее время исследования электронных и оптоэлектронных устройств на основе монослоя MoS₂, получили дальнейшее развитие по следующим причинам. Во-первых, было обнаружено, что монослой MoS₂, имеют прямую запрещенную зону 1,8 эВ с сильной фотолюминесценцией. Во-вторых, на основе монослоя MoS₂ были изготовлены полевые транзисторы с высокой подвижностью заряда. В-третьих, монослой MoS₂ имеет запрещенную зону с двумя впадинами и сильной спин-долинной связью. Все это открывает новые возможности в области долиноэлектроники. Другой перспективный материал – монослой WS₂, который впервые получен в работе и обладает свойствами, близкими к свойствам монослоя MoS₂. Все вышесказанное, естественно, побуждает исследовать электронные свойства многослойных дихалькогенидов переходных металлов.

Появление многослойных дихалькогенидов переходных металлов в качестве новых двумерных полупроводниковых материалов открывает новые возможности для теоретических и экспериментальных исследований [1, 2]. Вертикально уложенные ван-дер-ваальсовы гетероструктуры дихалькогенидов переходных металлов являются основой для создания новых гетероструктур.

В данной работе на основе метода функционала плотности произведен расчет электронного спектра простейшего случая, бислоя MoS₂ и WS₂.

В качестве инструмента *ab initio* расчетов использовался пакет Quantum Espresso. *Ab initio* моделирование проводилось с использованием обобщенного градиентного приближения (GGA). Для ускорения сходимости в расчетах выбрана величина энергии «обрезания» $E_{\text{cut}} = 40 \text{ Ry}$. Во избежание взаимодействия между слоями расстояние между ними устанавливалось равным 20 Å.

Расчеты показали, что максимум валентной зоны бислоя MoS₂/WS₂ в точке Г сильно зависит от межслоевого взаимодействия в гетероструктуре. При увеличении расстояния между слоями MoS₂ и WS₂, гетероструктура MoS₂/WS₂

постепенно переходит из полупроводника с непрямой запрещенной зоной в полупроводник с прямой запрещенной зоной.

1. Shih C. K. Coherently strained in-plane atomic layer heterojunctions //NPG Asia Materials. – 2015. – Т. 7. – №. 12. – С. e231-e231.
2. Huang C. et al. Lateral heterojunctions within monolayer MoSe₂–WSe₂ semiconductors //Nature materials. – 2014. – Т. 13. – №. 12. – С. 1096-1101.. Nat. Mater. 13, 1096–1101 (2014).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ПЛОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛИМЕРАХ

Мусихин А. Ю.¹, Зубарев А. Ю.¹

¹) Институт естественных наук и математики, Уральский Федеральный университет, 620002, Екатеринбург, Мира, 19, Россия.
E-mail: Antoniusmagna@yandex.ru

THEORETICAL MODELING OF MAGNETORHEOLOGICAL EFFECTS IN DENSE MAGNETIC POLYMERS

Musikhin A. Yu.¹, Zubarev A. Yu.¹

¹) Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University, 620002, Yekaterinburg, Mira, 19, Russia.

The paper presents a physical model that quantitatively explains the strong magnetorheological effect (8 MPa) in dense magnetic polymers and also describes the decreasing dependence of the modulus of elasticity on the magnitude of shear deformation.

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния внешнего магнитного поля на упругие свойства плотных магнитомягких полимеров, наполненных намагничивающимися частицами микронного размера на основе пермаллоя. В работе [1] образцы были отверждены без магнитного поля, что привело к изотропной внутренней морфологии расположения частиц. Эксперименты показывают, что в достаточно умеренных магнитных полях относительное изменение модуля упругости составляет примерно в 200 раз, а его абсолютное увеличение может достигать почти 8 МПа. Обнаружено уменьшение модуля с величиной деформации сдвига. Эти явления объясняются адгезионным объединением частиц на стадии полимеризации в изотропные первичные агломераты.

Из-за влияния внешнего магнитного поля эти агломераты намагничиваются и объединяются в линейные цепочки, выстроенные вдоль направления поля. Длина цепочки определяется силами упругого сопротивления основного полимера смещению агломерата в матрице. Появление этих цепочек ведет к значительному увеличению жесткости композита.

Результаты сравнение теоретических и экспериментальных данных [1] представлены на рисунке.

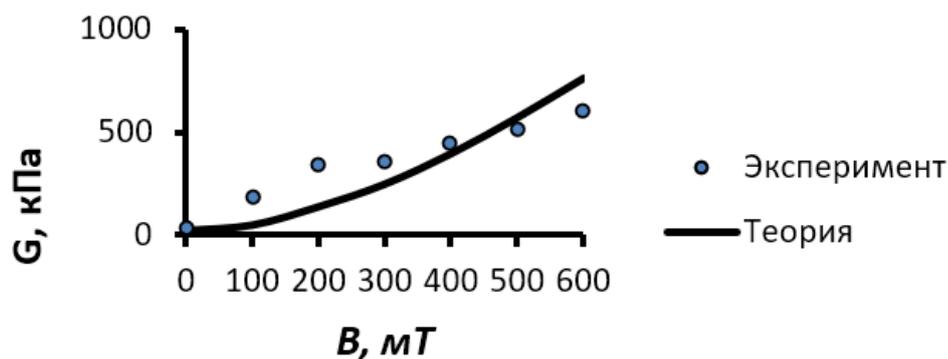


Рис. 1. Модуль сдвига в зависимости от приложенного магнитного поля. Объемная концентрация внедренных частиц составляет 30%. Модуль упругости образца без поля 10 кПа.

Результаты теоретического исследования показывают, что предложенная модель достаточно хорошо количественно объясняет сильные магнитореологические эффекты в исследованных плотных магнитных полимерах. Модель также описывает убывающую зависимость модуля от величины сдвиговой деформации.

Работа выполнена при поддержке гос. задания FEUZ-2020-0051.

1. Borin D., Stepanov G., Musikhin, A. Zubarev, A. Bakhtiarov A. & Storozhenko P. Magnetorheological effect of magnetoactive elastomer with a permalloy filler. // *Polymers*. —2020. — V. 12. — P. 2371.

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВЕРХРЕШЕТКИ CoFeNi/Cu С КОНЦЕНТРАТОРАМИ МАГНИТНОГО ПОТОКА

Найданов И. А.^{1,2}, Миляев М. А.¹

¹) Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: ivannayd_1997@bk.ru

HIGHLY SENSITIVE CoFeNi/Cu SUPERLATTICES WITH MAGNETIC FLUX CONCENTRATORS

Naydanov I. A.^{1,2}, Milyaev M. A.¹

¹) M.N. Miheev Institute of Metal Physics, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In the course of the work, it was possible to reduce the saturation fields of CoFeNi/Cu superlattices with the effect of giant magnetoresistance by a factor of 11 to 15–20 Oe using magnetic flux concentrators made of NiFeCuMo and NiFe materials.

Сверхрешеточные наноструктуры с эффектом гигантского магнитосопротивления находят свое применение в качестве сенсорных элементов, чувствительных к магнитным полям. Сверхрешетки состоят из обменно связанных ферромагнитных слоев, разделенных немагнитными прослойками. В присутствии магнитного поля вследствие спин зависимого рассеяния магнитные сверхрешетки могут изменять свое сопротивление на десятки процентов.

Характерная чувствительность к магнитным полям сверхрешеток с толщиной немагнитных прослоек, соответствующих второму максимуму РККИ взаимодействия, составляет 0.1–0.5 %/Э в диапазоне несколько сотен эрстед [1]. Цель работы заключается в увеличении чувствительности сверхрешеток к слабым магнитным полям при помощи концентраторов магнитного потока.

Проведены исследования магниторезистивных свойств сверхрешеток композиции: стекло/Ta/NiFeCr/[FM/Cu]₈/Ta, где FM-ферромагнитный сплав. В качестве ферромагнитных слоев использовались тройные сплавы CoFeNi. Для повышения чувствительности к магнитным полям применялись концентраторы магнитного потока в форме трапеций, изготовленные из материалов NiFeCuMo и NiFe. Наибольшая чувствительность 3,6 %/Э достигнута в сверхрешетках на основе сплава Co₇₀Fe₂₀Ni₁₀ с магнитосопротивлением порядка 30 %. Показано, что наибольшее усиление магнитного поля концентраторами достигается за счет увеличения соотношения между продольным и поперечным размерами концентраторов. Дополнительно проведен отжиг концентраторов с целью уменьшения вклада в гистерезис на кривых зависимости сопротивления сверхрешеток от магнитного поля. Отжиг до температуры T=730 °C привел к уменьшению гистерезиса за счет уменьшения микронапряжений. Микронапряжения рассчитывались

методом Вильямсона–Холла. Полученные результаты свидетельствуют о применимости сверхрешеток на основе сплава $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{10}$ совместно с концентраторами магнитного потока в качестве сенсоров малых магнитных полей.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России по темам «Спин» АААА-А18-118020290104-2 и «Магнит» 122021000034-9 при частичной поддержке РФФИ (грант № 20-42-660018).

1. M.A. Milyaev, N.S. Bannikova, L.I. Naumova et. al., Journal of Alloys and Compounds, 854, 157171, (2021)

ИНДУЦИРОВАННАЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДЕГРАДАЦИЯ $\text{Li}_{3.95}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

Никифоров А.А.¹, Пелегов Д. В.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: aleks-nik99@mail.ru

INDUCED BY LASER RADIATION DEGRADATION OF $\text{Li}_{3.95}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

Nikiforov A.A.¹, Pelegov D. V.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

Raman spectroscopy is often considered as a non-destructive method of studying the structure. But, specifically, the interaction of laser radiation with the object of study is given very little attention. The object of this study is LTO doped Mn, resulting in increased electronic conductivity.

Спектроскопия комбинационного рассеяния света зачастую рассматривается как неразрушающий метод исследования структуры. Но, конкретно, взаимодействию лазерного излучения с объектом исследования уделяется очень мало внимания. Особенно хорошо это заметно для тех публикаций, где этот метод является вспомогательным и используется для подтверждения целевой фазы. Объектом данного исследования является титанат лития легированный марганцем ($\text{Li}_{3.95}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$), в результате легирования повышается электронная проводимость.

Можно найти большое число публикаций со спектрами ЛТО, но в большинстве своём такие исследования проводятся специалистами в области химии твердого тела и электрохимии, и поэтому вопрос влияния лазерного излучения на исследуемый материал в этих работах, как правило, не рассматривается[1]. Дополнительную сложность представляет тот факт, что исследуемый объект представляет собой порошки с частицами субмикронного размера и поэтому геометрия взаимодействия лазерного излучения с веществом довольно сложна.

Отсутствие публикаций по теме деградации ЛТО под действием лазерного излучения отчасти вызвано тем, что этот материал имеет структуру шпинели $\text{Li}[\text{Li}_{1/6}\text{Ti}_{5/6}]_2\text{O}_4$, устойчивую к разного вида воздействиям[2]. Однако чистый ЛТО имеет крайне низкую электронную проводимость ($10^{-8} - 10^{-13}$ См/см) и в качестве решения, альтернативного синтезу наноразмерных порошков, предлагается его допирование для создания дополнительных центров проводимости в объеме материала. В данной работе представлены результаты исследования эффектов воздействия лазерного излучения с длиной волны 633 нм различной мощности на частицы $\text{Li}_{3.95}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$.

В качестве основного подхода было использовано измерение спектров КРС отдельных частиц, осажденных на КРС-нейтральную подложку (медная пластина). Нанесенные на пластину метки позволили проводить изучение одних и тех же частиц разными методами (спектроскопия КРС и сканирующая электронная микроскопия), а также измерение спектров КРС через значительные интервалы времени. Сравнение спектров, измеренных при разных значениях мощности возбуждающего лазерного излучения, для разных частиц позволило предложить физико-химическую модель деградации допированного ЛТО с фазовым переходом типа «порядок-беспорядок». При протекании быстрых процессов, индуцированный фазовый переход сопровождался лазерной абляцией образца с пересадением наночастиц, но с сохранением формы частицы, испытывавшей фазовый переход. Помимо деградационных процессов, был продемонстрирован эффект пересадения углерода даже для образцов, не содержащих проводящего углеродного покрытия.

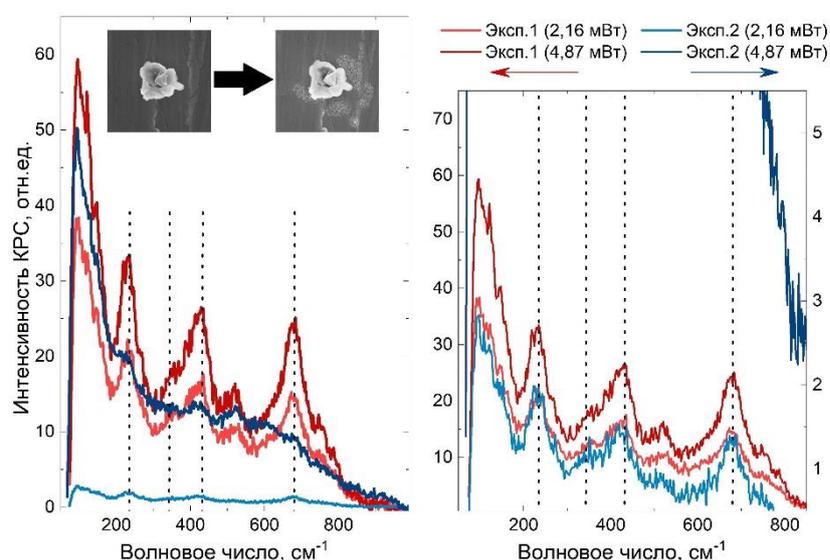


Рис. 1. Изменение спектров КРС и морфологии частицы $\text{Li}_{3.95}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ под действием лазерного излучения. Пунктирными линиями обозначены положения характеристических пиков ЛТО.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Госзадания FEUZ-2020-0054.

1. D.V. Pelegov, B.N. Slautin, P.S. Zelenovskiy, D.K. Kuznetsov, E.A. Kiselev, D.O. Al-ikin, A.L. Kholkin, V.Y. Shur, Single particle structure characterization of solid-state synthesized $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, *J. Raman Spectrosc.* 48 (2017) 278–283. doi:10.1002/jrs.4999
2. Dmitry V. Pelegov, Ralph Nicolai Nasara, Chia-hao Tu, and Shih-kang Lin, Defects in $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ induced by carbon deposition: analysis of unidentified bands in Raman spectra, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2019, 31, 20757-20763. doi: 10.1039/C9CP04629A

СКОРОСТЬ РОСТА ОБЪЕМА ЧАСТИЦЫ В ОДНОКОМПОНЕНТНОМ И БИНАРНОМ РАСПЛАВАХ

Никишина М. А.¹, Александров Д. В.¹

¹) Кафедра теоретической и математической физики, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: margaritanikishina98@gmail.com

PARTICLE VOLUME GROWTH RATE IN ONE-COMPONENT AND BINARY MELTS

Nikishina M. A.¹, Alexandrov D. V.¹

¹) Department of Theoretical and Mathematical Physics, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this paper, we will consider obtaining the growth rate of the volume of an individual particle in the case of single-component and binary melts. The formula is determined for ellipsoidal and spherical particles.

Для моделирования процессов нуклеации полидисперсного ансамбля частиц, важной характеристикой является скорость роста кристаллов. При правильном выборе скорости роста мы сможем получить как можно больше очагов кристаллизации, при этом минимизировать время зарождения между самыми первыми ядрами и последующими, что в свою очередь приведет к более однородной и мелкозернистой структуре производимого материала, а следовательно, к его улучшенным качественным характеристикам [1].

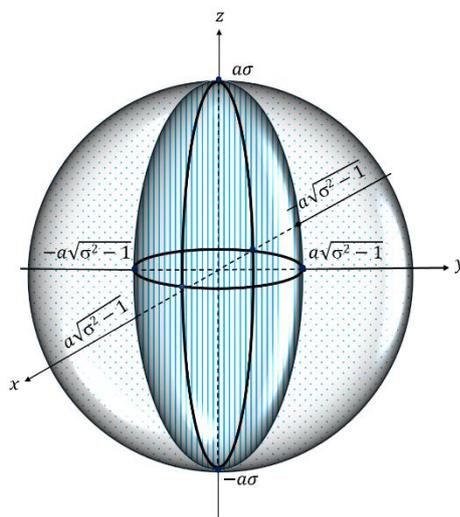


Рис. 1. Модель эллипсоидального кристалла в координатах вытянутого эллипсоида вращения

Скорость роста кристаллитов в свою очередь зависит от их формы. Сейчас используется только сферическая модель приближения формы частиц несмотря на то, что по многим данным реальная форма кристаллов может быть далека от сферической и зачастую более удлиненная [2]. Именно поэтому важным является развитие теории с другим более точным приближением: эллипсоидальным. В данной работе была исследована промежуточная стадия процесса фазового превращения и найдена функция роста эллипсоидальных кристаллов в случае однокомпонентных и бинарных расплавов. При этом был учтен предельный переход к сферическому случаю.

1. WC Winegard. An Introduction to the Solidification of Metals. London: Institute of Metals; 1964.
2. Ocaña M, Morales MP, Serna CJ. The growth mechanism of α – Fe₂O₃ ellipsoidal particles in solution. J. Colloid Int. Sci.. 1995;171:85–91

ПАРАМАГНИТНЫЕ СПИНОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ И ТЕРМОЭДС ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Fe_{1-x}Co_xSi$

Повзнер А.А.¹, Волков А.Г.¹, Бессонов С.А.¹, Ноговицына Т.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: t.a.nogovitsyna@urfu.ru

PARAMAGNETIC SPIN FLUCTUATIONS AND THERMOELECTRIC POWER OF $Fe_{1-x}Co_xSi$ SOLID SOLUTIONS

Povzner A.A.¹, Volkov A.G.¹, Bessonov S.A.¹, Nogovitsyna T.A.¹

¹) Ural Federal University

In this paper, we study the features of the electronic structure, paramagnon excitations, and thermoelectric power of $Fe_{1-x}Co_xSi$ under conditions of a concentration transition from exchange-enhanced spin paramagnetism to diamagnetism of the Weyl semimetal CoSi. It is shown that the paramagnetic spin.

Твердые растворы $Fe_{1-x}Co_xSi$ богатые моносилицидом кобальта, благодаря своим физико-механическим и физико-химическим свойствам являются перспективными материалами для создания термогенераторов с высокими КПД. Однако механизмы формирования термоэлектрических свойств этих материалов, которые в значительной степени определяются особенностями электронной структуры, остаются окончательно не выясненными. Трудности, возникающие при изучении электронной зонной структуры $Fe_{1-x}Co_xSi$, с нарушенной вследствие отсутствия центра инверсии кристаллической структурой B20, связаны с необходимостью учета топологических особенностей их электронного спектра [1] и кулоновских корреляций, приводящих к флуктуациям спиновой плотности [2].

В настоящей работе исследуются особенности электронной структуры, парамагнетонные возбуждения и термоэдс $Fe_{1-x}Co_xSi$ в условиях концентрационного перехода от обменно-усиленного спинового парамагнетизма к диамагнетизму вейлевского полуметалла CoSi. Показано, что возникающие при замещении атомов железа атомами кобальта парамагнитные спиновые флуктуации существенно усиливаются, когда химический потенциал оказывается в области отрицательной кривизны плотности состояний (DOS) d-электронов. При этом вследствие зависящего от температуры флуктуационного сдвига химического потенциала, наряду с перенормировкой диффузной составляющей термоэдс, возникает эффект парамагнетонного увлечения d-электронов. Полученные результаты описывают усиление термоэлектрических характеристик твердых растворов $Fe_{1-x}Co_xSi$ в области концентрационного перехода к вейлевскому топологическому полуметаллическому соединению CoSi.

1. D.A. Pshenay-Severin, Yu.V. Ivanov, A.A. Burkov, A.T. Burkov. J. Phys.: Condens. Matter., 30, 135501 (2018).
2. A.A. Povzner, A.G. Volkov, T.A. Nogovitsyna, S.A. Bessonov. Phys. Sol. State 63 (3), 377 (2021).

ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ И СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДВУХАТОМНОЙ МОЛЕКУЛЕ

Окилов Б.Р.¹, Джалилов Ф.¹, Мирзоев Д.Н.¹, Шодиев Ш.Ш.¹

¹) Политехнический Институт Таджикского Технического Университета им. академика М. Осими в г. Худжанде
E-mail: bunyod_01_01@inbox.ru

CHANGING THE POTENTIAL ENERGY AND THE INTERACTION FORCE OF A DIATOMIC MOLECULE

Oqilov B.R.¹, Jalilov F.¹, Mirzoev D.N.¹, Shodiev Sh.Sh.¹

¹) Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi to the city of Khujand

In order to break the interatomic bonds, a transition needs to occur from a state of stable equilibrium into a state of unstable equilibrium. The fracture occurs for lower dissociation levels of energy, which depends on the number of elements in the chain, which shows that the discrepancy bet.

Для разрыва связи вдоль линии действия силы необходим переход из положения устойчивого равновесия в положение неустойчивого равновесия, оба из которых определяются величиной заданной силы. Для совершения такого перехода необходимо выполнение добавочной работы за счет тепловых усилий над уровнем $F=f$. Эта работа и есть величина энергетического барьера разрушения связи.

В случае распада напряженных связей работа, затрачиваемая на ее разрыв, распределяется следующим образом: доля механической силы $D-U$, которая в своем очередь является механической работой, состоит из трех частей:

1. Начальной, относительно малой части энергии затраченной в результате нагрузки.

2. Работы, равной произведению силы на изменение расстояние между атомами $f(r_2-r_1)$, совершаемой одновременно с действиями тепловой флуктуации (подъем на вершину барьера U), и

3. Работы по «дорыванию» связи (перевод с вершины барьера в разорванное состояние), которая равна $\int_r 2^\circ F(r) dr$.

В схеме распада нет фиксированного состояния разорванной связи, поскольку принимается, что внешняя сила постоянна, а ее потенциал линейен и неограничен. Как уже отмечали, внешняя сила по отношению к разорванным связям, создают взаимодействия с соседними атомами. Поэтому более корректно будет рассматривать распад линейной цепочки атомов, обладающей ограниченным запасом механической энергии [1,2,3].

Силовая зависимость энергии активации разрыва межатомной связи оказалась нелинейной, причем для больших цепочек (n велико), полученная

зависимость удовлетворяет уравнению, рассчитанному за счет добавочных «тепловых» усилий, совершавших работу.

$$U(f) = \int_r 1^2 [F(r) - f] dr = D \left[\sqrt{1 - f/F_m} - (f/2F_m) \ln(1 + \sqrt{1 - f/F_m}) / (1 - \sqrt{1 - f/F_m}) \right] \quad (1)$$

График зависимости $U(f)$ от f/F_m оказался нелинейным, но при больших цепочках он является, близок к прямой и удовлетворяет уравнению (1).

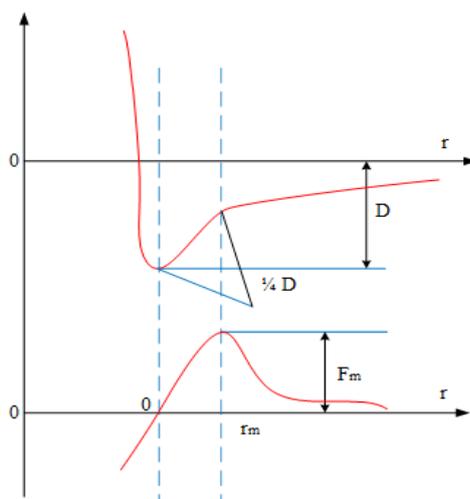


Рис. 1. Потенциальная энергия и сила взаимодействия для атомов в двухатомной молекуле

Из приведенного видно, что разрушение происходит при меньшей энергии диссоциации и эта энергия зависит от n числа звеньев в цепочке, из чего следует, что расхождение между энергетическими и силовыми критериями разрушения связей возможны. Для достаточно длинных цепочек разрушение энергетически возможно, когда растягивающая сила еще не в состоянии разорвать связи. При выполнении условия $W_{\pi} = D$ силу безопасности можно определить по формуле

$$f_{\text{безоп}} = F_m \left[1 - \left[\left(1 - 2/\sqrt{n} \right) \right]^2 \right] \quad (2)$$

и при $n=10$ $f_{\text{безоп}} = 0,87F_m$, а при $n=100$ $f_{\text{безоп}} = 0,36F_m$. Совершенно очевидно, что несмотря на выполнение энергетического критерия разрушения, при $f < F$, разрыва связи не происходит, а энергия в звеньях цепочки, не будучи транспортированной к подлежащей разрыву связи, останется неиспользованной.

1. А.Н. Орлов, Ю.М. Пилишкин, М.М.Шепелева, ФММ, 4, 540, 1957.
2. Френкель Я.И., Введение в теории металлов, Физматгиз, 1958, 227 с.
3. Э.Е. Томашевский, ФТТ, 12, 3202 (1970)

INFLUENCE OF HIGH-CURRENT PULSED ELECTRON BEAM SURFACE TREATMENT ON TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF NON-EQUIMOLAR Al-Co-Cr-Fe-Ni HIGH-ENTROPY ALLOY

Osintsev K.A.^{1,2}, Konovalov S.V.¹, Ivanov Yu.F.^{2,3}, Gromov V.E.², Panchenko I.A.²

¹⁾ Samara National Research University

²⁾ Siberian State Industrial University

³⁾ Institute of High Current Electronics of the Siberian Branch of the RAS

E-mail: osincev.ka@ssau.ru

In this study wire-arc additively manufactured high-entropy alloy Al-Co-Cr-Fe-Ni system was subjected to high-current electron beam surface treatment at different energy density of an electron beam. The tribological characteristics such as wear rate and coefficient of friction were studied.

High-entropy alloys (HEAs) is relatively new concept of materials consisted of at least five elements with approximately 5 to 35 at. % ratio. Surface modification of high-entropy alloys might be implemented to eliminate defects lasted after fabrication and consequently further improve hardness and tribological properties. This study aims to investigate influence of HCPEBs on tribological characteristics of Al-Co-Cr-Fe-Ni HEA system.

Wire-arc additive manufacturing (WAAM) was used as a method of fabrication of the material. As a feeding wire there was used the combined cable with the diameter of 1 mm and composed of aluminum wire (Al \approx 99.95 wt. %), Cr-Ni wire (Cr \approx 20 wt. %, Si \approx 1 wt. %, Ti \approx 0.2 wt. %, Ni – balanced), and Fe-Ni-Co wire (Co \approx 17 wt. %, Ni \approx 29 wt. %, Si \approx 0,2 wt. %, Fe – balanced). Samples of a high-entropy alloy were fabricated via layer-by-layer deposition on an AISI 1020 steel substrate in an inert gas atmosphere (Ar \approx 99.99%). The operation parameters were held constant: a wire feed speed – 8 m/min, voltage – 17 V, a travel speed – 0.3 m/min, a gas supply speed (Ar) – 14 L/min, work angle – 80 degrees. HCPEB treatment was performed with the following parameters: energy of accelerated electrons $U = 18$ keV, energy density of electron beam $E_s = (10, 15, 20, 25, 30)$ J/cm², pulse duration $f = 200$ μ s, number of pulses $N = 3$. As the tribological characteristics wear rate and friction coefficient were obtained on planar samples using tribometer Pin on Disc and Oscillating TRIBOtester.

The assessed wear behavior of the Al_{15.64}Co_{7.78}Cr_{8.87}Fe_{22.31}Ni_{44.57} HEA fabricated by WAAM without HCPEB treatment showed wear rate of $1.4 \cdot 10^{-4}$ mm³/(N·m) and the friction coefficient of 0.65. The values of the wear rate and the friction coefficient are similar to the values obtained in [1], where Al-Co-Cr-Fe-Ni high entropy alloy coatings were processed by laser cladding. HCPEB surface modification of the alloy showed formation of a submicro-nanocrystalline structure and crystallites ranging from 100 to 200 nm due to high-speed crystallization with the rate of 10^9 K/s [2]. With the increasing of the energy density of electron beams from 10 to 15 J/cm² wear rate increases

from 1.9 to 2.3 mm³/(N·m). The further increasing of the energy density shows not monotonous changes in the wear rates. The highest wear rate is observed at 25 J/cm² and the least at 20 J/cm². The friction coefficient of the HEA after HCPEB treatment was not changed much. It ranged from 0.63 to 0.67 which differs by approximately 3 %. The changes in tribological behavior of the HEA modified by HCPEB might be explained by the increasing of the homogenization of the chemical elements distribution which was demonstrated in our previous study [2].

This research was funded by Russian Science Foundation (project 20-19-00452).

1. Wei X, Zhang P, Yu Z, Yan H, Wu D, Shi H, Chen J., Lu Q., Tian Y., Ma S., Lei W. Journal of Alloys and Compounds, 862,158563, (2021).
2. Osintsev K, Gromov V, Ivanov Y, Konovalov S, Panchenko I, Vorobyev S. Metals, V. 11, P.1228, (2021).

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Осипенко Е.А.¹, Шарыпов К.А.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина

²) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электро-
физики Уральского отделения Российской академии наук
E-mail: ea.iep@yandex.ru

DIAGNOSTICS OF PICOSECOND ELECTRON BEAMS PARAMETERS

Osipenko E.A.¹, Sharypov K.A.²

¹) Ural Federal University

²) Institute of Electrophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

The pulse shape and current amplitude of picosecond electron beams have been performed. Also the dependence of the current distribution of electron beam along radius was revealed.

Диагностика параметров электронных пучков включает в себя измерение временных (времена нарастания и спада, а также длительность) и энергетических (ток, энергия частиц) параметров. Для измерения указанных выше параметров зачастую используют традиционные методы, включающие в себя использование пояса Роговского и различных шунтов [1]. Однако в пикосекундном временном диапазоне такие методы неприменимы. В данном случае используются либо косвенные методы измерений, например, метод рефлектометрии, основанный на анализе отражений высокочастотных сигналов от несогласованной нагрузки линии [2], либо использование датчиков с пикосекундным разрешением.

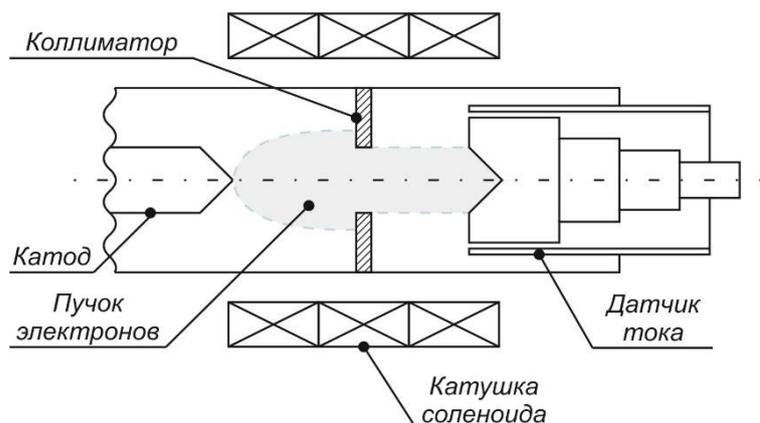


Рис. 1. Схема проведения измерений

Был сконструирован датчик на основе цилиндра Фарадея и ступенчатой линии, согласующей волновое сопротивление цилиндра Фарадея с передающими

трактами ($\rho = 50 \text{ Ом}$). При помощи датчика были измерены форма и амплитуда тока электронного пучка. Также в данной работе при использовании различных коллиматоров была выявлена зависимость распределения плотности тока по радиусу.

1. А.И. Климов. Экспериментальные методы в сильноточной электронике: учебное пособие / А.И. Климов. – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2009. – 229 с.
2. С.А. Шунайлов, К.А. Шарыпов, В.Г. Шпак, М.Р. Ульмаскулов, М.И. Яландин, В.В. Ростов, М.Д. Коломиец, “Рефлектометрия электронного диода с взрывоэмиссионным катодом”, Изв. ВУЗов. Физика, 2014, Т.57 Вып.11/3, pp.307-311.

LUMINESCENT DOWNSHIFTING COLLOIDAL QUANTUM DOTS FOR LARGE-AREA SOLAR CELLS

Ospanova A.K.¹, Eralieva A.A.¹, Auelkan T.¹, Kabdrashov Z.¹, Kizatov M.¹,
Kuralbay A.¹, Ryskeldy S.¹, Kainarbay A.Z.¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian national university
E-mail: aygerim-ospanova-00@mail.ru

We show a practical application of colloidal quantum dots as a luminescent converters for operating large-area solar modules. For these purposes, we used quantum dots of the core/shell type with a high quantum luminescence yield (50%) embedded in polymer matrix.

The combination of solar cells (SC) with luminescent “down converters” based on colloidal quantum dots semiconductors (CQD) have been suggested as a very promising method to high power conversion efficiencies. Previously, our laboratory demonstrated this possibility using quantum dots of many semiconductors, such as cadmium telluride or plumbum chalcogenides (relative increase in efficiency and other electrical parameters of solar cells by 10-15% of the initial values).

For “down-conversion”, the luminescent converter (LC) as like thin film contains CQD is located on the front surface of the SC. High-energy photons with energy more than E_g of semiconductor material are absorbed by the converter and down-converted into lower energy photons which, in turn, can be absorbed by the solar cell. In this work, we show the use of CQD (CdSe/3ZnS) into photovoltaic technology to increase the efficiency of silicon SC.

As we know from the semiconductor physics course, Conventional silicon SC only effectively converts photons of energy close to the Si band gap as a result of the discrepancy between the incident solar spectrum and the spectral absorption properties of the material. These losses can be reduced by using photoluminescence, in which photons are shifted to an energy range in which the cell has a higher spectral response. By many authors, CQDs have been proposed for use as downshifters, since the wavelength of the radiation can be controlled by their size as a result of quantum limitation. To analyze the effect of LC, we carried out a series of optical and photoelectric measurements. A high PL emission is observed with a peak at 600 nm (CdSe/3ZnS). On fig. Figure 1 shows the Luminescence and absorption spectra of CdSe/3ZnS(2).

PV measurements were performed outdoors on large area PV modules on the market. These measurements showed an increase in the voltage of coated SC with LC (CdSe/3ZnS).

Conclusions: We have found that CQD are efficient luminescent material for photovoltaic applications. Under sunlight, the modified solar panels showed outstanding photovoltaic values. Further work is required to improve the temperature stability of the QCD. Using QCD with high temperature and radiation resistance can potentially increase the efficiency of SC.

This work was supported by the Science Committee of Ministry of Education and Science Republic of Kazakhstan, IRN AP08856436

1. Kainarbay A.Z., Nurakhmetov T.N., Daurenbekov D.K., Eliseev A.A., etc. Luminescent Down Shifting CdTe Colloidal Quantum Dots for Enhancing Polycrystalline Silicon Solar Cells//Optik - International Journal for Light and Electron. Optics. – 2018. -Vol. 169. - P. 41-47.
2. Kainarbay A.Z., Abdraman B., Bazarbayeva G., Daurenbekov D.K., Nurakhmetov T.N., Salikhodja Z.M., Zhunusbekov A.M., Yussupbekova B.N. Semiconductor quantum dots down converters for silicon solar cells// 6 th International Congress Energy Fluxes and Radiation Effects: Book of Abstracts. – Tomsk, 2018. - P.659.

ПОИСК И СИНТЕЗ НОВЫХ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ МАГНЕТИКОВ НА ОСНОВЕ Fe_5GeTe_2

Пальцева А.И.¹, Селезнева Н.В.¹, Баранов Н.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: paltseva.ai@yandex.ru

SYNTHESIS AND STUDY OF 2D MAGNETS BASED ON COMPOUND Fe_5GeTe_2

Paltseva A.I.¹, Selezneva N.V.¹, Baranov N.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Institute of Natural Sciences and Mathematics,
Ekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia

The $\text{Fe}_{5-x}\text{Mn}_x\text{GeTe}_2$ and $\text{Fe}_5\text{GeTe}_{2-y}\text{Se}_y$ compounds have been synthesized and studied by using X-ray diffraction, magnetization and electrical resistivity measurements. It has been shown that the partial substitution of Mn for Fe does not lead to a significant change in the p.

Двумерные магнитные соединения представляют собой идеальные объекты для фундаментального экспериментального исследования магнетизма низкоразмерных систем. Актуальность синтеза и исследования такого рода соединений подтверждается непрерывно растущим числом посвященных им публикаций, в том числе, касающихся их возможного применения [1].

Наибольшее внимание в последние годы уделяется железосодержащим слоистым теллуридам типа Fe_nGeTe_2 ($n = 2, 3, 5$), в которых в зависимости от состава и способа приготовления наблюдается магнитное упорядочение до температур, превышающих комнатную. Показано, что кристаллы этих соединений могут расслаиваться вплоть до монослоев. Установлено, что массивные кристаллы Fe_nGeTe_2 обладают ферромагнитным или более сложным гелимагнитным упорядочением с температурами Кюри $T_C \sim 280 - 310$ К [2, 3].

Слоистый теллурид $\text{Fe}_{5-x}\text{GeTe}_2$ – магнетик Ван-дер-Ваальса с одной из максимальной (среди подобных изученных соединений) температур Кюри, порядка 310 К. Структура такого кристалла состоит из слоев Fe и Ge, расположенных между слоями Te. Известно, что свойствами данного типа соединений, в том числе и магнитными, можно управлять замещениями как по катионной, так и по анионной подрешеткам. Целью данной работы являлись синтез, аттестация и изучение физических свойств новых соединений $\text{Fe}_{5-x}\text{Mn}_x\text{GeTe}_2$ и $\text{Fe}_5\text{GeTe}_{2-y}\text{Se}_y$.

Соединения получены методом ампульного твердофазного синтеза при $T = 800$ С. Аттестация образцов выполнялась методом рентгеновской

дифрактометрии на дифрактометре Bruker D8 Advance. Зависимости электрического сопротивления от температуры были получены при помощи 4-х контактного метода на постоянном токе. Измерения магнитной восприимчивости и намагниченности производились на СКВИД-магнитометре MPMS-XL-5 (Quantum Design, США) в температурном интервале 2 - 350 К и вибромагнитометре Lake Shore VSM 7407 в интервале от 300 К до 1000 К.

Рентгенофазовый анализ показал, что образцы $\text{Fe}_{5-x}\text{Mn}_x\text{GeTe}_2$ ($x = 0, 0.25$) с замещением по катионной подрешетке однофазны и кристаллизуются в орторомбической сингонии (пространственная группа $R3m$). При замещении атомы марганца статистически замещают позиции железа, тип структуры не изменяется, однако наблюдается уменьшение среднего межслоевого расстояния. Образцы обладают металлическим типом проводимости. Обнаружено, что замещение атомов железа атомами марганца до $x = 0.25$ не оказывает заметного влияния на температуру магнитного превращения и величину намагниченности.

Установлено, что замещение по анионной подрешетке теллура селеном в различных концентрациях ($y = 0, 0.2, 0.5$) приводит к фазовому расслоению. В замещенных образцах образуется тетрагональная фаза типа FeSe , обладающая переходом в сверхпроводящее состояние, что отражается на проводимости полученных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № FEUZ-2020-0054).

1. A.F. May et al., Ferromagnetism Near Room Temperature in the Cleavable van der Waals Crystal Fe_5GeTe_2 // ACS Nano, V. 13. P. 4436 (2019).
2. A.F. May, Magnetic structure and phase stability of the van der Waals bonded ferromagnet $\text{Fe}_{3-x}\text{GeTe}_2$ // PHYSICAL REVIEW, V. 93, P. 11 (2016).
3. J.-G. Park, Opportunities and challenges of 2D magnetic van der Waals materials: magnetic graphene? // J. Phys.: Condens. Matter, V. 28. P. 301001 (2016).

МЕХАНИЗМЫ ПРОВОДИМОСТИ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЕ $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$

Панков С.Ю.¹, Жилова О.В.¹, Макагонов В.А.¹, Фошин В.А.¹, Бабкина И.В.¹

¹ Воронежский государственный технический университет
E-mail: srgpank@mail.ru

CONDUCTION MECHANISMS IN THE THIN FILM STRUCTURE $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$

Pankov S.Yu.¹, Zhilova O.V.¹, Makagonov V.A.¹, Foshin V.A.¹, Babkina I.V.¹

¹ Voronezh state technical university

The paper presents the results of analysis of the mechanisms of electrotransport in thin-film multilayer structures $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$ in the temperature range 77-300 K.

Многослойные структуры ферромагнитный металл – полупроводник (диэлектрик) с толщинами слоев нанометрового диапазона вызывают большой интерес как с практической, так и фундаментальной точек зрения. Практический интерес вызван обнаруженным в них достаточно сильным магнитным взаимодействием между металлическими слоями, что возможно использовать при применении таких систем в ВЧ- и СВЧ-диапазонах. Фундаментальный аспект изучения свойств таких материалов заключается в том, что при уменьшении характеристических размеров до единиц-десятков нанометров в таких объектах проявляются новые физические явления, объясняемыми исключительно в рамках законов квантовой механики.

В данной работе были изучены механизмы проводимости в многослойной системе $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$, полученной методом ионно-лучевого напыления. Толщина пленок варьировалась в диапазоне от 60 до 150 нм, а толщина бислоя $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]$ от 0,6 до 1,6 нм.

Для установления физической природы электропереноса в многослойных структурах были измерены и проанализированы температурные зависимости электросопротивления образцов в диапазоне температур 77-300 К. Для сравнения был проведен анализ зависимости электросопротивления композита $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}$, полученного аналогичным способом толщиной 120 нм.

Было установлено, что электросопротивление многослойных структур и композита характеризуется отрицательным температурным коэффициентом, а значения уменьшаются на один-два порядка величины при увеличении температуры от 77 до 300 К. Анализ температурных зависимостей композита показал, что во всем температурном диапазоне соблюдается пропорциональность $\ln R \sim f(1/T^{1/2})$,

что может быть интерпретировано как проявление механизма термоактивированного туннелирования в рамках модели Шенга и Абелеса.

В отличие от композита, для многослойных структур данная пропорциональность не выполняется, а наиболее удовлетворительная линейаризация сопротивления происходит в координатах $\ln R \sim f(1/T)$, при этом в области температур порядка 167 К наблюдается излом и разделение на два участка. Оценки энергии активации электрической проводимости на этих участках и сравнение с литературными источниками [1] позволяют предположить, что в диапазоне от 77 до 160 К многослойных структурах $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$ реализуется прыжковая проводимость с прыжками по ближайшим соседям, а в диапазоне от 160 до 300 К — примесная проводимость по прослойкам ZnO.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-4296.2022.1.2

1. L. Schmidt-Mende, J.L., MacManus-Driscoll ZnO – nanostructures, defects, and devices, *Materials Today*, 10, 40, (2007)

MAGNETIC AND MAGNETOIMPEDANCE IMPEDANCE PROPERTIES OF COBALT-BASED AMORPHOUS RIBBONS WITH DIFFERENT GEOMETRIES

Pasynkova A.A.^{1,2}, Timofeeva A.V.^{1,2}, Lukshina V.A.¹, Kurlyandskaya G.V.²

¹⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia

²⁾ Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University,
620002 Ekaterinburg, Russia
E-mail: pasynkova_a@imp.uran.ru

A comparative analysis of the influence of geometric parameters on the features of the effective magnetic anisotropy and magnetoimpedance effect was carried out for Co-based amorphous ribbons in the as-quenched state and after relaxation annealing.

The giant magnetic impedance (GMI) effect consists in a significant change in the impedance of a ferromagnet when an external magnetic field is applied and a high-frequency current passes through it [1]. It is useful technique for the analysis of the effective magnetic anisotropy and dynamic magnetic permeability in the MHz frequency range [2]. Rapidly quenched Co-based amorphous ribbons with small negative magnetostriction constant is a good model material for studies of the effective magnetic anisotropy [3]. The length, width and ratio of width/length are very essential contributing to the shape anisotropy peculiarities. As-quenched and ribbons after a relaxation annealing usually had longitudinal effective magnetic anisotropy and one-peak type response for the field dependence of GMI [3]. In this work, the structure, magnetic, and GMI properties of Co-based ribbons with different parameters of the effective magnetic anisotropy were comparatively studied.

Fe₃Co₆₇Cr₃Si₁₅B₁₂ amorphous ribbons were obtained by rapid quenching. Ribbons with 0.8 mm (S1) and 2 mm (L1) width were prepared. Annealing at 350°C for 1 hour without load (S2 and L2, respectively) was done for frozen stresses relaxation. The thickness of the ribbons was about 32 μm for the 2 mm wide ribbons and 24 μm for the 0.8 mm wide ribbons, the length was 4.5 cm in both cases. An X-ray diffraction analysis (Bruker D8 Advance) and a study of magnetic hysteresis loops (MMKS-05) were carried out showing amorphous structure and longitudinal effective anisotropy in all cases. The GMI was studied using Agilent HP e4991A impedance analyzer. The GMI ratio of the total impedance Z was calculated as follows: $\Delta Z/Z = 100\% \cdot (Z(H) - Z(H_{max}))/Z(H_{max})$, $H_{max} = 110$ Oe. Figure 1 shows the frequency dependence of the maximum of the GMI ratio of the total impedance $(\Delta Z/Z)_{max}$. In as-quenched state, GMI responses of L1 wide ribbons are very similar to the L2 in the frequency range up to 20 MHz. For higher frequencies, higher value of $\Delta Z/Z$ was observed for annealed ribbon confirming the lower level of the internal stresses. However, the relaxation annealing of narrow ribbons results in the remarkable increase of the maximum of $\Delta Z/Z$ ratio from about 200% for S1 to about 260% for S2. As in the case of L1 and L2

ribbons, peak of $\Delta Z/Z$ ratio after annealing slightly displaces toward the higher frequencies.

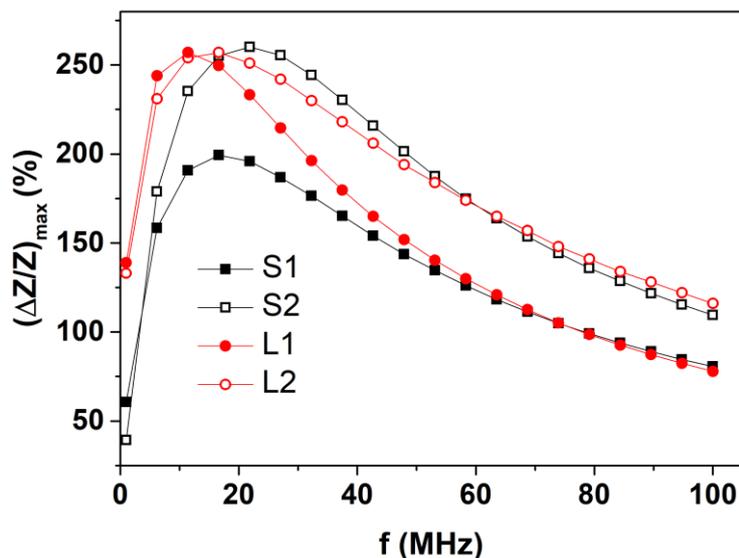


Fig. 1. Frequency dependence of the maximum of the GMI ratio for ribbons with different cross sections (S1, S2 - 0.8 mm, L1, L2 - 2 mm) and type of treatment (S1, L1 – as-quenched state, S2, L2 - after relaxation annealing).

This work was financially supported by the grant of President of Russian Federation MK-2080.2022.1.2.

1. R. S. Beach, A. E. Berkowitz, Appl. Phys. Lett. 64, 3652 (1994)
2. S. O. Volchkov, A. A. Pasyukova, M. S. Derevyanko, D. A. Bukreev, N. V. Kozlov, Andrey V. Svalov, A. V. Semirov, Sensors 21(20), 67283 (2021)
3. G.V. Kurlyandskaya, J.M. Barandiaran, M. Vazquez, D. Garcia, N.V. Dmitrieva J. Magn. Magn. Mater. 215-216, 740 (2000)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИКОСЕКУНДНЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОЙ КОМПРЕССИИ ЭНЕРГИИ

Патраков В.Е.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт Электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: vitpatrakov@gmail.com

NUMERICAL SIMULATION OF PICOSECOND MAGNETIC COMPRESSION LINES

Patrakov V.E.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Electrophysics, Yekaterinburg, Russia

Magnetic compression lines (MCL) are a recent extension of all solid-state pulsed power approach, that has allowed increasing peak power of picosecond pulses far into multi-gigawatt range. In this study a numerical model of MCL has been developed using COMSOL Multiphysics simulation software.

Нелинейные линии передачи (NLTL – non-linear transmission line), заполненные ферритом в состоянии насыщения, имеют большие перспективы в качестве мощных импульсных источников микроволнового излучения. Такие линии, называемые гиромагнитными, на сегодняшний день могут обеспечивать генерацию микроволнового излучения с импульсной мощностью порядка 100 МВт [1]. Частота генерации может достигать 20 ГГц [2]. Генерация микроволновых колебаний в NLTL происходит из-за прецессии вектора намагниченности насыщенного феррита вокруг линий эффективного магнитного поля, складывающегося из поля питающего импульса и поля внешнего подмагничивающего соленоида. Прецессия намагниченности вызывает изменение магнитного потока в сечении линии и, соответственно, возникновение ЭДС индукции в проводниках линии, что и приводит к преобразованию импульса и генерации колебаний.

В последние годы также исследуется иной подход, состоящий в использовании NLTL для увеличения мощности монополярных электрических импульсов мультигигаваттного диапазона мощностей [3, 4]. Для реализации такого подхода длительность питающего высоковольтного импульса должна быть примерно равна периоду генерируемых линией колебаний. Это позволяет эффективно использовать первый полупериод генерируемых колебаний как более мощный выходной импульс. Такие линии носят название MCL (Magnetic Compression Line – линия магнитной компрессии энергии). На сегодняшний день самая мощная установка, использующая MCL-подход, содержит в себе четыре каскада MCL и может обеспечивать на 48-омной нагрузке мощность до 77 ГВт при длительности импульса 105 пс [4].

Для более качественного понимания физических процессов, протекающих при работе МСЛ, а также в целях проектирования новых каскадов МСЛ-систем, в данной работе была разработана численная модель МСЛ. Электродинамическая часть модели описывается уравнениями Максвелла в записи через магнитный векторный потенциал (полноволновая постановка). Прецессия вектора намагниченности описывается уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта. Система из указанных уравнений решается численно в двумерной осесимметричной геометрической постановке с помощью среды для численного моделирования COMSOL Multiphysics [5].

Результаты расчёта выходного импульса по составленной модели в сопоставлении с экспериментальными данными по упоминавшейся 77-гигаваттной системе приведены на рисунке 1. Наблюдается хорошее согласие модели и экспериментальных данных по амплитуде и форме основного пика выходного импульса. Модель также позволяет анализировать распределение электромагнитного поля и других физических величин в сечении линии.

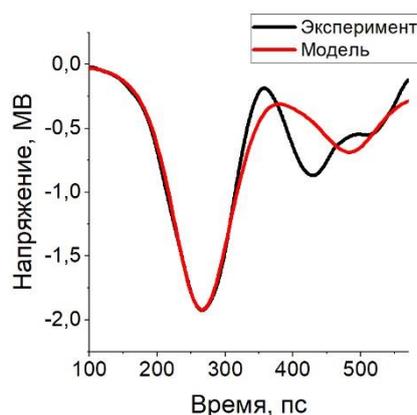


Рис. 1. Форма выходного импульса четвертой ступени МСЛ согласно экспериментальным данным [4] и расчёту по составленной модели

1. Romanchenko I. V. et al. Four channel high power RF source with beam steering based on gyromagnetic nonlinear transmission lines // Review of Scientific Instruments. – Т. 88. – С. 054703. (2017)
2. Ulmaskulov M. R., Shunailov S. A. Microwave generation modes of ferrite nonlinear transmission lines up to 20 GHz // Journal of Applied Physics. – Т. 130. – С. 234905. (2021)
3. Alichkin E. A. et al. Picosecond solid-state generator with a peak power of 50 GW // Review of Scientific Instruments. – Т. 91. – С. 104705. (2020)
4. Rukin S. et al. Generation of multi-gigawatt picosecond pulses by magnetic compression lines // 2020 7th Int. Congr. on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE). – IEEE. – С. 92-97. (2020)
5. COMSOL Multiphysics Reference Manual 5.4, COMSOL AB, Stockholm, Sweden. (2018)

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОТУБУЛЯРНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Петренёв И.А.¹, Вохминцев А.С.¹, Камалов Р.В.¹, Вайнштейн И.А.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: i.a.petrenev@urfu.ru

THE RELIABILITY ESTIMATION FOR MEMRISTOR STRUCTURES BASED ON NANOTUBULAR ZIRCONIA

Petrenyov I.A.¹, Vokhmintsev A.S.¹, Kamalov R.V.¹, Weinstein I.A.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Reliability of memristors based on nanotubular zirconia was studied. The endurance is estimated to be > 113 thousand cycles as well as the resistance ratio is > 3000. The devices are able to remain stable for > 9 days in high and low resistance states at room temperature.

К мемристорам предъявляется множество требований, касающихся их эффективности (напряжения переключения, сопротивления в различных резистивных состояниях), возможности использования для различных применений (время переключения между состояниями, количество резистивных состояний, линейность) и надёжности (количество циклов работы, время удержания одного состояния). Ранее для структур на основе нанотубулярного диоксида циркония (ZrO_2 -nt) нами были исследованы параметры эффективности [1, 2] и применимость в областях резистивной памяти [2] и нейроморфных систем [3]. Однако именно характеристики надёжности мемристорных структур имеют решающее значение для оценки их потенциала по интеграции в коммерческие разработки. В связи с чем цель данной работы заключалась в исследовании и количественной оценке максимального количества циклов работы и времён удержания состояний с высоким и низким сопротивлением для устройств со структурой Zr/ZrO_2 -nt/Au.

Слой ZrO_2 -nt был получен методом анодирования металлического циркония в двухэлектродной ячейке при постоянном напряжении 20 В в течение 5 мин [4]. Синтезированный слой оксида толщиной 1.7 мкм состоял из самоупорядоченных нанотрубок с внутренним диаметром 30 нм и толщиной стенок 10 нм. Золотые контакты толщиной 50 нм и диаметром 140 мкм на слое ZrO_2 -nt наносились методом магнетронного напыления.

Вольт-амперные характеристики полученных мемристоров Zr/ZrO_2 -nt/Au изучались с помощью микрозондовой станции Cascade Microtech MPS 150 [2]. Zr-подложка заземлялась, а управляющий сигнал подавался на Au-контакты.

Переключение мемристоров осуществлялось в биполярном режиме. Импульсы записи информации имели амплитуду 4 В, а импульсы чтения – амплитуду 0.1. Характеристика удержания того или иного состояния измерялась с интервалом 24 ч.

В импульсном режиме было достигнуто количество циклов работы более 113 тысяч. При этом отношение сопротивлений R_{HRS} / R_{LRS} на всём протяжении работы мемристоров было равно не менее $3 \cdot 10^3$. Значение R_{HRS} варьировалось от 900 кОм до 50 ГОм, а R_{LRS} – от 25 до 315 Ом. Также было показано, что мемристоры способны удерживать оба состояния сопротивления более 9 суток для значений $R_{LRS} < 40$ Ом и $R_{HRS} > 600$ кОм. Сравнение полученных данных о надёжности структуры Zr/ZrO_2 -nt/Au с литературными [5] свидетельствует о стабильности работы исследуемых мемристорных структур и возможности их использования в качестве элементов резистивной памяти.

Исследование выполнено в рамках инициативного научного проекта FEUZ-2020-0059 Минобрнауки РФ

1. I.A. Petrenyov, A.S. Vokhmintsev, R.V. Kamalov, I.A. Weinstein, AIP Conf. Proc. 2174, 020242 (2019).
2. A.S. Vokhmintsev, I.A. Petrenyov, R.V. Kamalov, I.A. Weinstein, Nanotechol. 33, 075208 (2022).
3. A.S. Vokhmintsev, R.V. Kamalov, A.V. Kozhevina, I.A. Petrenyov, N.A. Martemyanov, I.A. Weinstein, Proc. 2018 USBEREIT, pp. 348-351 (2018).
4. I.A. Petrenyov, R.V. Kamalov, A.S. Vokhmintsev, N.A. Martemyanov, I.A. Weinstein, J. Phys. Conf. Ser. 1124, 022004 (2018).
5. K.-H. Choi, N. Duraisamy, M.N. Awais, N.M. Muhammad, H.-C. Kim, J. Jo, Mater. Sci. Semicond. Process. 16, pp. 1285-1291 (2013).

СИГНАЛЫ ЭПР НАБЛЮДАЕМЫЕ В МЕЛАНОПРОТЕИНОВОМ ВОЛОКНЕ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Подшивалов А.П.¹, Байтимиров Д.Р.¹, Конев С.Ф.¹, Иванов Д.В.²

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН
E-mail: alexey.podshivalov@urfu.me

EPR SIGNALS IN MELANOPROTEIN FIBER AT LOW TEMPERATURE AND UNDER THE INFLUENCE OF IONIZING RADIATION

Podshivalov A.P.¹, Bajtimirov D.R.¹, Konev S.F.¹, Ivanov D.V.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) M.N. Miheev Institute of Metal Physics Ural Branch of Russian Academy of Sciences

In this paper we studied the EPR signals in the melanoprotein fiber at a temperature of $T = 77\text{K}$ and as a result of the exposure to ionizing radiation. These EPR signals are associated with paramagnetic centers localized in the structure of α -keratin, and their intensity increases upon irradiation.

В данной работе исследуются сигналы Электронного Парамагнитного Резонанса (ЭПР), наблюдаемые в меланопротеиновом волокне человеческого волоса при температуре $T=77\text{ K}$ и в результате воздействия ионизирующего излучения, создаваемого линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2.

Человеческий волос представляет собой высокоупорядоченное биоволокно, состоящее из белка кератина и биополимера меланина. В силу своих свойств – рост с одинаковой скоростью на протяжении всей жизни человека – он является ретроспективным датчиком биохимических процессов в организме. Кроме того, α -кератин волоса представляет собой природный материал, содержащий протеиновые нанотрубки внешним диаметром 10 нм, внутренним диаметром 7 нм [1], схожим по пространственной архитектуре со многими упорядоченными углеродными волокнами.

Ранее нами было показано [2], что спектр ЭПР волоса при температуре 77 К содержит сигналы в районе $g = 2.08$ (одиночный пик – а) и $g = 2.03$ (дублет с расщеплением $\Delta H = 8\text{ Гс}$ – б), как показано на рис. 1. Форма сигналов не меняется от образца к образцу. При комнатной температуре данные сигналы не наблюдаются.

При изучении радиационно-индуцированных парамагнитных центров, возникающих под воздействием ИИ, в спектре ЭПР облучённого волоса нами при комнатной температуре были обнаружены сигналы характерной формы, содержащие линии а при $g = 2.06$ и б в районе $g = 2.03$ с расщеплением $\Delta H = 8\text{ Гс}$.

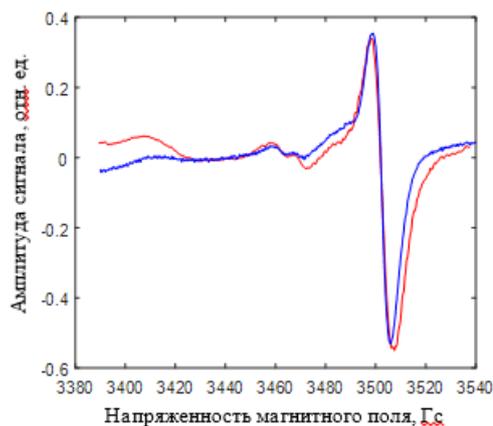


Рис. 1. Спектры ЭПР человеческого волоса (красная линия – спектр образца при $T=77\text{K}$, синяя линия – спектр образца, подвергнутого воздействию ИИ)

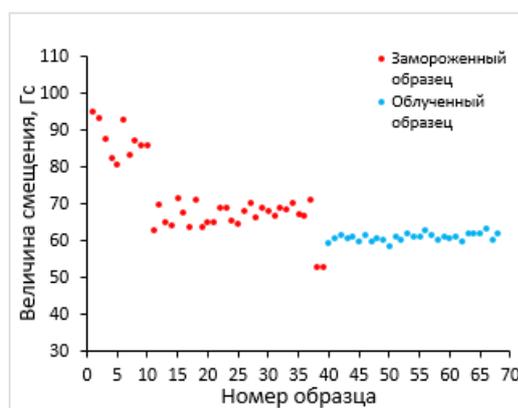


Рис. 2. График величины смещения между максимумом сигнала **a** и минимумом дублета **б**

На рис. 2 показаны результаты сравнительного анализа смещения сигнала **б** относительно **a** (фиксировалось расстояние от максимального значения сигнала **a** до минимума дублета **б**). Как видно из рисунка, величина смещения для группы образцов, подвергшихся воздействию ИИ дозой равной 40 кГр, практически не меняется и характеризуется величиной $\Delta H_{\text{max/min}} \approx 61$ Гс. Для группы образцов охлажденных до $T = 77$ К характерна величина смещения $\Delta H_{\text{max/min}} \approx 67$ Гс, однако для некоторых образцов величина смещения либо меняется в диапазоне от 80 Гс до 95 Гс, либо равна 53 Гс, что может быть связано с индивидуальными особенностями данных образцов.

Таким образом, разница между $\Delta H_{\text{max/min}}$ обеих групп составляет порядка 6 Гс, что, вероятно, может быть связано с изменением формы α -кератина под действием низких температур.

В результате проведенного исследования показано, что в меланопротеиновом волокне волоса в норме присутствуют парамагнитные центры, характеризующиеся сигналами **a** и **б**, связанными со структурой α -кератина, чувствительные к воздействию ионизирующего излучения – при облучении их интенсивность увеличивается.

Таким образом, следующим шагом в исследовании парамагнитных свойств меланопротеинового волокна человеческого волоса станет изучение природы, свойств и характеристик рассматриваемых сигналов ЭПР.

1. Мишинкина Е.А., Байтимиров Д.Р., Конев С.Ф., Тезисы докладов XVII Всероссийская школа-семинар по пробелам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-2017), с. 260, (2016).
2. Минихаметова Е.А., Байтимиров Д.Р., Конев С.Ф., Иванов Д.В., Правишкина Т.А., Тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции: Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2018, с. 179, (2018)

РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАНОКОМПОЗИТОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МАКСВЕЛЛА-ГАРНЕТТА И БРУГГЕМАНА

Потапова И.И.¹, Яцышен В.В.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный университет"
E-mail: potapova.irina@volsu.ru

CALCULATION OF FREQUENCY AND ENERGY DEPENDENCIES IN RADIATION TRANSMISSION FOR NANOCOMPOSITES USING THE MAXWELL-HARNETT AND BRUEGGEMANN MODELS

Potapova I.I.¹, Yatsishen V.V.¹

¹) Federal State Autonomous Education Institution of Higher Education "Volgograd State University"

In this work, we calculated the complex permittivity for a nanocomposite with silver particles using the Maxwell-Garnett and Brueggemann models. The refractive index of the nanocomposite in the case of s-polarization and the energy reflection and transmission coefficients were calculated.

Изучение композитных материалов с наночастицами важно, так как на их поверхности возможно распространение поверхностных плазмонов [1].

В нашем докладе, опубликованном ранее, уже было доказано существование диапазона относительных частот, в котором наблюдается полное отражение света от тонкой пластины из нанокompозитного материала. В этой области нанокompозит ведет себя как резонансный диэлектрик, в котором могут возбуждаться объемные плазмон-поляритоны, характеризующиеся появлением запрещенной зоны с полным отражением [4].

В данной работе мы рассмотрим нанокompозит в виде матрицы диэлектрика с равномерно распределенными в нем наночастицами металла в форме шара диаметром много меньше длины волны и глубины проникновения поверхностных поляритонных волн в материал.

В дальнейших вычислениях мы опирались на численные данные статьи Джонсона и Кристи об оптических постоянных благородных металлов [2]. Диэлектрическая проницаемость матрицы диэлектрика принята $\epsilon_d=2,56$, плазменная частота $\omega_p=9$ эВ, релаксационная постоянная $\gamma=0,02$ эВ, ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость воздуха ($\epsilon_0=1$)

Расчет диэлектрической проницаемости металла наночастиц будем проводить исходя из приближения Друде [1]:

$$\epsilon_m(\omega)=\epsilon_0-(1/(y*(y+i*G))) \quad (1)$$

$y=\omega/\omega_p$ - нормированная частота,

$G=\gamma/\omega_p$ - нормированное затухание.

Формула Максвелла-Гарнетта для диэлектрической проницаемости нанокомпозита:

$$\epsilon_M(\omega) = (\epsilon_d(1+2x))/(1-x) \quad (2)$$

$$\text{где } x = (f(\epsilon_m - \epsilon_d))/(\epsilon_m + 2\epsilon_d)$$

Вычислим диэлектрическую проницаемость по формуле Бруггемана:

$$\epsilon_M(\omega) = (NB + \sqrt{(NB)^2 + 8\epsilon_m\epsilon_d})/4 \quad (3)$$

$$NB = (2-3f)\epsilon_d - (1-3f)\epsilon_m \quad (4)$$

Формула (3) Максвелла-Гарнетта, не описывает влияния размера наночастиц на частотную дисперсию вблизи частоты плазмонного резонанса [3].

Найдем также показатель преломления нанокомпозита в случае s-поляризации по формуле:

$$N_s = \sqrt{(\epsilon_M(\omega)\epsilon_0)/(\epsilon_M(\omega) + \epsilon_0)} \quad (6)$$

Выразим амплитуды прошедшей и отраженной волн через амплитуду падающей волны:

$$A_t = (2kz_i A_0) / (kz_2^2(g_1 - g_2) + kz_i(g_1 + g_2)) = T A_0 \quad (7)$$

$$A_r = ((g_1 + g_2)T - 1) A_0 = R A_0 \quad (8)$$

Для энергетических коэффициентов отражения и прохождения соответственно получим:

$$R_R = |R|^2 \quad (9)$$

$$T_T = S_z / S_{zi} \quad (10)$$

Вектор Пойтинга:

$$S_{zi} = (kz_i c |A_0|^2) / (k_0^8 \pi) \quad (11)$$

$$S_z = (kz_3 c |A_t|^2) / (k_0^8 \pi) \quad (12)$$

И получим окончательное выражение для энергетического коэффициента прохождения:

$$T_T = S_z / S_{zi} = (kz_3 c |A_t|^2) / (kz_i c |A_0|^2) \quad (13)$$

Таким образом, при расчете комплексной диэлектрической проницаемости рассматриваемого нанокомпозитов можно сделать вывод, что подход Бруггемана является более строгим. Как видно на рисунке 1, значения ϵ_M , рассчитанные по формуле Максвелла-Гарнетта и по формуле Бруггемана, совпадают только при больших частотах $\omega/(\omega_p) > 1,7$, однако уже $\omega/(\omega_p) < 1,6$ эти значения начинают различаться.

Полученные выражения говорят о том, что энергетические коэффициенты для поверхностных плазмонов имеют резонансный характер.

1. Yatsyshen, V.V., Potapova, I.I., Verevkina, K.Y. Ellipsometry of Nanocomposite Layered Materials Lecture Notes in Networks and Systems, 155, pp. 258-268, (2021)
2. Johnson P.B., Christy R.W. Optical constant of the noble metals // Phys. Rev. B, V. 6. P. 4370-4379, (1972).
3. Potapova, I.I., Yatsishen, V.V. Dependence of complex dielectric permeability and complex refraction index from frequency for composite with gold nanoparticles, AIP Conference Proceedings, 2313, статья № 030026, (2020)

4. Яцышен В.В., Потапова И.И. Частотные спектры отражения и прохождения света для тонкой пластинки из нанокompозита / Сборник трудов XIX Международной научно-технической конференции "Физика и технические приложения волновых процессов-2021". Самара. 23-26 ноября 2021 г. / Самара: ПГУТИ, 2021. – 297 с.: с ил. ISBN 978-5-907336-25-4

DEVELOPING A NEW EFFECTIVE MAGNETIC MODEL OF Fe_3GeTe_2 BASED ON AB-INITIO CALCULATIONS

Pushkarev G.V.¹, Badrtdinov D. I.¹, Yakovlev, I. A.¹, Mazurenko V. G.¹,
Rudenko A. N.¹, Mazurenko V. V.¹

¹) Department of Theoretical Physics and Applied Mathematics, Ural Federal University,
620002 Ekaterinburg, Russia
E-mail: puskarev.g.v@gmail.com

In our work we propose a new effective magnetic model for two-dimensional van der Waals ferromagnet Fe_3GeTe_2 . To prove its correctness we conducted ab-initio calculations as well as compared Curie temperatures using Monte Carlo simulations with the obtained parameters.

Mermin-Wagner theorem prohibit intrinsic ferromagnetism in 2D materials. Recent papers reported that magnetocrystalline anisotropy is the key that opens up the possibility of intrinsic ferromagnetism in 2D [1-3]. To study magnetic properties of 2D Fe_3GeTe_2 we construct the spin model with isotropic exchange interactions between iron ions and single-ion anisotropy. In this material two types of iron atomic positions can be distinguished: Fe_1 and Fe_2 . Two atoms of iron allocate position Fe_1 and another one allocate position Fe_2 . Due to strong nearest neighbour ferromagnetic exchange between iron atoms in position $\text{Fe}_1 \sim 114$ meV we propose that we can consider two iron atoms in position Fe_1 as effective cluster.

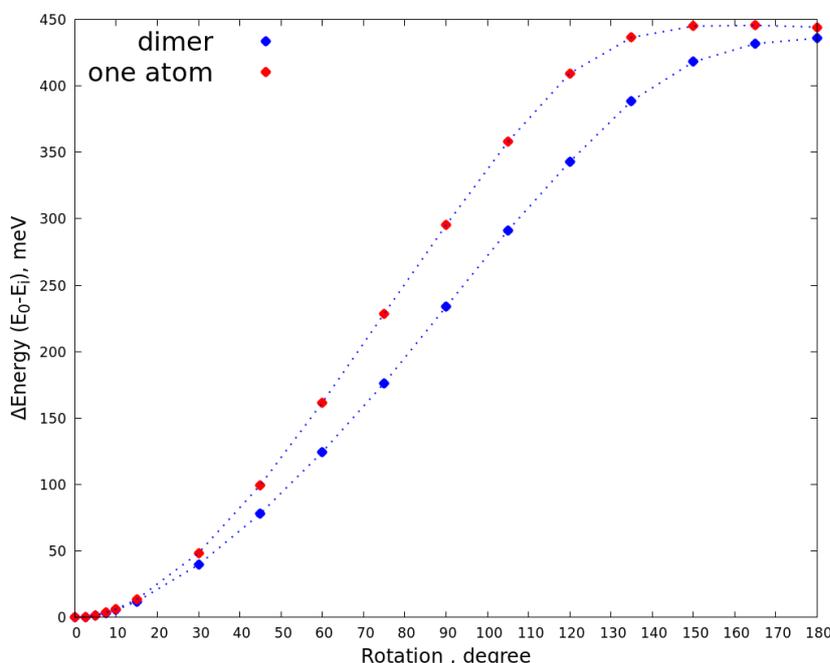


Рис. 1. Calculated energy difference between ferromagnetic ground state and energy with rotation of magnetic moments in one atom rotation scheme (red) and dimer rotation scheme (blue).

To prove this hypothesis we made calculations with rotation of magnetic moment of iron atoms position Fe_1 in two cases: rotation of one atom magnetic moment with constraining the others (one atom rotation scheme) and rotation of two iron atoms magnetic moments in position Fe_1 simultaneously as cluster with constraining the others (dimer rotation scheme). In our calculation we use Vienna Ab initio Simulation Package [5] that uses density functional theory. In our calculation we use 2x2 supercell with experimental crystal structure of bulk Fe_3GeTe_2 [4] with 16 angstrom additional space between layers to simulate monolayer structure. We calculate ground state energy for every 2.5 degree for small angles of rotation (less than 10 degree) and for every 15 degree for other angles. Our results demonstrate that rotation scheme with dimer cluster were more energy favorable. And both rotation cannot be fitted by simple $(1-\cos(\alpha))$ function. Moreover, the obtained Curie temperature is in a good agreement with the one for the full model as well as with the results of other studies.

This work was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 21-72-10136

1. J. L. Lado and J. Fernández-Rossier, 2D Materials 4,035002 (2017).
2. B. Huang et al, Nature 546, 270 (2017).
3. Y. Deng et al, Nature 563, 94 (2018).
4. H.-J. Deiseroth, K. Aleksandrov, C. Reiner, L. Kienle, and R. K. Kremer, European Journal of Inorganic Chemistry 2006, 1561 (2006)
5. G. Kresse and J. Furthmüller, Phys. Rev. B54, 11169(1996).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПИНОВЫХ СИСТЕМ С КОНКУРИРУЮЩИМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ МЕТОДОМ МОНТЕ- КАРЛО

Пятков А.Ю.¹, Панов Ю.Д.¹, Улитко В.А.¹

¹Уральский Федеральный Университет
E-mail: AlekseyPyatkov@yandex.ru

SIMULATION OF SPIN SYSTEMS WITH COMPETING INTERACTIONS BY THE CLASSICAL MONTE CARLO

Pyatkov A.Yu.¹, Panov Yu.D.¹, Ulitko V.A.¹

¹Ural Federal University

We performed multicanonical replica-exchange Monte-Carlo simulations for frustrated 2D Ising model with competing interactions.

Изучение свойств неупорядоченных и фрустрированных спиновых систем представляет большой интерес с фундаментальной и практической точки зрения [1]. Такие системы крайне чувствительны к различным типам взаимодействий и демонстрируют различные типы фазовых переходов при конечных температурах. При моделировании классический метод Монте-Карло (МК) сталкивается с известной проблемой “критического замедления” вблизи точки фазового перехода. Популярным решением здесь является использование репличного обменного алгоритма МК [2] при моделировании “проблемного” региона.

Мы рассматриваем модель Блюма-Капеля на квадратной решетке. Модель Блюма-Капеля позволяет смоделировать свойства некоторых купратов. При помощи репличного обменного алгоритма МК мы исследуем термодинамические характеристики данной модели вблизи трикритической точки. Исследование проводилось на больших решетках. Для ускорения расчетов алгоритм был реализован средствами языка CUDA. Для области трикритической точки [3] были получены гистограммы энергий.

Работа была выполнена при поддержке программы повышения конкурентоспособности Уральского Федерального университета (Акт 211 Правительства РФ, соглашение № 02.A03.21.0006) и Министерства образования и науки РФ, проект FEUZ-2020-0054.

1. H. T. Diep, Frustrated Spin Systems, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore (2004).
2. A. Mitsutake, Y. Sugita, and Y. Okamoto, E-print archives, cond-mat/0012021.
3. M.J. Jozef Strečka, Ising model, Blume-Capel model, Mean-field theory, Effective-field, Acta Physica Slovaca. 65 (2015) 235–367

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ СОЕДИНЕНИЙ $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$

Аникин М.С.¹, Тарасов Е.Н.¹, Рагозина М.В.¹, Потапов Е. В.¹,
Незнахин Д.С.¹, Зинин А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: maskim.anikin@urfu.ru

MAGNETIC PROPERTIES AND MAGNETOCALORIC EFFECT OF $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$ COMPOUNDS

Anikin M.S.¹, Tarasov E.N.¹, Ragozina M.V.¹, Potapov E.V.¹, Neznakhin D.S.¹,
Zinin A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. In this paper, presents the results of a study of the temperature and field dependences (H) of magnetization (M) and magnetocaloric effect (ΔS_m) of $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$ compounds at 2 – 380 K and in magnetic fields up to 90 kOe.

Ранее при исследовании соединений $R(Co_{1-x}Fe_x)_2$ ($x = 0 - 0.16$) с тяжелыми редкоземельными элементами (R), такими как Dy, Ho, Er, было установлено, что частичное замещение Co на Fe приводит к уширению пика изотермического изменения магнитной части энтропии (ΔS_m) в область температур ниже температур Кюри (T_C) [1], т.е. образуется так называемая плато-подобная зависимость $\Delta S_m(T)$. Что авторы связали с возникновением «низкотемпературного» максимума ΔS_m образующегося при упорядочении внешним магнитным полем редкоземельной подрешетки, частично разупорядоченной из-за слабого межподрешеточного обменного взаимодействия R-3d. В свою очередь, при исследовании аналогичных соединений $R(Co_{1-x}Fe_x)_2$ с легким редкоземельным элементов Nd, где энергия межподрешеточного R-3d обменного взаимодействия намного больше [2], добавка Fe не приводила к образованию плато-подобной зависимости $\Delta S_m(T)$ [3]. Позже на соединении с «не магнитным» иттрием – $Y(Co_{0.84}Fe_{0.16})_2$ было обнаружено уширение пика изотермического изменения энтропии (ΔS_m) в области температур ниже температур Кюри [4], что авторы связали с парамагнетизмом части атомов кобальта.

В связи с чем, была поставлена задача исследования структуры, магнитных и магнитотепловых свойства соединений $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$, с «не магнитным» металлом R = Y, при концентрациях Fe (x) выше критического значения 0.1375 [5]. С целью выяснения роли кобальтовой подрешетки в образовании плато-подобной зависимости $\Delta S_m(T)$.

Однофазность синтезированных образцов $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$, где $x = 0.14, 0.16, 0.20$, подтверждена методами рентгеноструктурного и термомагнитного анализа. Значения T_C составили 135, 200 и 285 К, соответственно.

На рисунке 1 представлены определенные температурные зависимости изменения магнитной части энтропии приведенная к значению ΔS_m в T_C ($\Delta S_m/\Delta S_{T_C}(T)$). Из рисунка 1 следует, что с ростом содержания железа максимальные значения ΔS_m (ΔS_{max}) увеличиваются, а величина ΔT_{FWHM} , характеризующая разность между максимальной и минимальной температурами на половине максимальной высоты пика $\Delta S_m(T)$, уменьшается. При этом значения ΔS_m в окрестности низкотемпературного максимума так же уменьшается с увеличением содержания железа.

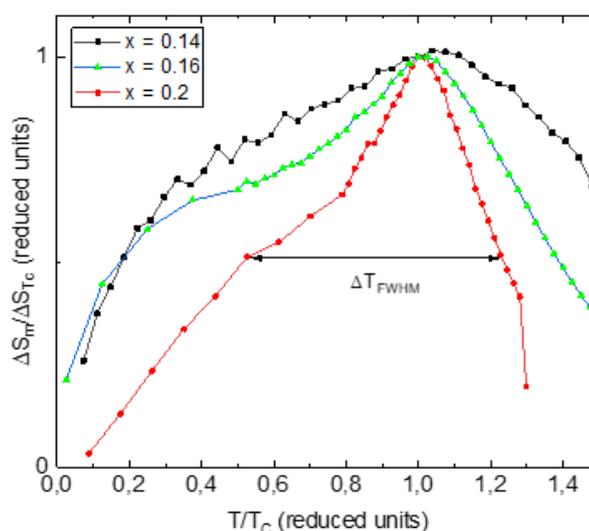


Рис. 1. Зависимости $\Delta S_m/\Delta S_{T_C}(T)$ для соединения $Y(Co_{1-x}Fe_x)_2$ в магнитном поле 70 кЭ

Из полученных результатов следует, что пик МКЭ сужается при увеличении концентрации железа на образцах с иттрием, что связано с усилением d-d обменного взаимодействия, что приводит к исчезновению низкотемпературной аномалии вызванной парамагнетизмом части атомов кобальта.

Работа выполнена при поддержке Государственного контракта FEUZ-2020-0051 между УрФУ и Министерством высшего образования РФ

1. Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Inishev A.A., Semkin M.A., Volegov A.S., Zinin A.V. Features of magnetic and thermal properties of $R(Co_{1-x}Fe_x)_2$ ($x \leq 0.16$) quasibinary compounds with $R = Dy, Ho, Er$ // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – V. 418. – PP. 181–187
2. E. Belorizky, M.A. Fremy, J.P. Gavigan, D. Givord, H.S. Li Evidence in rare-earth (R)-transition metal (M) intermetallics for a systematic dependence of R-M exchange interactions on the nature of the R atom // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. P. 3971.

3. М.С. Аникин, Е.Н. Тарасов, М.А. Сёмкин, А.С. Волегов, Е.В. Потапов, Н.В. Селезнева, А.В. Зинин. Магнитные и магнитотепловые свойства соединений $\text{Nd}(\text{Co}_{1-x}\text{Fex})_2$, $x \leq 0.16$ // Челябинский физико-математический журнал, 2021г., том 6, вып. 2, с. 217-225. DOI: 10.47475/2500-0101-2021-16207
4. M.S. Anikin, E.N. Tarasov, N.V. Kudrevatykh, D.S. Neznakhin, M.A. Semkin, N.V. Selezneva, S.V. Andreev, A.V. Zinin. Magnetic and magneto-thermal properties of ferrimagnetic alloys $(\text{Er}_{1-x}\text{Y}_x)(\text{Co}_{0.84}\text{Fe}_{0.16})_2$ and their dependence on the orientations of resultant and sublattice magnetizations // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2021. – V. 33. – P. 275801. DOI: 10.1088/1361-648X/abfc17
5. S.H. Kilcoyne The evolution of magnetic correlations and onset of magnetic order in $\text{Y}(\text{Co}_{1-x}\text{Fex})_2$ Physica B 276-278 (2000) 660-661

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ КЕРАМИК Al_2O_3 , ОБЛУЧЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ C^+/H^+

Рамазанова Г.Р.¹, Ананченко Д.В.¹, Никифоров С.В.¹, Баталов Р.И.²,
Баязитов Р.М.², Новиков Г.А.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского, Федеральный ис-
следовательский центр "Казанский научный центр РАН", Казань, Россия
E-mail: Ramazanova_Guzallia@mail.ru

LUMINESCENT PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED Al_2O_3 CERAMICS IRRADIATED WITH C^+/H^+ PULSED ION BEAMS

Ramazanova G.R.¹, Ananchenko D.V.¹, Nikiforov S.V.¹, Batalov R.I.², Bayazitov
R.M.², Novikov H.A.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Zavoisky Physical-Technical Institute, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan,
Russia

The luminescent properties of nanostructured $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ceramics irradiated with C^+/H^+ pulsed ion beams have been studied. The relationship between changes in the TL properties of ceramics and the formation of radiation defects under irradiation is discussed.

Материалы на основе широкозонных оксидов (Al_2O_3 , BeO , MgO , ZrO_2 и др.), обладающих высокой $T_{\text{пл}}$, механической, химической и радиационной стойкостью, являются перспективными для применения в области термоядерной энергетики [1]. Кроме того, указанные материалы используются в условиях сильных радиационных полей в качестве сцинтилляторов и люминесцентных дозиметров [2], что накладывает особые требования к радиационной стойкости. Особый интерес привлекает класс наноструктурных модификаций широкозонных оксидов, так как они обладают повышенной радиационной стойкостью по сравнению с их объемными аналогами за счет эффективной аннигиляции радиационных дефектов на границах наночастиц [3]. Создание радиационно-индуцированных дефектов в таких материалах возможно за счет облучения мощным импульсным ионным пучком (ИИП), которое приводит к плавлению и рекристаллизации приповерхностных слоев материала [4].

Целью данной работы является исследование люминесцентных свойств наноструктурного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, облученного импульсными ионными пучками C^+/H^+ .

В ходе работы исследовались образцы керамики $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с разным размером зерна, который изменялся за счет варьирования температуры отжига на воздухе. Радиационно-индуцированные дефекты в керамике создавались на установке ТЕМП-1 путем облучения мощными ИИП C^+/H^+ (~ 80% из C^+ , на ~ 20% из H^+)

с $E \approx 300$ кэВ и $\tau = 80$ нс. Измерения термолюминесценции (ТЛ) осуществлялись в режиме линейного нагрева со скоростью 2 °С/с в спектральном диапазоне $200 - 365$ нм. Для возбуждения ТЛ нами был использован тестовый пучок электронов (с $E = 130$ кэВ и дозой 15 кГр), генерируемый на ускорителе электронов РАДАН-ЭКСПЕРТ.

Кривые ТЛ образцов керамик, предварительно не облученных ИИП, состояли из двух пиков А ($160 - 173$ °С) и Б ($315 - 333$ °С). По мере роста температуры отжига интенсивность пика А возрастала, а пика Б – уменьшалась. Наиболее выраженное изменение интенсивностей пиков А и Б наблюдалось при $T_{отж} > 1300$ °С, когда резко увеличивался средний размер зерна исследуемых образцов.

Было обнаружено, что предварительное облучение ИИП приводило к изменению структуры кривой ТЛ, как показано на рисунке. Доминирующим пиком становился пик А, причем наблюдалось значительное увеличение интенсивности ТЛ. В работе также обсуждается связь изменений ТЛ свойств керамик $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, характеризующихся разным размером зерна, с генерацией в них радиационных дефектов под действием ИИП.

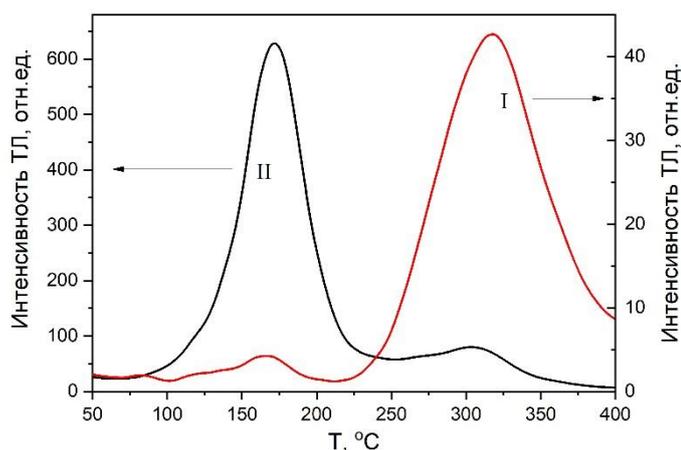


Рис. 1. Кривые ТЛ отожжённой при 1200 °С исходной наноструктурной керамики $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (I) и предварительно облученной С+/Н+ ИИП с $W = 2$ Дж/см² (II)

1. Ibarra A., Hodgson E. R., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 218, 29–35, (2004).
2. Yukihiro E. G., McKeever S. W. S., Optically stimulated luminescence: fundamentals and applications, John Wiley & Sons, (2011).
3. Andrievskii R. A., Nanotechnologies in Russia, 6, 357–369, (2011).
4. Ghyngazov S., Pavlov S., Kostenko V., Surzhikov A., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 434, 120–123, (2018).

**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ ИЗ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА,
ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК**

Разуева Д.А.¹, Мальцева В.И.¹, Андреев С.В.¹, Волегов А.С.¹, Степанова Е.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: d_razueva@mail.ru

**MAGNETIC CHARACTERISTICS OF TOROIDAL SAMPLES
PRODUCED BY 3D-PRINTING TECHNOLOGY FROM IRON POWDERS
AFTER ANNEALING**

Razueva D.A.¹, Maltseva V.I.¹, Andreev S.V.¹, Volegov A.S.¹, Stepanova E.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Influence of the heat treatment on the magnetic characteristics of toroidal samples produced by direct metal laser sintering were investigated. Additional high-temperature heating allows to achieve acceptable magnetic parameters, magnetization increases with the raising of the annealing temperature.

Аддитивные технологии, используемые при производстве магнитов, приобрели широкое распространение благодаря возможности получать магниты более сложной геометрической формы. Гибкость технологий аддитивного производства для изготовления изделий сложной геометрии из порошков магнитных металлов открывает уникальные возможности для новых концепций дизайна и повышения удельной мощности машин без значительного увеличения стоимости производства [1].

Так, например, в работе [2] исследовались образцы, изготовленные в форме кубов из пермаллоя-80 методом селективного лазерного спекания. В ходе исследования было установлено, что благодаря термическим обработкам удалось достичь существенного улучшения магнитных характеристик образцов за счет уменьшения пустот и межзеренных границ. Также было установлено, что магнитные свойства полученных образцов близки по величине к магнитным свойствам образцов, полученных традиционным способом.

В настоящей работе было проведено исследование влияния термических обработок (ТО) на магнитные свойства образцов в форме торов высотой 1 см и различными внешними и внутренними диаметрами (от 1 до 3 см), полученные из порошка карбонильного железа посредством аддитивной системы селективного лазерного плавления Orlas Creator RA с мощностью лазерного луча 158 Ватт и скоростью прохождения лазерного луча по поверхности порошка 1000 мм/с. На полученных торах в исходном состоянии и после ТО на комплексе ММКС-0.5-

100 (НИИ СТТ, г. Смоленск) были измерены следующие магнитные свойства: квазистатические кривые намагничивания, петли магнитного гистерезиса в магнитных полях от 100 А/м до 2000 А/м. Погрешность определения физических величин не превышала 3 %.

ТО исследуемых образцов проводились в печи СУОЛ в вакууме при температуре 900 °С и 1000°С с длительностью изотермической выдержки 1 час.

На рисунке представлены кривые намагничивания (рис.1 а) и петли гистерезиса при $H=2$ кА/м (рис.1б) образцов в исходном состоянии и после ТО. Как видно из рисунка 1а, B_{2000} после отжига при 900 °С возросла до 0,82 Тл, после ТО 1000 °С до 0,9 Тл. Соответственно увеличилась остаточная индукция (рис. 1б).

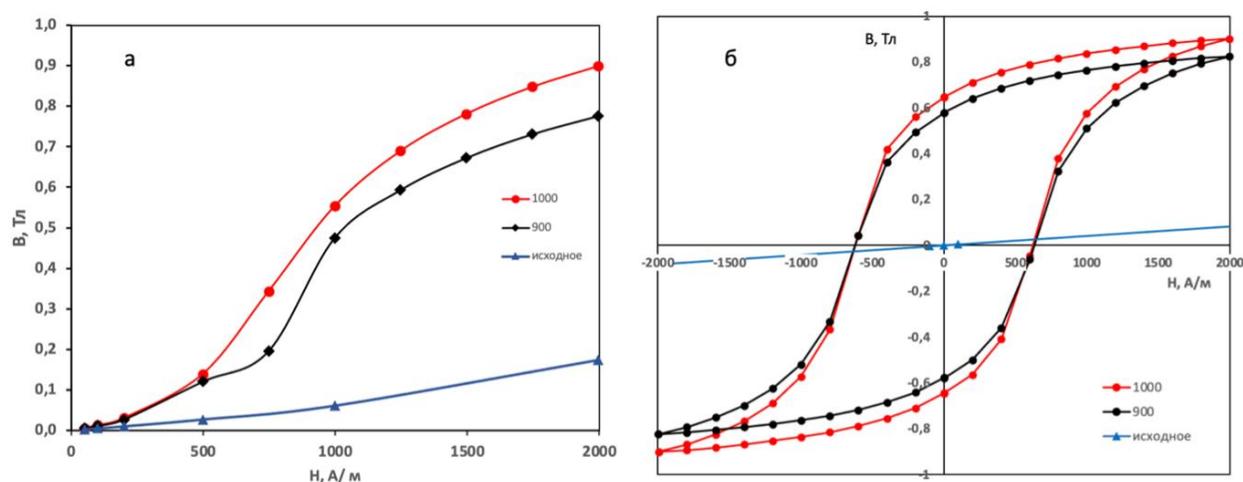


Рис. 1. а) Зависимость индукции магнитного поля от внешнего магнитного поля; б) Петли гистерезиса для $H=2$ кА/м для кольцевых образцов в исходном состоянии и после ТО при 900 °С и 1000 °С.

В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что для улучшения магнитных свойств образцов, полученных методом 3Д-печати, необходимо применять термические обработки. Повышение температуры изотермической выдержки приводит к более существенному улучшению свойств, вероятно, из-за укрупнения кристаллических зерен.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-72-10104.

1. А.Р. Сафин, Ranjan Kumar Behera, Аддитивное производство и оптимизация топологии магнитных материалов для электрических машин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. V. 23. 2021. P. 14-33
2. Zhukov A.S., Barakhtin B.K., Bobyr V.V., Kuznetsov P.A. and Shakirov I.V., The experience of magnets manufacturing from metal powder using a laser // Journal Of Physics: Conference Series. V. 14. 2021 P. 012122

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ МЕЗОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ(III) В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Романова К.А.¹, Галяметдинов Ю.Г.¹

¹) Казанский национальный исследовательский технологический университет
E-mail: ksenuya@mail.ru

THEORETICAL SIMULATION OF THE EMISSION EFFICIENCY OF MESOGENIC EUROPIUM(III) COMPLEXES IN OPTOELECTRONIC MATERIALS

Romanova K.A.¹, Galyametdinov Yu.G.¹

¹) Kazan National Research Technological University

Relationships between liquid-crystalline properties, energies of the excited states, intramolecular energy transfer rates, and quantum yields of some mesogenic europium(III) complexes were studied. Their application with conductive conjugated polymers in optoelectronic materials was evaluated.

Мезогенные комплексы европия(III) (Eu(III)) с уникальным строением, отличительными жидкокристаллическими (ЖК), оптическими и магнитными свойствами выступают в роли компонентов перспективных функциональных материалов для оптоэлектроники и биомедицины [1]. Наличие неоднозначной взаимосвязи между их строением, структурой и свойствами, зависящими от различных факторов, осложняет практическое применение данных соединений. Вероятность заранее предугадать их оптические и ЖК свойства на стадии синтеза крайне невелика. В данной работе были выявлены теоретические подходы к созданию функциональных материалов на основе ряда мезогенных комплексов Eu(III) с β -дикетонами и основаниями Льюиса, а также некоторых проводящих полимеров. Изучены взаимосвязи между молекулярным строением, природой координационных полиэдров, параметрами полиэдров Вороного-Дирихле, эффективностью люминесценции и ЖК свойствами комплексов Eu(III). На основании рассчитанных энергий возбужденных состояний были определены основные каналы внутримолекулярного переноса энергии в комплексах Eu(III), рассчитаны скорости переноса энергии и значения квантового выхода люминесценции. Произведена оценка эффективности межмолекулярного переноса энергии в оптоэлектронных материалах на их основе и совместного применения с некоторыми проводящими полимерами. В ходе работы было установлено, что ЖК свойства мезогенных комплексов Eu(III) в основном определяются их лигандным окружением, магнитные свойства зависят от природы координационного полиэдра, на оптические свойства оказывают влияние оба этих фактора.

Квантово-химические расчеты были проведены с использованием суперкомпьютеров МВС-10П и МВС-100К «Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН». Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № ГСГК-0064/21. Проект реализуется победителем Конкурса на предоставление грантов преподавателям магистратуры благотворительной программы «Стипендиальная программа Владимира Потанина» Благотворительного фонда Владимира Потанина.

1. K. A. Romanova, A. V. Kremleva and Yu. G. Galyametdinov, Int. J. Quantum Chem., V. 121, e26569 (2021).

АТТЕСТАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ $\text{LiNi}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{PO}_4$

Ромашко П.Е¹, Семкин М.А^{1,2}

¹) Институт естественных наук и математики УрФУ, Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: polina.romashko.2014@mail.ru

REFINEMENT OF THE CRYSTAL STRUCTURE $\text{LiNi}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{PO}_4$

Romashko P.E¹, Semkin M.A^{1,2}

¹) Institute of Natural Sciences and Mathematics UrFU, Yekaterinburg, Russia

²) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The X-ray diffraction measurement has been carried out to study the $\text{Li}(\text{Ni},\text{Co})\text{PO}_4$ prepared by the glycerol-nitrate synthesis method. An expansion of the cell volume depends on concentration of the Co-ions and is anisotropic: a, b, c parameters are increases and all obey the Vegard's law.

Соединения $\text{Li}(\text{Ni},\text{Co})\text{PO}_4$, с одной стороны, интересны с фундаментальной точки зрения они относятся к классу магнитоэлектрических материалов и обладают антиферромагнитным упорядочением при низких температурах, ниже 20 К [1]. С другой стороны, с прикладной точки зрения литиевые ортофосфаты представляют интерес в качестве перспективных катодных материалов для литий-ионных аккумуляторов. Чтобы повысить проводимость таких материалов, применяют, например, процедуры легирования и поиска оптимальной структуры, модификацию поверхности электрода, и другие способы физико-химического воздействия [2].

Целью нашей работы является синтез стехиометрического состава $\text{LiNi}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{PO}_4$ и проведение его структурной аттестации. Уточненные параметры кристаллической структуры $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{PO}_4$ играют важную роль при описании остальных физико-химических свойств литиевых ортофосфатов [3].

Поликристаллический образец $\text{LiNi}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{PO}_4$ был получен глицерин-нитратным методом синтеза. Рентгеноструктурная аттестация была выполнена на дифрактометре высокого разрешения Advance D8 ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$). Описание рентгенограммы методом Ритвельда проведено в программе Fullprof Suite, визуализация кристаллической структуры выполнена в программе VESTA.

Кристаллическая структура соединений $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{PO}_4$ описывается орторомбической пространственной группой $Pnma$. Ионы Li занимают позицию 4a с координатами (0; 0; 0), ионы Ni, Co и P занимают позиции 4c (x; 0.25; z), а ионы O расположены в двух узлах 4c и позиции 8d (x; y; z). Результаты рентгеноструктурного анализа $\text{LiNi}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{PO}_4$: уточнены параметры кристаллической структуры, размеры элементарной ячейки $a = 10.190 \pm 0.002 \text{ \AA}$, $b = 5.915 \pm 0.001 \text{ \AA}$, $c = 4.699 \pm 0.001 \text{ \AA}$, близки с известными в литературе для LiCoPO_4 $a = 10.213 \pm 0.005$

\AA , $b = 5.920 \pm 0.004 \text{\AA}$, $c = 4.700 \pm 0.004 \text{\AA}$ [4]. Анализ концентрационных зависимостей параметров кристаллической структуры $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{PO}_4$ показал, что с увеличением содержания кобальта от $x = 0.8$ до $x = 1$ наблюдается анизотропный рост a , b , c . Наибольшее изменение от концентрации (x) испытывает параметр a , остальные структурные параметры (координаты ионов) $\text{LiNi}_{0.1}\text{Co}_{0.9}\text{PO}_4$ близки к уточненным ранее параметрам $\text{LiNi}_{0.2}\text{Co}_{0.8}\text{PO}_4$ [5] и LiCoPO_4 . Линейный характер концентрационных зависимостей параметров a , b , c соединений $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{PO}_4$ подчиняется закону Вегарда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-60011

1. Semkin M.A., et al. Magnetic phase transitions in the $\text{LiNi}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{PO}_4$ ($M = \text{Co}, \text{Mn}$) single crystals // *Physica Scripta* 2022. V. 97. P. 025707.
2. Kartchickrabhu S., et al. Electrochemical performances of $\text{LiNi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{PO}_4$ ($x = 0.05\text{--}0.2$) olivine cathode materials for high voltage rechargeable lithium ion batteries // *Appl. Surf. Sci.* 2018. V. 449. P. 435–444.
3. Urusova N.V., et al. Analysis of migration maps and features of magnetic properties of $\text{LiNi}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{PO}_4$ ($M = \text{Co}, \text{Mn}$) single crystals // *J. All. Comp.* 2019. V. 781. P. 571–581.
4. Rissouli K., et al. Crystallochemical and magnetic studies of $\text{LiM}_{1-x}\text{M}'_x\text{PO}_4$ ($M, M' = \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}; 0 \leq x \leq 1$) // *Ann. Chim. Sci. Mat.* 1998. V. 23. P. 85–88
5. Ромашко П.Е., Сёмкин М.А. Особенности кристаллической структуры соединения $\text{LiNi}_{0.2}\text{Co}_{0.8}\text{PO}_4$ // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021», секция «Физика» (Москва (on-line), 12-23 апреля 2021): тезисы докладов. МГУ. 2021. С. 62.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ОБЛУЧЕННОЙ СТЕАТИТОВОЙ КЕРАМИКИ СНЦ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Нуритдинов И.¹, Саидахмедов К.Х.¹, Эсанов З.У.¹, Мажидов Х.М.¹,
Ирисов Ш.¹

¹) ИЯФ АН РУз

E-mail: skhahramon@yandex.ru

INVESTIGATION OF RADIATION DEFECTS IN IRRADIATED SNC STEATITE CERAMICS BY OPTICAL SPECTROSCOPY

Nuritdinov I.¹, Saidakhmedov Kh.H.¹, Esanov Z.U.¹, Mazhidov Kh.M.¹,
Irisov Sh.¹

¹) INP AS RUz

Radiation defects formed in steatite ceramics of SNC irradiated with high doses of γ - and reactor no- γ -irradiation were studied by the method of diffuse reflection. During no- γ -irradiation of the reactor, in comparison with γ -irradiation, additional structural defects are formed.

В атомной энергетике растёт потребность в материалах, пригодных для использования в полях повышенной радиации. Кроме того, стоит задача более рационального использования уже существующих материалов в экстремальных условиях. В этом аспекте керамические диэлектрики занимают особое место, в том числе магнезиальная керамика на основе $MgSiO_3$, т.е. стеатитовая керамика. Однако радиационные процессы в керамических материалах исследованы слабо по сравнению с другими диэлектриками. Поэтому изучение радиационно-стимулированных процессов в керамических материалах является актуальным как с научной, так и с практической точки зрения. Задачей настоящей работы являлось изучение методом диффузного отражения (ДО) природы образующихся дефектов под воздействием высоких доз γ -излучения изотопа Co^{60} , и смешанного реакторного n^0 - γ -облучения. После γ -облучения в спектрах ДО наблюдаются полосы дополнительного поглощения (ПДП) в УФ области с максимумами при $\lambda=220$ и 260 нм и широкая полоса поглощения (ПП), простирающаяся до 700 нм с максимумами при $400\div 500$ нм. Интенсивности, выше указанных ПП увеличивались с ростом дозы γ -облучения (рис.1,кр.1-3). После n^0 - γ -облучения реактора в спектрах ДО появляются аналогичные ПП, которые наблюдались в γ -облученных образцах, но интенсивность полос была выше по сравнению с γ -облученными (см. рис. 1, крив. 4). Литературные данные показали [1, 2], что центры окраски (ЦО), поглощающие свет в области при $\lambda=220$ и 260 нм, наблюдались в кварце, кварцевых и силикатных стеклах при облучении ионизирующим излучением. Полоса поглощения (ПП) при $\lambda=220$ обусловлена трехкоординированным атомом кремния, захватившим электрон ($\equiv Si^3+$). ПП при $\lambda=260$ нм обусловлена ионами железа Fe^{3+}

[1, 2]. Анализ литературы по оксидным и силикатными соединениями с ионами группы железа показал, что ПП с максимумами при 400-550 нм, связаны с дырочными центрами окрасок (ЦО), которые обусловлены локализацией дырок на ионах кислорода, смежных с катионными вакансиями. Сопоставление спектров γ -облученных и n^0 - γ -облученных образцов показало, что при реакторном облучении создаются дополнительные структурные дефекты типа: вакансии кислорода $\equiv\text{Si}-\square-\text{Si}\equiv$, нестиковый атом кислорода (НАК) $\equiv\text{Si}-\text{O}-$. Анализ разложения спектров ДО на гауссианы в видимой области спектра показал, что в видимой области спектра образуются различные дырочные центры типа: $-\text{O}-\text{Me}$ (Me- металл, катион). Обсуждаются возможные механизмы образование дефектов.

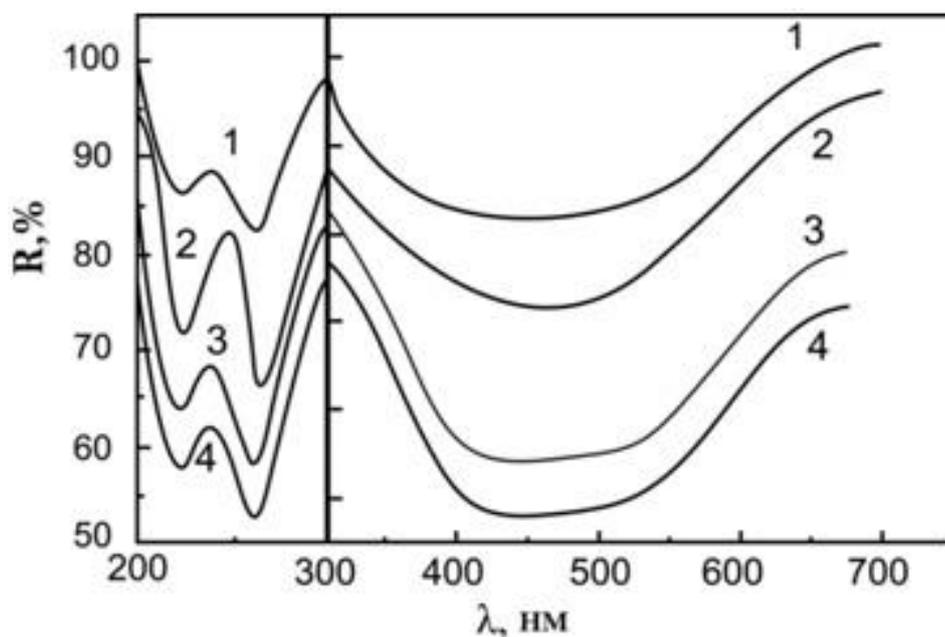


Рис. 1. Спектры ДО облученных образцов керамики СНЦ: 1- $2 \cdot 10^6$ Р ($1,76 \cdot 10^6$ рад); 2- 10^9 Р ($8,8 \cdot 10^8$ рад); 3- $1,5 \cdot 10^{10}$ Р ($1,32 \cdot 10^{10}$ рад); 4- 10^{19} н/см²

1. Бреховских С.М., Тюлькин В.А. Радиационные центры в неорганических стеклах. Москва: Энергоатомиздат. 1988. 200с
2. Силинь А.Р., Трухин А.Н. Точечные дефекты и элементарные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном SiO₂. Рига: Зинатне. 1985. 242 с

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ InP/ZnS

Савченко С.С.¹, Вохминцев А.С.¹, Вайнштейн И.А.¹

¹) НОЦ НАНОТЕХ, УрФУ, Екатеринбург, Россия
E-mail: s.s.savchenko@urfu.ru

EFFECT OF SHELL THICKNESS ON OPTICAL PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR InP/ZnS NANOCRYSTALS

Savchenko S.S.¹, Vokhmintsev A.S.¹, Weinstein I.A.¹

¹) NANOTECH Centre, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Four samples of biocompatible InP quantum dots coated with a ZnS shell and different organic stabilizers were studied. A shift of a ZnS optical absorption band depending on coating parameters is observed. Exciton luminescence quenching appears to be governed by a shell thickness.

Фосфид индия представляет собой один из перспективных материалов для создания экологически безопасных квантовых точек (КТ), которые могут широко применяться для создания дисплеев и систем освещения, а также в биомедицинской отрасли в качестве меток и визуализирующих агентов, где исключено использование излучателей с ионами тяжелых металлов [1,2,3]. Для повышения эффективности люминесценции нанокристаллы покрывают полупроводниковой оболочкой с более широкой запрещенной зоной. Кроме того, наличие оболочки повышает технологичность КТ, делая их более устойчивыми к изменению внешних условий. При этом стабильность раствора и химические свойства определяются внешним органическим покрытием. В настоящей работе представлен анализ оптического поглощения (ОП) и фотолюминесценции (ФЛ) ряда образцов InP/ZnS с различными параметрами оболочек.

Исследовались четыре водных коллоидных раствора КТ, имеющих трехслойную структуру: ядро из InP, оболочка из ZnS и стабилизирующее покрытие. Для образцов КТ-1 и КТ-2 в качестве покрытия использовалась модифицированная полиакриловая кислота, а для КТ-3 и КТ-4 – гетеробифункциональный полимер поливинилпирролидона. Средний размер ядра InP в соответствии с оценкой по положению первой экситонной полосы поглощения составлял 2.1 (КТ-1), 2.3 (КТ-2), 2.0 (КТ-3) и 2.6 (КТ-4) нм. Спектры ОП и ФЛ изучались для растворов и пленок КТ при комнатной температуре, а также в диапазоне 6.5-296 К. Температура образцов регулировалась с помощью гелиевого криостата Janis CCS-100/204N, оснащенного контроллером LakeShore Model 335. Регистрация спектров поглощения выполнялась с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-2450. Люминесцентный сигнал записывался посредством спектрографа Shamrock SR-303i-B и ПЗС-матрицы NewtonEM DU970P-BV-602 производства Andor.

Показано, что для всех образцов параметры температурного смещения полос ОП с энергиями 2.16–2.70 эВ согласуются с данными для объемного фосфида индия. Это подтверждает связь соответствующих переходов с ядром InP. Полосы с энергиями 3.89–4.70 эВ соответствуют поглощению оболочки ZnS. Смещение указанных полос для серии образцов в виде растворов и пленок КТ свидетельствует о влиянии параметров покрытий. Анализ механизмов тушения экситонной эмиссии в рамках гауссова распределения энергии активации также указывает на связь величины барьера с толщиной полупроводниковой оболочки ZnS.

1. Savchenko S.S., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A., *Opt Mater Express*, 7, 354 (2017)
2. Savchenko S.S., Weinstein I.A., *Nanomaterials*, 9, 716 (2019)
3. Savchenko S.S., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A., *J Lumin*, 242, 118550 (2022)

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО СЛОЯ $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{80}$ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕЖСЛОЙНОЙ СВЯЗИ В ПЛЁНКАХ $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{80}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$

Северова С.В.¹, Фещенко А.А.¹, Москалев М.Е.¹, Лепаловский В.Н.¹,
Горьковенко А.Н.¹, Васьковский В.О.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург,
Россия

E-mail: severova.sveta.severova@yandex.ru

EFFECT OF THE THICKNESS OF THE ANTIFERROMAGNETIC $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{80}$ LAYER ON THE PROPERTIES OF $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{80}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ FILMS

Severova S.V.¹, Feshchenko A.A.¹, Moskalev M.E.¹, Lepalovskij V.N.¹,
Gorkovenko A.N.¹, Vas'kovskiy V.O.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterin-
burg, Russia

The paper considers the magnetic properties and structure of Ta / $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ / $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ / Ta films. The dependences of the main magnetic characteristics of the films are obtained and interpreted. Their structure has been studied.

Долгое время антиферромагнитный сплав Ir-Mn являлся основным материалом для устройств спинтроники благодаря хорошей коррозионной стойкости и термической стабильности функциональных свойств, реализующейся вследствие высокой магнитной анизотропии [1]. Однако Ir является редким элементом, что ограничивает экономическую эффективность производства устройств на основе его сплавов. В настоящее время актуальной задачей является поиск антиферромагнитных сплавов, в которых могли бы оптимальным образом сочетаться технические и коммерческие достоинства. Определённые перспективы в решении этой задачи могут быть связаны с материалами на основе антиферромагнитного сплава Cr-Mn [2]. Однако решение этой задачи требует расширения знаний о свойствах сплава в плёночном состоянии. Данная работа посвящена изучению влияния толщины на структуру и магнитные свойства пленок системы $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{80}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$.

Образцы для исследования представляли собой многослойные плёнки Ta(5)/ $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ (L)/ $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ (10)/Ta(5) и были получены методом магнетронного распыления на покровных стёклах Corning. Слои Ta и $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ фиксированной толщины, значения которой в нанометрах указаны в структурной формуле в скобках, играли вспомогательную роль и выполняли соответственно защитную и индикаторную функции. Толщина основного слоя $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ варьировалась в пределах 20 - 120 нм,

а конкретный состав был выбран на основе предварительных экспериментов. Аттестация структурного состояния плёнок проведена на рентгеновском дифрактометре Pananalytical. Для измерений магнитных свойств использовались вибромагнитометр LakeShore, измерительный комплекс PPMS DynaCool 9T и Керр-магнитометр EvicoMagnetics.

Характеристика свойств слоя $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ проводилась по гистерезисным свойствам индикаторного слоя $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$. На рисунке 1 для плёнок с разными значениями L приведены температурные зависимости поля смещения центра петли гистерезиса (поле обменного смещения) $H_{ex}(T)$ и коэрцитивной силы $H_c(T)$ этого слоя. Их анализ позволяет сделать заключение о наличии антиферромагнитного упорядочения в слое $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ при температурах, значительно превышающих комнатную температуру, и зависимости от толщины эффективности его взаимодействия с прилегающим ферромагнитным слоем. Последнее может быть связано с толщинными изменениями в параметрах микроструктуры антиферромагнитного слоя или с его неоднородностью, которая также изменяется с толщиной. С привлечением данных по структуре плёнок проведена оценка вероятности реализации этих механизмов.

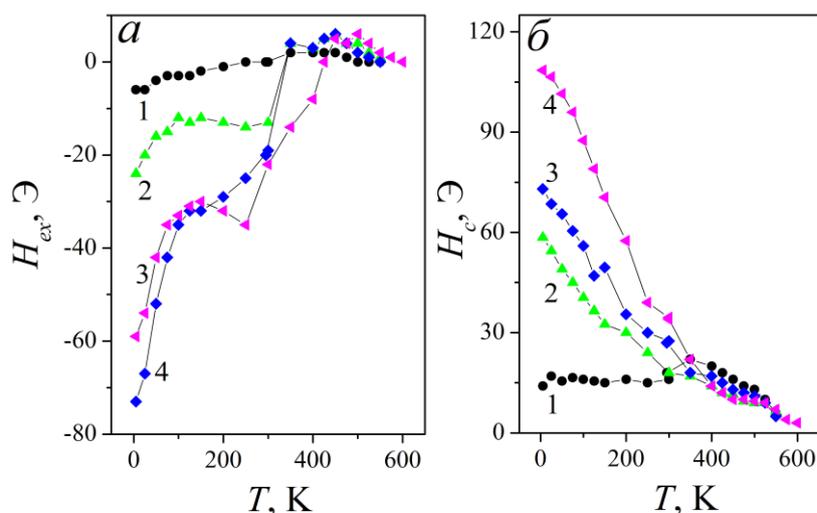


Рис. 1. Температурные зависимости поля обменного смещения (а) и коэрцитивной силы (б) в плёнках $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ с толщиной слоя $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ 20 (кривая 1), 40 (кривая 2), 60 (кривая 3) и 100 (кривая 4) нм

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект №22-22-00814

1. O'Grady K. et al. Anisotropy in antiferromagnets //Journal of Applied Physics. – 2020. – Т. 128. – №. 4. – С. 040901
2. Feng W. et al. Structural and magnetic phase diagrams of epitaxial Cr–Mn alloy thin films //Journal of Applied Physics. – 2010. – Т. 108. – №. 7. – С. 073915.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ И ИСКУССТВЕННЫХ СТРУКТУР НА ЭФФЕКТЫ ГИСТЕРЕЗИСА В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

Шакиров Р.С.¹, Прудников П.В.¹

¹) ОмГУ им. Ф.М. Достоевского
E-mail: roman_shakirovv@mail.ru

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DEFECTS AND ARTIFICIAL STRUCTURES ON HYSTERESIS IN MULTILAYER NANOSTRUCTURES

Shakirov R.S.¹, Prudnikov P.V.¹

¹) Omsk State University named F.M. Dostoevsky

The influence of two different types of structural defects on hysteresis in multilayer structures consisting of two symmetrical ferromagnetic films separated by a non-magnetic metal film has been studied.

Исследование гистерезисных эффектов [1] в мультислойных структурах [2], состоящих из сверхтонких ферромагнитных [3] пленок, которые разделены антиферромагнитным металлом, имеют довольно высокую актуальность. Подобные структуры называются синтетическими антиферромагнетиками и хорошо себя показывают в устройствах хранения информации. Одним из характерных свойств ферромагнитных материалов является магнитный гистерезис который проявляется как при квазистатическом, медленно протекающем во времени перемагничивании, так и при динамическом, «быстром» перемагничивании.

За последние 40 лет индустрия магнитной записи научилась намеренно вводить тщательный беспорядок в структуры. Целью введения контролируемого беспорядка является получить желаемые магнитные свойства и поведение петли гистерезиса. Активные исследования в данном направлении продолжают с целью увеличения объема памяти устройств хранения информации.

В данной работе было исследовано влияние точечных дефектов на поведение петли гистерезиса в мультислойной магнитной структуре, состоящих из двух симметричных ферромагнитных пленок с толщиной $N = 4$ МС (Монослой) ферромагнитных кубических-пленок. Значения обменных интегралов задавались как $J_1/k_B * T = 1$, а $J_2/J_1 = -0.3$. Температура системы измеряется при этом в единицах обменного интеграла J_1/k_B и принимает значение $T = 0.8$.

Было показано, что при $N = 4$ у нас появляется скачкообразное изменение намагниченности, из-за создания отдельных кластеров, которым требуется куда большие поля для перемагничивания нежели для систем без дефектов.

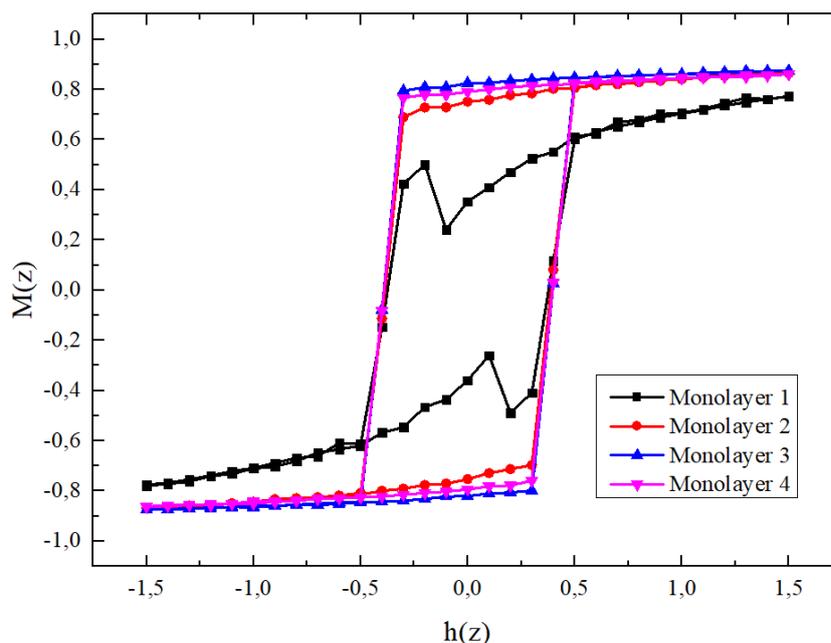


Рис. 1. Петля гистерезиса в системе с точечными дефектами при толщине пленок равным $N = 4$ и при значении обменного интеграла межпленочного взаимодействия равного $J_2/J_1 = -0.3$

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-32-70189, Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002) и гранта МД-2229.2020.2 Президента РФ.

1. Bersweiler M, Lacour D, Dumesnil K, Montaigne F, Hehn M, Phase diagram in exchange-coupled CoTb/[Co/Pt] multilayer-based magnetic tunnel junctions, Physical Review: Condensed matter and materials physics, American Physical Society, V. 92, P. 224431(2015)
2. Vaz C.A.F, Bland J.A.C, Lauhoff G, Magnetism in ultrathin filmstructures, Rep. Prog. Phys, V.71, P.056501,(2008)
3. Прудников В.В, Прудников П.В, Лях А.С, Неравновесное критическое поведение трехмерной анизотропной модели гейзенберга: динамическая восприимчивость и флуктуационно-диссипативное отношение, Вестн.Ом.ун-та,Т.25,С.23-32(2020).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ K_2SO_4 С ПРИМЕСЯМИ ВЫРАЩЕННЫХ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА

Шамиева Р.К.¹, Нурахметов Т.Н.¹, Толеков Д.А.¹

¹) Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева ул.Кажымукан 13, 010000 Нур-Султан, Казахстан,
E-mail: rasha_arman@bk.ru

STUDY OF THE LUMINESCENT CHARACTERISTICS OF K_2SO_4 CRYSTALS WITH IMPURITIES GROWN FROM AN AQUEOUS SOLUTION

Shamiyeva R.K.¹, Nurakhmetov T.N.¹, Tolekov D.A.¹

¹) L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan Str., 010000 Nur-Sultan, Kazakhstan,

Paper presents a study of the luminescence characteristics of K_2SO_4 crystals with impurities grown by the slow evaporation method. The nature of the Tl impurity emission and the formation of electron-hole trapping centers in irradiated K_2SO_4 – Tl crystals will be studied by spectroscopic methods.

В разделе физики конденсированного состояния одной из своевременных задач множества десятков лет остается изучение излучательного распада собственных и примесных электронных возбуждений в ионных кристаллах. Техническое использование ЩГК в качестве оптических материалов, в сцинтилляционной технике, термолюминесцентных дозиметрах и др. базировалось на обозначенных базовых свойствах. Образцы были получены способом медленного испарения при 300К водяного раствора солей чистого сульфата калия K_2SO_4 и Mn^{2+} . В работе изучены тепловые, спектральные и барические зависимости двупреломления кристаллов калия с 1.7% примесью меди. Было установлено, что внедрение примеси изменяет безоговорочную значение, не изменяя при этом характера дисперсии, а еще ведет к подъему температурной зависимости. Применяя опытно приобретенные температурные и спектральные зависимости двупреломления кристаллов для различных значений одноосного сжатия, построены обобщенные температурно-спектрально-барические диаграммы изотропного состояния сульфата калия, с которыми возможно квалифицировать изотропное положение кристаллов в конкретных температурных, спектральных и барических промежутках, что собственно имеет возможность практическое владении при применении предоставленного кристалла в качестве кристаллооптического датчика. Приобретенные итоги обосновывают [1] важное различие значений коэффициентов поглощения исследуемых смесей электролитов от воды. Коэффициенты поглощения смесей имеют значение ниже, чем в контрольном опыте с чистой водой. Нарращивание коэффициентов поглощения для обозначенных значений

разведения препаратов демонстрирует, собственно, что главным механизмом конфигурации физических свойств ЭМИ смесей считается перемена диэлектрической проницаемости смесей. Объектом в предоставленной работе считаются [2] образцы кристаллов и порошков (осч. 99.99%) K_2SO_4 с примесью марганца Mn^{2+} . При получении кристаллов способом осаждения применялись нитраты калия, марганца и сульфат аммония. В кристалле $K_2SO_4 - Mn$ в первый раз были выявлены 2 группы рекомбинационных излучений, связанные с примесными ионами Mn^{2+} при 2.75, 2.33, 2.1, 1.96 эВ. На базе измерений спектров возбуждения групп излучений ожидается, собственно что 1-ая группа излучения связана с люминесценцией Mn^{2+} , размещенного в узле решетки возле всевозможных недостатков, 2-ая группа излучений связана с люминесценцией Mn^{2+} в междоузельных положениях кристаллической решетки. На основе измерения спектров фосфоресценции ожидается, собственно, что выявленные группы излучений связана с рекомбинацией электронов с дырками на созданных центрах захватов возле примесей Mn^{2+} . Задачами наших исследований считаются, что в кристаллах K_2SO_4 диапазоны возбуждения для собственных излучений при 4,1-4,3 эВ, 4,5-5,0 эВ. Исследование процессов формирования примесных электронно-дырочных центров захвата в кристаллах K_2SO_4-Tl при температурах 15К, 80К и 300 К.

1. Савельев С.В., Морозова Л.А. Физико-химическая биология как основа современной медицины, Минск, 21 мая 2021, 246-247
2. Б.Н. Юсупбекова, К. Жанылысов, Т. Алибай, Д. Толеков, Т. Кабадулла, А.Манат, 14th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", September 21-24, 2021, Minsk, Belarus

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЯ $WMnB_2$ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

Щанов В.А.¹, Чукин А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: vsshchanov@mail.ru

DETERMINATION OF THE CRYSTAL STRUCTURE OF $WMnB_2$ COMPOUND BY X-RAY DIFFRACTION

Shchanov V.A.¹, Chukin A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The crystal structure of new compound $WMnB_2$ was determined from the X-ray diffraction pattern. Reflection indexing were performed by several methods: DICVOL, ITO, McMaille, TREOR. The best results were obtained for the rhombic system with lattice parameters: $a(A)=3.13$; $b(A)=8.14$; $c(A)=3.02$.

Появление новых материалов, обладающих необычными свойствами, всегда является серьёзным вызовом для исследователей. Зачастую свойства того или иного материала напрямую определяются его кристаллической структурой. По этой логике возможность идентификации и моделирования кристаллических структур новых материалов является ключевым механизмом получения желаемых свойств. Инструментарий при этом может быть самым разнообразным. Мощным инструментом для определения кристаллической структуры новых соединений является рентгеновская дифракция.

В этой работе представлена попытка определения кристаллической структуры впервые синтезированного соединения $WMnB_2$ на основе анализа рентгеновской дифрактограммы.

Идентификация фазы и индексирование рефлексов выполнялась несколькими методами индексирования, такими как DICVOL [1], где определение гипотетических параметров элементарной ячейки основывается на последовательной процедуре дихотомии при изменении длины осей элементарной ячейки и межосевых углов; ITO [2]; McMaille; TREOR 90 [3] и др.

Наилучшие результаты при идентификации фазы были получены для ромбической сингонии с параметрами решетки: $a(A)=3,13$; $b(A)=8,14$; $c(A)=3,02$ и объемом ячейки $V=77,06$.

После этого было проведено уточнение параметров элементарной ячейки и выполнено тестирование пространственной группы. Оптимальная пространственная группа, соответствующая данной структуре: $63 (Cmcm)$. Для моделирования дифрактограммы был использован структурный файл базы данных ICDD PDF-4, структурного типа CrB с заполнением элементарной ячейки

структурными единицами Mn-W-B в соответствии с формулой: $W_{0,5}Mn_{0,5}B$. После этого исходная модель подгонялась к экспериментальной дифрактограмме образца методом полнопрофильного анализа Ритвельда [4]. Мониторинг конвергенции модели осуществлялся по индексам сходимости, а так же на основе визуальной оценки сближения модельного спектра и дифрактограммы образца.

После оптимизации модели уточненные параметры решетки приняли значения: $a(A)=3,1302$; $b(A)=8,1472$; $c(A)=3,0192$.

1. A. BOULTIF and D. LOUËR, Powder pattern indexing with the dichotomy method, *J. Appl. Cryst.* (2004), 37, 724 – 731
2. J.W. VISSER, A fully automatic program for finding the unit cell from powder data, *J.App.Cryst* (1969), 2, page 89
3. P.E. WERNER, L. ERIKSON & M. WESTDAHL, TREOR, a semi-exhaustive trial-and-error powder indexing program for all symmetries., *J. Appl. Cryst.* (1985), 18, 367 – 370
4. R.J. HILL and C.J. HOWARD, Quantitative Phase Analysis from Powder Diffraction Data using the Rietveld Method, *J. Appl.Cryst.* (1987), 20, 467.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОСФОРЕНА МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Шеин Д.В.¹, Завьялов Д.В.¹, Жариков Д.Н.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация
E-mail: danil.shein2013@yandex.ru

MODELING OF PHOSPHORENE WITH CLASSICAL MOLECULAR DYNAMICS USING DEEP LEARNING

Shein D.V.¹, Zavyalov D.V.¹, Zharikov D.N.¹

¹) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University", Volgograd, Russian Federation

The resulting single-layer phosphorene model created by classical molecular dynamic simulation and deep learning package has properties of the real material.

Глубокое обучение широко распространено в современных технологиях, а его использование в физике конденсированного состояния является многообещающим. Так с помощью пакета глубокого обучения DeePMD-kit [1] возможно построить модель силовых полей межатомных взаимодействий различных материалов. В данной работе была предпринята попытка построить таким методом силовые поля фосфорена [2].

Объектами обучения могут быть результаты моделирования *ab initio* молекулярной динамики (МД). В 1985 году Кар и Парринелло предложили метод МД [3], в котором система взаимодействующих электронов и ионов рассматривается совместно, причём движение ядер атомов, задаётся классически, а электронные степени свободы – квантово механическими волновыми функциями.

В пакете программ Quantum-Espresso [4] имеется возможность моделирования методом МД Кара-Парринелло. В качестве элементарной ячейки взят элемент решётки фосфорена, состоящий из 16 атомов (Рисунок 1).

Со сгенерированной моделью силовых полей становится возможным проводить моделирование методом классической МД, в котором численно интегрируются уравнения Ньютона.

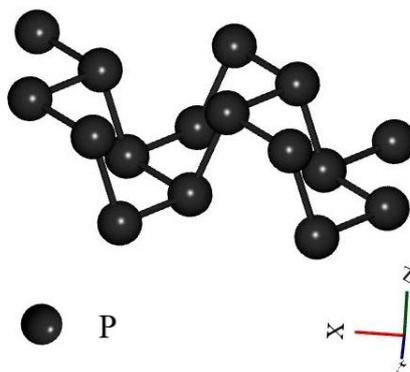


Рис. 1. Элемент кристаллической решётки фосфорена

Для листа фосфорена (система из 1296 атомов) программой LAMMPS [5] было проведено моделирование классической МД. Результаты симуляции показывают стабильность системы во времени. В качестве количественной физической характеристики была взята плотность материала, измеренное значение которой (2.72 г/см^3) очень близко к реальному (2.69 г/см^3).

1. Wang, Han; Zhang, Linfeng; Han, Jiequn; E, Weinan (2018). DeePMD-kit: A deep learning package for many-body potential energy representation and molecular dynamics. *Computer Physics Communications*. doi:10.1016/j.cpc.2018.03.016 arXiv:1712.03641v2
2. Castellanos-Gomez, Andres; Vicarelli, Leonardo; Prada, Elsa; Island, Joshua O; Narasimha-Acharya, K L; Blanter, Sofya I; Groenendijk, Dirk J; Buscema, Michele; Steele, Gary A; Alvarez, J V; Zandbergen, Henny W; Palacios, J J; van der Zant, Herre S J (2014). Isolation and characterization of few-layer black phosphorus. *2D Materials*, 1(2), 025001. doi:10.1088/2053-1583/1/2/025001
3. Car, R. (1985). Unified Approach for Molecular Dynamics and Density-Functional Theory. *Phys Rev Lett*, 55(22), 2471–2474. doi:10.1103/PhysRevLett.55.2471
4. <https://www.quantum-espresso.org/>
5. <https://lammps.org/>

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НАНОТРУБОК ДИОКСИДА ГАФНИЯ

Шилов А.О.¹, Камалов Р.В.¹, Карабаналов М.С.¹, Вохминцев А.С.¹,
Вайнштейн И.А.^{1,2}

¹) НОЦ НАНОТЕХ, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: ao.shilov@urfu.ru

KINETIC PARAMETERS OF THERMALLY STIMULATED LUMINESCENCE IN NANOTUBULAR HAFNIA

Shilov A.O.¹, Kamalov R.V.¹, Karabanalov M.S.¹, Vokhmintsev A.S.¹,
Weinstein I.A.^{1,2}

¹) NANOTECH Centre, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

We investigate spectrally resolved thermoluminescence of HfO₂ nanotubes. The observed emission at 2.3–2.6 eV is related to oxygen vacancies in various configurations and charge states. Kinetic parameters of the investigated TSL processes were analyzed using the general order kinetics formalism.

Структуры диоксида гафния различной размерности и морфологии обладают уникальным сочетанием механических, электрических и оптических свойств, и находят применение при создании фотокатализаторов, элементов бета-вольтаики, мемристоров, ячеек сегнетоэлектрической памяти и др. Механизмы формирования вышеперечисленных свойств, как правило, связаны с активным участием электронных и дырочных ловушек на основе различных собственных дефектов. Ранее, нами были изучены оптические свойства тонких плёнок [1] и наноструктурированного порошка [2, 3]. Данная работа посвящена исследованию люминесцентных свойств нанотубулярных массивов анион-дефицитного диоксида гафния.

Нанотрубки HfO₂ были получены методом электрохимического анодирования гафниевого фольги в потенциостатическом режиме. После синтеза был проведен отжиг при температуре 700°C в воздушной атмосфере. Аттестация структур была проведена методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгенофазового анализа (РФА) и рамановской спектроскопии. По данным СЭМ и ПЭМ в результате синтеза образуются нанотрубки диаметром 40–60 нм. РФА и рамановская спектроскопия показали, что исходные массивы являются аморфными, и переходят в моноклинную фазу после проведенного высокотемпературного отжига.

Исследование люминесцентных свойств проводилось при помощи спектрометра Perkin Elmer LS55, оснащенного высокотемпературной приставкой для

проведения измерений термостимулированной люминесценции (ТСЛ) в диапазоне 300 – 800 К. Под воздействием УФ излучения в диапазоне 4.8 – 5.7 эВ наблюдается сине-зеленое свечение с максимумом 2.3 эВ. После проведения отжига положение максимума смещается в 2.6 эВ. Регистрируемое свечение обусловлено наличием в образце кислородных вакансий в различных зарядовых состояниях. Это же свечение проявляется при регистрации ТСЛ-сигнала. Кинетические параметры процессов ТСЛ, ответственных за пик 340 К, были рассчитаны с использованием формализма кинетики общего порядка.

Работа выполнена при поддержке научного проекта Минобрнауки FEUZ-2020-0059.

1. A. O. Shilov, S. S. Savchenko, A. S. Vokhmintsev, V. A. Gritsenko, I. A. Weinstein. AIP Conf. Proc., 2313, 030006 (2020).
2. A.O. Shilov, S.S. Savchenko, A.S. Vokhmintsev, A.V. Chukin, M.S. Karabanalov, M.I. Vlasov, I.A.Weinstein, J. Sib. Fed. Univ. Math. Phys.,14(2), 1–6 (2021).
3. А.О. Шилов, А. С. Вохминцев, А.М.А. Хинайш, И.А. Вайнштейн. Известия РАН. Серия физическая., (2022) (в печати).

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР Mg/C

Смирнов А. Н.¹, Стогней О.В.¹, Касаткин Н. А.¹, Еровинков К. С.¹

¹ Воронежский Государственный Технический Университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: deadpunk@inbox.ru

PREPARATION OF MULTILAYER Mg/C NANOSTRUCTURES

Smirnov A. N.¹, Stogney O. V.¹, Kasatkin N. A.¹, Erovinikov K. S.¹

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Multilayer Mg/C nanostructures were obtained and studied. The influence of the magnesium layer thickness on the electrical resistance and thermoelectric power of the multilayer nanostructures were investigated.

Многослойные наноструктуры Mg/C были получены методом ионно-плазменного распыления двух мишеней (магниевой и углеродной), с последующим осаждением материала на вращающиеся подложки. Осаждение Mg осуществлялось через экран с V-образным окном, в то время как как С осаждался без экрана [1]. Это позволило создать многослойные структуры с различной толщиной магниевых слоев и одинаковой толщиной слоев углерода. Всего в полученных многослойных структурах было сформировано 18 бислоев (Mg+C).

На рентгенограммах от многослойных наноструктур Mg/C, присутствует единственный пик от гексагональной структуры магния, с увеличением толщины магниевых слоев происходит увеличение интенсивности пика Mg (200). Наличие пика наблюдается не на всех дифрактограммах, а лишь на тех, которые соответствуют многослойным структурам с толщиной бислоя, превышающей ~5нм. Это позволяет предполагать, что при меньшей толщине бислоя магниевые слои не являются сплошными, а представляют собой дискретные металлические наночастицы в объеме углеродной матрицы.

Образование сплошных слоев магния (переход от дискретной морфологии к сплошным слоям) подтверждается зависимостями электрического сопротивления и термо-ЭДС многослойной структуры Mg/C от толщины магниевых слоев (рис. 1).

Зависимость электрического сопротивления и термо-ЭДС многослойной структуры Mg/C от толщины характерна для систем с перколяционным переходом по проводимости. На зависимостях выделяются три участка. Для первого участка характерны сравнительно высокие значения сопротивления (самые высокие для данной системы) и отрицательный знак термо-ЭДС (см. рис. 1). Это свидетельствует о том, что электроперенос в данной области осуществляется через сплошную углеродную матрицу с дырочной проводимостью. Фаза магния представляет собой наноразмерные металлические включения в эту матрицу. Поскольку на дифрактограммах образцов этой группы отсутствует пик «магния»

можно предполагать, что размеры этих включений не превышают 2-3 нм. Увеличение толщины магниевых прослоек приводит к формированию сплошных слоев, что подтверждается резким (на порядок) уменьшением сопротивления и изменением знака термо-ЭДС с отрицательного на положительный. Таким образом, этот участок соответствует морфологическому переходу от дискретно-композитной структуры к многослойной. Третий участок зависимости характерен тем, что как сопротивление, так и термо-ЭДС наноструктуры практически не зависят от толщины слоёв магния, поскольку электронный транспорт осуществляется по проводящим слоям, а увеличение их толщины недостаточно для явного проявления размерного эффекта.

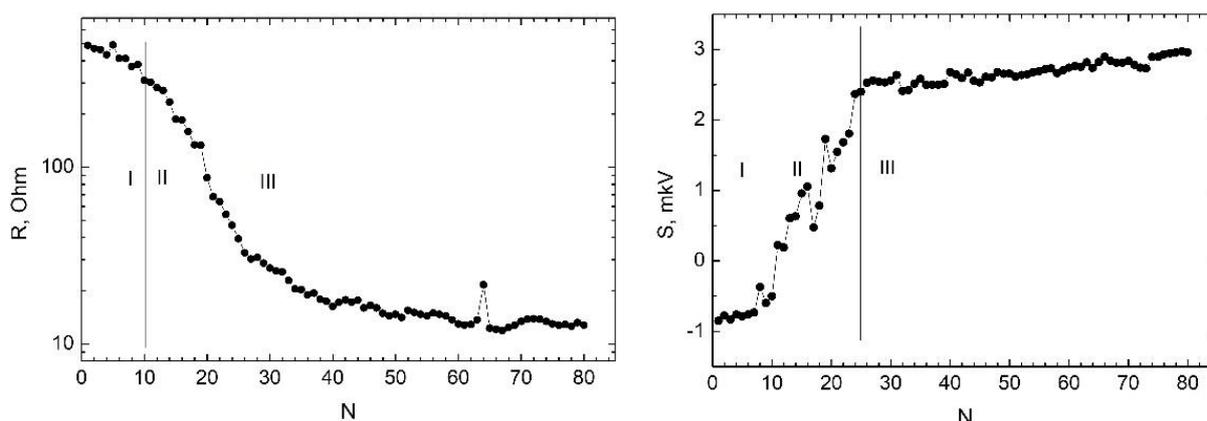


Рис. 1 – Зависимости электрического сопротивления и термоЭДС многослойной структуры Mg/C от номера образца.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках государственного задания (проект FZGM-2020-0007)

1. Стогней О.В. Термическая стабильность многослойной структуры Mg/NbO / О.В. Стогней, А.В.Ситников, А.Н.Смирнов, // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 6. С. 144 – 150.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНАТА ЦИНКА

Старостин Г.Н.¹, Звонарева И.А.^{1,2}, Медведев Д.А.^{1,2}, Звонарев С.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: gorgge23@mail.ru

THE EFFECT OF THE SYNTHESIS METHOD ON THE LUMINESCENT AND DOSIMETRIC PROPERTIES OF ZINC ALUMINATE

Starostin G.N.¹, Zvonareva I.A.^{1,2}, Medvedev D.A.^{1,2}, Zvonarev S.V.¹

¹⁾ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of High Temperature Electrochemistry Ural Division of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia

In this article, the thermoluminescence properties of zinc aluminate synthesized by solid-state reaction and citrate-nitrate auto-combustion routes were investigated. The dose dependence study of a low-temperature TL peak showed a sensitivity of ceramics to the obtained dose in the range of 1-80 Gy.

ZnAl₂O₄ – хорошо известный широкополосный полупроводниковый материал ($E_g=3,8$ эВ), обладающий достаточной термической стабильностью и механической устойчивостью, благодаря этим свойствам широко используемый в качестве оптомеханического, каталитического керамического и антитермического покрытия в аэрокосмических аппаратах и электропроводящих материалах в области ультрафиолета [1].

Керамические материалы состава ZnAl₂O₄ были получены методами твердофазного (ТФ) и цитрат-нитратного (ЦН) синтеза с использованием Al₂O₃, ZnO; Zn(NO₃)₂·6H₂O и Al(NO₃)₃·9H₂O в качестве исходных реагентов. Тщательно смешанные и измельченные порошки были синтезированы при 1200 °С (5 ч). Компактирование порошков производилось методом холодного статического прессования (200 Мпа) с последующим спеканием на воздухе при 1400 °С (5 ч) для получения керамических образцов. Отсутствие примесных фаз было подтверждено методом рентгенофазового анализа. Кривые термолюминесценции (ТЛ) получены с использованием фотоэлектронного умножителя FEU-142 (230-700 нм) при линейном нагреве от 300 до 750 К и скорости нагрева 2 К/с после облучения на источнике β-излучения с мощностью 0,052 Гр/мин [2].

Для исследования влияния поглощенной дозы на интенсивность ТЛ, что является важным фактором для создания детекторов ионизирующих излучений, образцы были подвергнуты β-облучению различной дозы в диапазоне

(0,052÷237,12) Гр, результаты представлены на рисунке для керамик полученных ЦН синтезом (а) и ТФ методом (б).

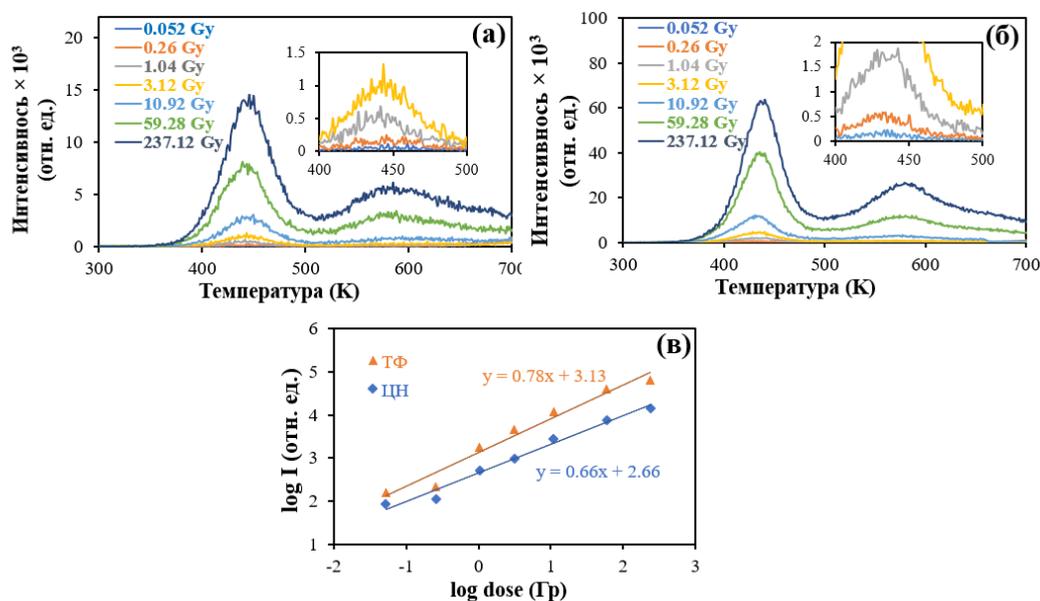


Рис. 1. Кривые ТЛ $ZnAl_2O_4$ полученного цитрат-нитратным (а) и твердофазным методом (б) после спекания в воздухе при температуре 1400 °С в течение 5 часов, после облучения в источнике β -излучения. Зависимость интенсивности ТЛ пика (440 К) от дозы облучения (в) для ЦН (ромб) и ТФ (треугольник)

Установлено, что керамика, синтезированная ТФ методом, является более чувствительной к излучению. Также следует отметить, что при высоких дозах, с большей скоростью увеличивается интенсивность ТЛ высокотемпературного пика. Это связано с заполнением электронами дефектов, релаксирующих при низких температурах, в то время как дефекты, ответственные за высокотемпературный пик, только начинают заполняться. Также была получена зависимость интенсивности низкотемпературного пика кривых ТЛ от полученной дозы; результаты представлены на рисунке (в).

Оба образца имеют сублинейную зависимость интенсивности пика ТЛ при 440 К от дозы ионизирующего излучения в интервале от 1 до 80 Гр, что говорит, о возможности их применения в дозиметрии.

1. Rani G., Powder technology, T. 312, C. 354-359, (2017).
2. Zvonarev, S. V., Kortov, V. S., Shtang, T. V., Ananchenko, D. V., & Petrovykh, K. A., Applied Radiation and Isotopes, T. 95, C. 44-47, (2015).

АКТИВИРОВАННАЯ ВОЛЬФРАМОМ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ФТОРИДОВ МЕТАЛЛОВ

Стрелкова А.В.¹, Жунусбеков А.М.², Лисицына Л.А.³

¹) Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.

²) Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.

³) ФГБОУ ВО «ТГАСУ», НИУ ТПУ

E-mail: a.strelkova@nurorda.kz

TUNGSTEN ACTIVATED CERAMICS BASED ON METAL FLUORIDES

Strelkova A.V.¹, Zhunusbekov A.M.², Lisitsyna L.A.³

¹) L.N. Gumilev Eurasian national university

²) L.N. Gumilev Eurasian national university

³) FGBOU VO "TGASU", NRU TPU

This work is aimed at establishing the possibility of introducing W ions into ceramics based on alkaline earth metal fluorides by the radiation synthesis method, which differs significantly in the totality of processes from the currently used thermal methods.

Активированные поливалентными ионами материалы на основе фторидов щелочных и щелочноземельных металлов перспективны для использования в качестве сцинтилляционных материалов [1], датчиков температуры [2]. Эффективными активаторами в этих материалах являются поливалентные ионы W, U, Ti, Fe [3]. Однако, введение ионов с существенно отличающейся валентностью удастся обеспечить только в присутствии соактиваторов, компенсирующих разницу в зарядах и размерах. Введение в решетку наиболее эффективных ионов W, U затрудняется еще и тем, что при высоких температурах синтеза кристаллов, керамики фторидов металлов образуются летучие соединения гексафторидов, активаторы выводятся из расплава. Настоящая работа направлена на установление возможности введения ионов W в керамику на основе фторидов щелочноземельных металлов радиационным методом синтеза, существенно отличающимся по совокупности процессов от используемых в настоящее время термических методов. Возможность использования радиации для синтеза MgF_2 керамики была продемонстрирована в работе [4].

Реализован синтез керамики на основе MgF_2 , BaF_2 , $BaMgF_4$, активированных W. Для активации в шихту добавлялся 1% порошка WO_3 . Синтез осуществлялся путем прямого воздействия на шихту потока электронов с энергией 1.4 МэВ и плотностью мощности 18-25 кВт/см² от ускорителя ЭЛВ-6. Полное время облучения всей шихты в тигле площадью 40 см² – 10 с.

Для измерений фотолюминесценции (ФЛ) образцы керамики измельчались. Спектры люминесценции и возбуждения были измерены с помощью спектрометра CM2203 SOLAR. На рисунке приведены для примера спектры

люминесценции и возбуждения образцов MgF_2 (a) и $\text{MgF}_2:\text{W}$ (b). В обобщенном виде спектры представлены на рисунке. Люминесценция образцов $\text{MgF}_2:\text{W}$ и MgF_2 различается: полоса в $\text{MgF}_2:\text{W}$ смещена в красную область, ее интенсивность выше. Возбуждается люминесценция $\text{MgF}_2:\text{W}$ излучением ниже 290 нм, тогда как MgF_2 - ниже 250 нм. Подобные закономерности наблюдаются и для других синтезированных образцов керамики. Люминесцентные свойства активированных образцов подобны известным для $\text{MgF}_2:\text{W}$ и $\text{LiF}:\text{W}$, полученных другими методами.

Таким образом, посредством прямого воздействия мощного потока высокоэнергетических электронов возможно формирование вольфрам содержащей керамики из шихты без использования других веществ для введения вольфрама в решетку. Такая возможность достигается тем, что в шихте при облучении потоком электронов основная доля энергии выделяется внутри облучаемого объема, с максимумом на глубине 1.4 - 2.2 мм в зависимости от состава. При высокой скорости синтеза вольфрам не успевает покинуть зону, в которой реакция синтеза реализуется, и сохраняется в формирующейся решетке. Компенсация разницы в зарядах ионов активатора и матрицы достигается введением в решетку собственных дефектов структуры.

1. L. V. Atroshchenko, S. F. Burachas, L. P. Gal'chinetskii, et al., Scintillator Crystals and Ionizing Radiation Detectors on Their Basis [in Russian], Naukova Dumka, Kiev (1998)]
2. Bhushan P. Kore, Ashwini Kumar, Lucas Erasmus, Robin E. Kroon, Jacobus J. Terblans, Sanjay J. Dhoble, and Hendrik C. Swart. Energy Transfer Mechanisms and Optical Thermometry of $\text{BaMgF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Er}^{3+}$ Phosphor. *Inorg. Chem.* 2018, 57, 1, 288–299 DOI: 10.1021/acs.inorgchem.7b02436
3. L.A. Lisitsyna, V.M. Lisitsyn. Composition nanodefects in doped lithium fluoride crystals // *Phys.Solid State.* – 2013. – V.55. No.11. – P.2297–2303.
4. V.M. Lisitsyn, M.G. Golkovskii, L.A. Lisitsyna, A.K. Dauletbekova, D.A. Musakhanov, V.A. Vaganov, A.T. Tulegenova, Zh.T. Karipbayev, “ MgF_2 -Based Luminescing Ceramics,” *Russian Physics Journal*, V.61, Issue 10, P. 1908–1913, 2019

САМОДИФФУЗИЯ ВДОЛЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ ЗЕРЕН НАКЛОНА В ОЦК-ВОЛЬФРАМЕ

Ступак М. Е.¹, Уразалиев М. Г.¹, Попов В. В.¹

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: shay92@yandex.ru

SPECIAL GRAIN BOUNDARY SELF-DIFFUSION IN BCC-TUNGSTEN

Stupak M. E.¹, Urazaliev M. G.¹, Popov V. V.¹

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Thermal stability of grain boundaries in tungsten has been studied by the method of molecular dynamics, and the coefficient of grain boundary self-diffusion for $\Sigma 11(332)[11\bar{0}]$ and $\Sigma 3(112)[11\bar{0}]$ boundaries has been calculated.

Методами компьютерного моделирования проведен расчет зернограницной самодиффузии в симметричных границах $\Sigma 11(332)[11\bar{0}]$ и $\Sigma 3(112)[11\bar{0}]$ поликристаллического вольфрама. Расчеты проведены с помощью программного комплекса LAMMPS [1] с использованием потенциала погруженного атома [2]. В качестве визуализатора использовалась программа OVITO [3].

В молекулярно-динамического (МД) моделирования применялся блок, содержащий границу зерен (ГЗ), полученный с помощью молекулярно-статического (МС) моделирования [4]. Для проверки термической стабильности при конечных температурах проводился термический отжиг с использованием изотермо-изобарического ансамбля (NPT) в течение 30 нс с шагом 2 фс. Для предотвращения миграции ГЗ применялись фиксированные условия на краях блока моделирования. Определена критическая температура границ зерен, при которых ГЗ теряет свою изначальную структуру.

При расчетах зернограницной самодиффузии предполагалось, что она протекает по вакансионному механизму. Данное предположение базируется на результатах проведенных ранее мессбауэровских исследований [5]. Коэффициент зернограницной диффузии рассчитывался на основании среднего квадратичного смещения. Расчет диффузии проводился в течение 20 нс, с шагом 1 фс. Коэффициенты самодиффузии по рассмотренным границам зерен представлены в виде Аррениусовских зависимостей (рис. 1).

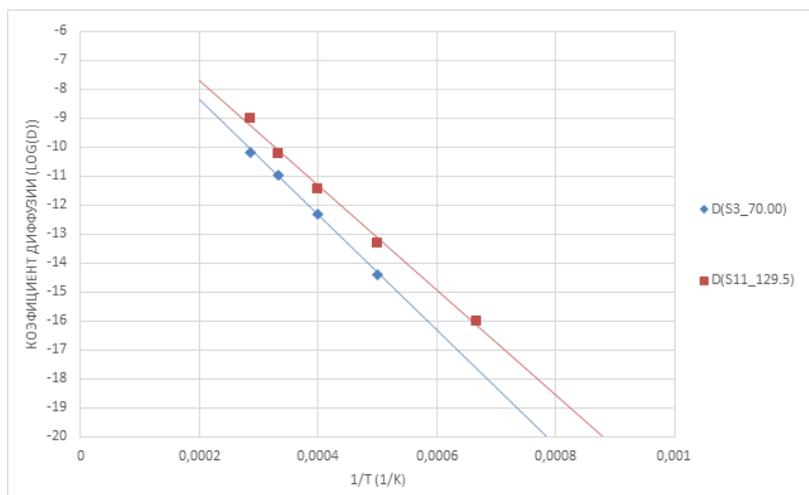


Рис. 1. Коэффициент зернограничной самодиффузии в ГЗ $\Sigma 11(332)[11\bar{0}]$ и $\Sigma 3(112)[11\bar{0}]$.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Функция», номер госрегистрации г.р. № 122021000035-6).

При проведении работ был использован суперкомпьютер «Уран» ИММ УрО РАН.

1. Plimton S., “Fast parallel algorithms for short rangemolecular dynamics” J. Comp. Phys. 117, 1–19(1995).
2. Marinica M.-C., Ventelon L., Gilbert M.R., Proville L., Dudarev S.L., Marian J., Benc-teux G., Willaime F. Interatomic potentials for modelling radiation defects and dislo-cations in tungsten // J. Phys.: Condens. Matter. 2013. V. 25. P. 395502.
3. Marinica M.-C., Ventelon L., Gilbert M.R., Proville L., Dudarev S.L., Marian J., Benc-teux G., Willaime F. Interatomic potentials for modelling radiation defects and dislo-cations in tungsten // J. Phys.: Condens. Matter. 2013. V. 25. P. 395502.
4. Ступак М.Е., Уразалиев М.Г., Попов В.В. Структура и энергия симметричных границ наклона $\langle 110 \rangle$ в поликристаллическом W // ФММ. 2020. Т. 121. № 8. С. 877–883.
5. Popov V.V. Mossbauer spectroscopy of interfaces in metals // Phys. Met. Metallogr. 2012. V. 113. № 13. P. 1257–1289.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА, РАЗДЕЛЕННЫХ МЕДНОЙ ПЛАСТИНОЙ

Сухачев. Р.А.¹, Мамонова М.В.¹

¹) ОмГУ им. Ф.М. Достоевского
E-mail: sukhachevruslan@gmail.com

THEORETICAL STUDIES OF THE MAGNETIC ANISOTROPY OF COBALT FILMS SEPARATED BY A COPPER PLATE

Sukhachev R.A.¹, Mamonova M.V.¹

¹) Dostoevsky Omsk State University

In this work, we studied the energy and magnetic properties of the Co/Cu/Co system. Calculations have shown that for the (100) and (111) faces, direction of magnetic moments parallel to the film plane is energetically favorable. For the (110) face, a weak perpendicular magnetoanisotropy was obtained

В данной работе были проведены численные исследования энергетических и магнитных свойств системы Co/Cu/Co помощью программного комплекса Vienna Ab initio Simulation Package (VASP) [1], в основе расчетов которого лежит теория функционала плотности.

Проведенные расчеты разности энергий АФМ и ФМ конфигураций Co/Cu/Co в зависимости от количества слоев меди в 3-9 монослоя и кобальта в 1-3 монослоя, показали, что наиболее энергетически выгодной ферромагнитная конфигурация становится при количестве слоев подложки в 9 монослоев и магнитного материала в 3 монослоя

Исследование зависимости магнитных свойств системы от количества монослоев Co показало, что полученные в ходе расчетов значения магнитного момента хорошо соотносятся с экспериментальными данными других исследователей [2].

Из эксперимента известно [3], что структура Co/Cu характеризуется слабой магнитной анизотропией типа легкая плоскость с намагниченностью, ориентированной в плоскости пленки. Это подтверждается нашими расчетами. Для структуры Co/Cu/Co $E_{MA} = E_{\perp} - E_{\parallel} > 0$, что соответствует магнитной анизотропией типа легкая плоскость, кроме очень маленьких значений $E_{MA} = -0.05\text{eV}$ при энергетически невыгодных ФМ конфигураций граней (110) и (111). Но дополнительные измерения [4] подтвердили, что система Co/Cu(111) действительно демонстрирует слабую анизотропию перпендикулярную границе раздела.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение 0741-2020-0002)

1. Kresse G., Marsman M., Furthmuller J. VASP the GUIDE//Wien:Universitat Wien. 2016. P.238., URL:<https://cms.mpi.univie.ac.at/vasp/vasp.pdf>
2. Pustogowa U., Szunyogh L., Ebert H., Weinberger P. Spin-polarized X-ray emission spectroscopy of capped thin Co films on Cu(100)// Solid State Commun. 1998. V.108. P.343-348
3. Johnson M.T., Bloemen P.J.H., den Broeder F.J.A. and de Vries J.J. Magnetic anisotropy in metallic multilayers. // Rep. Prog. Phys. 1996. V.59. P.1409.
4. Kohlhepp J., Elmers H.J., Cordes S., Gradmann U. Power laws of magnetization in ferromagnetic monolayers and the two-dimensional Ising model. // Phys. Rev. 1992. B 45, 12287

СТРЕЙН-МАГНИТО-ОПТИКА В МАГНИТОСТРИКЦИОННОЙ ФЕРРИТ-ШПИНЕЛИ CoFe_2O_4

Суржиков Е.А.¹, Сухоруков Ю.П.¹

¹) Институт физики металлов им. М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620108, Екатеринбург, Россия
E-mail: surzhikov@imp.uran.ru

STRAIN-MAGNETO-OPTICS IN MAGNETOSTRICTIVE FERRITE- SPINEL CoFe_2O_4

Surzhikov E.A.¹, Sukhorukov Yu.P.¹

¹) M. N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of RAS, Yekaterinburg
620108, Russia

A new direction in the physics of magnetic phenomena strain-magneto-optics based on the correlation of magnetoelastic and magneto-optical properties has been created. Experimental data are important for theoretical studies of new magneto-optical properties and the creation of functional materials.

Стрейн-магнито-оптика – новый раздел стрейнтроники, изучающий взаимосвязь между магнитооптическими и магнитоупругими свойствами магнетиков. На данный момент времени, стрейн-магнито-оптические свойства обнаружены только в одном материале в ферритмагнитной шпинели CoFe_2O_4 , обладающей большими величинами магнитострикции ($\lambda_{100}=620 \cdot 10^{-6}$) и константы магнитной анизотропии ($K_1=2 \cdot 10^6$ эрг/см³) при комнатных температурах, а также малыми оптическими потерями.

Взаимосвязь между магнитооптическими и магнитоупругими свойствами феррит-шпинели отчетливо проявляется в подобии полевых зависимостей магнитострикции и эффектов магнитоотражения и магнитопоглощения (магнито-пропускания) неполяризованного света в инфракрасной области длин волн $1 \leq \lambda \leq 30$ мкм. Эта взаимосвязь проявляется также в подобии магнитоупругих и магнитооптических свойств в зависимости от ориентации магнитного поля относительно осей кристалла и направления поля относительно плоскости пластины кристалла, т.н. фоxtовская и фарадеевская геометрии эксперимента. Спектральная область стрейн-магнито-оптики в CoFe_2O_4 включает край фундаментального поглощения, примесное поглощение света и область взаимодействия света с остаточными лучами. В качестве примера, на Рис. приведены полевые зависимости магнитострикции, магнитоотражения и магнитопоглощения для $\lambda=2.7$ мкм, соответствующей интенсивной полосе примесного поглощения света. Установлено, что механизм, ответственный за корреляцию магнитооптических и магнитоупругих свойств в CoFe_2O_4 , является непрямым. Он обусловлен тем, что магнитострикция вносит аномально большой вклад в константу магнитной анизотропии, сравнимый с самой величиной константы. Таким образом, магнитное

поле приводит к сильной деформации кристаллической решетки, что в свою очередь влияет на изменение электронной конфигурации образца и, как следствие, на его оптические свойства. Кроме того, было показано, что в фарадеевской геометрии эксперимента возможно влияние классического эффекта Фарадея (ЭФ) на магнитопоглощение, обусловленное только оптическими характеристиками измерительной установки. Однако величина вклада ЭФ в магнитопоглощение может достигать 15 %. Детально результаты исследования стрейн-магнито-оптики в феррит-шпинели CoFe_2O_4 приведены в работах [1-3].

Таким образом, авторами было создано новое направление в физике магнитных явлений – стрейн-магнито-оптика, изучающая корреляцию магнитоупругих и магнитооптических свойств магнетиков. Полученные эффекты являются важными для создания большого количества функциональных магнитооптических материалов для инфракрасной, видимой и терагерцовой областей спектра, оптическими свойствами которых можно управлять магнитным полем.

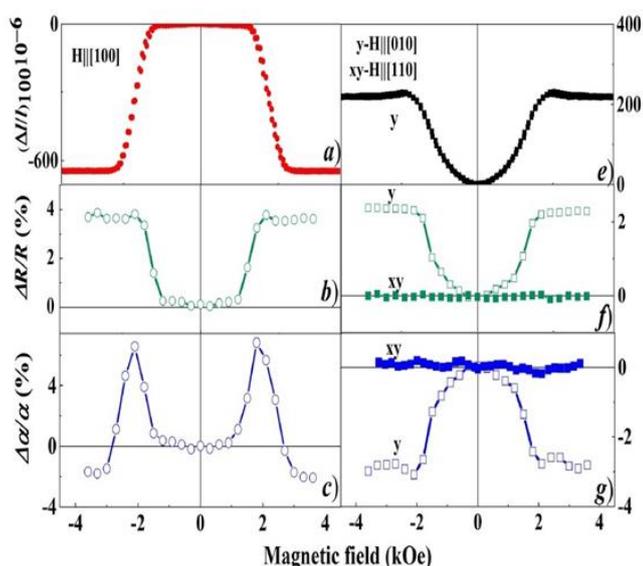


Рис. 1. Полевые зависимости линейной магнитострикции (а,е), магнитоотражения (b,f), магнитопоглощения (с,g) на длине волны 2.7 мкм для различных ориентаций магнитного поля относительно осей кристалла CoFe_2O_4 : y – $\text{H}||[010]$, xy – $\text{H}||[110]$.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России (тема “Спин” №АААА-А18-118020290104-2)

1. Yu. P. Sukhorukov, A. V. Telegin, N. G. Bebenin et al., Solid State Commun. 263, 27 (2017).
2. Yu. P. Sukhorukov, N. G. Bebenin, A. V. Telegin et al., Phys. of Met. and Metallogr. 119, 1167 (2018).
3. Ю. П. Сухоруков, А. В. Телегин, Н. Г. Бебенин и др., Письма в ЖЭТФ 108, 47 (2018).

ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ Mg-Al ШПИНЕЛИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ДИНАМИКА РЕШЕТКИ

Сушанек Л.Я.^{1,2}, Щапова Ю.В.^{1,2}, Киряков А.Н.¹, Сулейманов С.Х.³,
Зацепин А.Ф.¹

¹⁾ Уральский Федеральный Университет имени Первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт Геологии и Геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

³⁾ Институт материаловедения НПО "Физика-Солнце" АН Уз, пос. Солнце, Узбеки-
стан

E-mail: lev.sushanek@gmail.com

THIN-FILM COATINGS OF Mg-Al SPINEL ON DIELECTRIC SUBSTRATES: SYNTHESIS, STRUCTURE AND LATTICE DYNAMICS

Sushanek L.Y.^{1,2}, Shchapova Y.V.^{1,2}, Kiryakov A.N.¹, Suleimanov S. Kh.³,
Zatsepin A.F.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Yekaterinburg, Russia

³⁾ Physical-Technical Institute of SPA «Physics-Sun» Uzbekistan Academy of Sciences,
village Solntse, Uzbekistan

Thin-film coatings based on Mg-Al spinel possess high thermal, chemical and radiation durability. Thus, they make it perspective for nano- and optoelectronic applications, where those factors are critical.

Тонкопленочные материалы на основе магний-алюминиевой шпинели $MgAl_2O_4$ обладают структурой, характеризующейся высокой изоморфной ёмкостью и способностью к инверсному распределению катионов по позициям [1, 2], что позволяет целенаправленно влиять на ее оптоэлектронные свойства. Целью настоящей работы является изучение структуры и динамики решетки тонких пленок $MgAl_2O_4$, синтезированных на кристаллических и стеклообразных подложках.

Исследованы покрытия толщиной 0.055 - 2 мкм, полученные методами высокотемпературного испарения концентрированным солнечным излучением спрессованного из нанопорошка $MgAl_2O_4$ компакта в Большой Солнечной печи НПО "Физика-Солнце" АН РУз. Конденсация испаренного вещества выполнялась на подложках из кристаллического Al_2O_3 и стеклообразного SiO_2 . В качестве образцов сравнения использованы синтетическая нанокерамика и монокристаллы природной шпинели. Исследования выполнены на рентгеновском дифрактометре XRD 7000 (Shimadzu) и спектрометре комбинационного рассеяния света (КРС) LabRam HR 800 Evolution (Horiba), оснащенном конфокальным микроскопом

Olympus, Ar (488 и 514 нм), He-Ne (633 нм) лазерами и термоприставкой Linkam THMS 600.

Отработана методика разделения сигналов КРС (и/или сопутствующей люминесценции) пленки и подложки на основе послойных измерений спектров при диаметре конфокального отверстия 20-50 мкм с шагом сканирования по глубине 0.1-0.5 мкм (Рис.1). Проанализированы спектры тонкопленочного покрытия $MgAl_2O_4$ в зависимости от материала подложки (Al_2O_3 , SiO_2) и толщины пленки. Исследованы динамика решетки и термическая стабильность покрытий в диапазоне температур 77 - 870 К.

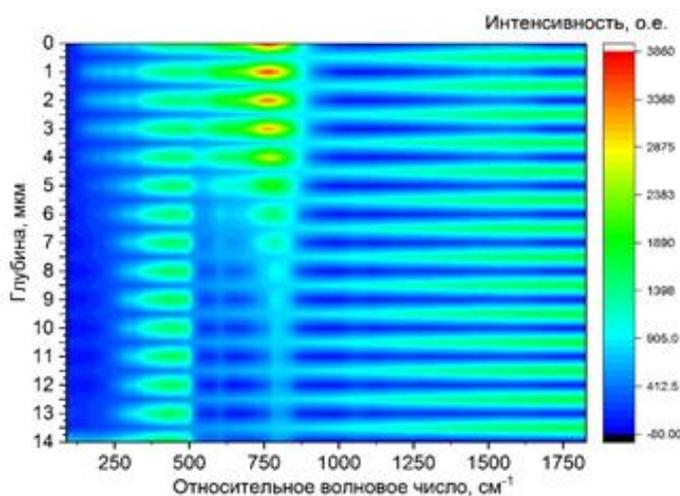


Рис. 1. 3D-массив спектров КРС, полученный при послойных измерениях системы пленка Mg-Al шпинели (толщина 2 мкм) - подложка из оксида кремния. Спектры нормированы на интенсивность линии D1 кварцевого стекла при 487 обратных сантиметрах

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГГ УрО РАН (№АААА-А18-118053090045-8) с использованием оборудования ЦКП "Геоаналитик", дооснащение которого поддержано грантом Минобрнауки РФ (№075-15-2021-680). Получение тонкопленочных покрытий выполнено в рамках грантов РФФИ № 21-12-00392, РФФИ № 20-42-660012 и госзадания 2020-0059

1. Cynn H., Anderson O.L., Nicol M., Effects of cation disordering in a natural $MgAl_2O_4$ spinel observed by rectangular parallelepiped ultrasonic resonance and Raman measurements, Pure and Applied Geophysics, 1993, Т. 141, №2, с. 415-444
2. Slotznick S.P., Shim S.H., In situ Raman spectroscopy measurements of $MgAl_2O_4$ spinel up to 1400 C, American Mineralogist, 2008, Т. 93, №2-3, с. 470-476

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЕМЕЙСТВА A_2MnTeO_6 ($A = Li, Ni, Ag, Tl$), ОПРЕДЕЛЁННЫЕ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ ПОРОШКОВОЙ ДИФРАКЦИИ

Сулопарова А.Е.^{1,2}, Курбаков А.И.¹

¹) НИЦ "КИ" – Петербургский институт ядерной физики

²) Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: susloparovanna@mail.ru

CRYSTAL STRUCTURES AND MAGNETIC PROPERTIES OF THE A_2MnTeO_6 FAMILY ($A = Li, Ni, Ag, Tl$)

Susloparova A.E.^{1,2}, Kurbakov A.I.¹

¹) NRC "KI" – Petersburg Nuclear Physics Institute

²) St Petersburg University

Neutron diffraction studies of powder samples from the A_2MnTeO_6 ($A = Li, Na, Ag, Tl$) family of tellurates at room and low temperatures have been carried out. The features of the crystal structure were studied and the spin structure in the ordered state was determined for all compounds.

Проведены нейтронографические исследования порошковых образцов из семейства теллуриатов A_2MnTeO_6 ($A = Li, Na, Ag, Tl$) при комнатной и низких температурах. Все образцы кристаллизуются в пространственную группу $R\bar{3}1c$, структура представляет собой соттообразные слои чередующихся между собой $(MnTeO_6)^{2-}$ и немагнитного слоя A^+ . Изучены особенности кристаллической структуры, обнаружено частичное замещение атомов Mn и Te. В результате симметричного и полнопрофильного анализа определены спиновые структуры в упорядоченном состоянии для соединений при $T = 1.6$ К. Модель представляет собой соизмеримую неколлинеарную 120-градусную треугольную структуру, лежащую в плоскости ab с вектором распространения $k = (\frac{1}{3} \frac{1}{3} \frac{1}{3})$ для Na_2MnTeO_6 [1] и Ag_2MnTeO_6 [2], и $k = (\frac{1}{3} \frac{1}{3} 0)$ для Li_2MnTeO_6 [3]. Нейтронографические измерения на Tl_2MnTeO_6 не показали возникновения дополнительных рефлексов, связанных с организацией дальнего магнитного порядка вплоть до $T = 1.6$ К. Проведено сравнение всех исследуемых соединений – несмотря на идентичные кристаллические структуры, обнаружено различие магнитной структуры Li_2MnTeO_6 с упорядочением в Na_2MnTeO_6 и Ag_2MnTeO_6 .

Все соединения A_2MnTeO_6 имеют треугольную геометрию расположения магнитных ионов, что, в сочетании со слоистой структурой, обеспечивает условия для возникновения фрустрированных взаимодействий в магнитной подсистеме. Подобное сочетание свойств с сильной кулоновской корреляцией и спин-орбитальным взаимодействием, может привести к появлению новых экзотических магнитных фаз в этих системах. Низкоразмерные и одновременно фрустрированные магнетики демонстрируют удивительно богатые магнитные фазовые

диаграммы, а в некоторых случаях установление дальнего порядка затрудняется в пользу основного состояния подобного спиновой жидкости с остаточной энтропией. Спин-жидкостные состояния, возникающие в идеальных теоретических моделях, в реальных магнетиках могут оказываться неустойчивыми из-за присутствия различных слабых взаимодействий (одноионной анизотропии, анизотропных спин-спиновых взаимодействий, взаимодействий далёких соседей, спин-решеточных связей или структурных искажений), что и приводит к разнообразным фазовым диаграммам и непредсказуемым фазовым переходам.

1. A. I. Kurbakov, A. E. Susloparova et al. *Physical Review B*. (2022)
2. А.Е. Суслопарова, А.И. Курбаков, *ФММ* (2022)
3. A. E. Susloparova, A. I. Kurbakov et al. *Physical Review B*. 102, 094433 (2020)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАНОСИСТЕМ В РЕЖИМЕ ПЕРЕДАЮЩИХ И ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Кашин И.В.¹, Сырников Е.В.¹

¹) Кафедра Теоретической физики и прикладной математики, Уральский федеральный университет, ул. Мира 19, 620002 Екатеринбург, Россия.
E-mail: e.syrnikov105@gmail.com

STABILITY AND BOUND STATES CONTROL RESEARCH IN RELATION TO SURFACE NANOSYSTEM BASED TRANSMITTING AND LOGICAL DEVICES

Kashin I.V.¹, Syrnikov E.V.¹

¹) Theoretical Physics and Applied Mathematics Department, Ural Federal University, Mira Street 19, 620002 Ekaterinburg, Russia.

We suggest research of surface nanosystems based transmitting and logic devices. These are systems of individual transition metal atoms adsorbed to the surface. We consider methods of bound states control and stability of the systems.

С момента изобретения электронно-вычислительных машин их мощность наращивалась путём увеличения количества транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, и увеличения тактовой частоты процессора. Сегодня процессоры могут насчитывать до 50 млрд транзисторов в схемах, а их размер достигает нескольких нанометров.

Одним из подходов к дальнейшему наращиванию вычислительных мощностей является использование спиновых степеней свободы отдельных атомов и частиц для реализации как логических устройств, так и модулей памяти, обладающих высокой емкостью и низким энергопотреблением. Принцип работы таких устройств основан на обменном взаимодействии локализованных магнитных моментов атомов.

Целью данной работы является исследование методов контроля связанных состояний и оценка стабильности работы передающих и логических устройств, представляющих из себя системы отдельных атомов переходного металла, адсорбированных на поверхность.

Подобные устройства функционируют следующим образом: «входами» логического или передающего устройства являются ферромагнитные «островки», которые могут быть намагничены с импульсным магнитным полем. Информация о их состоянии, посредством обменного взаимодействия, передаётся через атомные цепи в область «затвора» - атома, намагниченность которого считывается. Таким образом, в зависимости от намагниченностей «входов», можно получать логические функции.

Для моделирования таких систем используется гибридная квантово-механическая модель, включающая в себя как квантовые, так и «классические» спины. Классические спины – «входы» устройства представляются в виде трёхмерного вектора $\mathbf{K} = (0, 0, K)$ произвольной длины, параллельного оси z . Передачей сигнала считается изменение среднего значения оператора z -проекции спина «выходного» атома.

В работе рассматриваются системы, описываемые моделью Гейзенберга. Для их решения составляется матрица гамильтониана и находятся его собственные значения методом точной диагонализации.

В ходе работы было получено выражение для изменения магнитной энтропии систем, состоящих из нескольких атомов. Был разработан алгоритм введения хаотических воздействий в систему и проведено исследование устойчивости систем к различным конфигурациям модели шумового воздействия. Был введён формализм «неаккуратного эксперимента», который позволяет оценить стабильность систем к отклонению намагниченностей «входов», относительно оси z , от их «идеального» положения, благодаря чему были определены «рабочие зоны» рассматриваемых устройств.

1. Realizing All-Spin-Based Logic Operations Atom by Atom / A. A. Khajetoorians [и др.], *Science* — 2011. — Май.
2. R. Wiesendanger. “Spin-Polarized Scanning Tunneling Microscopy (SPSTM)”. *MRS Proceedings* 231 (1991), p. 37. doi: 10.1557/PROC-231-37.
3. D. M. Eigler, E. K. Schweizer. “Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope”. *Nature* 344 (1990), 524526. doi: 10.1038/344524a0.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЧЕТВЕРНЫХ ГРАНАТОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ТРЕХВАЛЕНТНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Таврунов Д.А.¹, Досовицкий Г.², Гордиенко Е.², Коржик М.³,
Пустоваров В.А.¹

- ¹) Физико–технологический институт Уральского федерального университета, 620002, Екатеринбург, Россия
- ²) Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – ИРЕА, 123098, Москва, Россия
- ³) Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, 220030, Минск, Беларусь
E-mail: dmitry.tavrunov@gmail.com

LUMINESCENCE SPECTROSCOPY OF QUATERNARY GARNETS DOPED WITH TRIVALENT RARE-EARTH IONS

Tavrunov D.A.¹, Dosovitskiy G.², Gordienko E.², Korjik M.³, Pustovarov V.A.¹

- ¹) Institute of Physics and Technology of Ural Federal University, 620002, Yekaterinburg, Russia
- ²) National Research Center «Kurchatov Institute» – IREA, 123098, Moscow, Russia
- ³) Institute for Nuclear Problems of Belarus State University, 220030, Minsk, Belarus

Spectroscopy and energy transport in multi–ion ceramics with garnet structure (GYAGG) doped with rare–earth ions (Ce^{3+} , Tb^{3+} , Eu^{3+}) were studied by photoluminescence (PL), cathodoluminescence (CL) and X–ray luminescence (XRL) methods.

Оптические свойства четверных гранатов широко исследуются [1], однако, не смотря на то, что люминофоры на основе этих соединений изучаются длительное время, механизм люминесценции и модели центров свечения до сих пор остаются предметом дискуссий. В связи с этим задача изучения релаксации центров люминесценции, физических процессов возбуждения и транспорта поглощенной энергии, которые определяют квантовый выход люминофора, световой выход и кинетику сцинтилляций остается актуальной. Настоящая работа посвящена исследованию люминесцентных свойств керамик, имеющих структуру граната $(Gd, Y)_3Al_2Ga_3O_{12}$ и легированных трехвалентными ионами (Ce, Tb, Eu), при возбуждении УФ– и рентгеновским излучением, импульсным электронным пучком.

Тонкодисперсные порошки синтезированы в НИЦ «Курчатовский институт» методами соосаждения и цитратно–нитратного пиролиза. Посредством одноосного спекания изготовлены керамические образцы в виде таблеток. Спектры излучения и возбуждения фотолюминесценции измерялись в диапазоне температур 80 – 300 К с использованием дейтериевой 400 Вт газоразрядной лампы, двойных призмных монохроматоров ДМР–4 и ФЭУ R6358–10. Для получения спектров рентгенолюминесценции использовался аппарат УРС–55А (Cu–анод, 30 кВ, 10

мА), для измерения кинетики затухания люминесценции использовался малогабаритный электронный ускоритель МИРА–2Д ($E = 120$ кэВ, $\tau_{\text{ИМП}} = 25$ нс). Измерения выполнены в лаборатории физики твердого тела кафедры экспериментальной физики, ФТИ, УрФУ.

На Рис. 1 для примера показаны спектры люминесценции при возбуждении УФ–фотонами различной энергии и рентгеновским излучением.

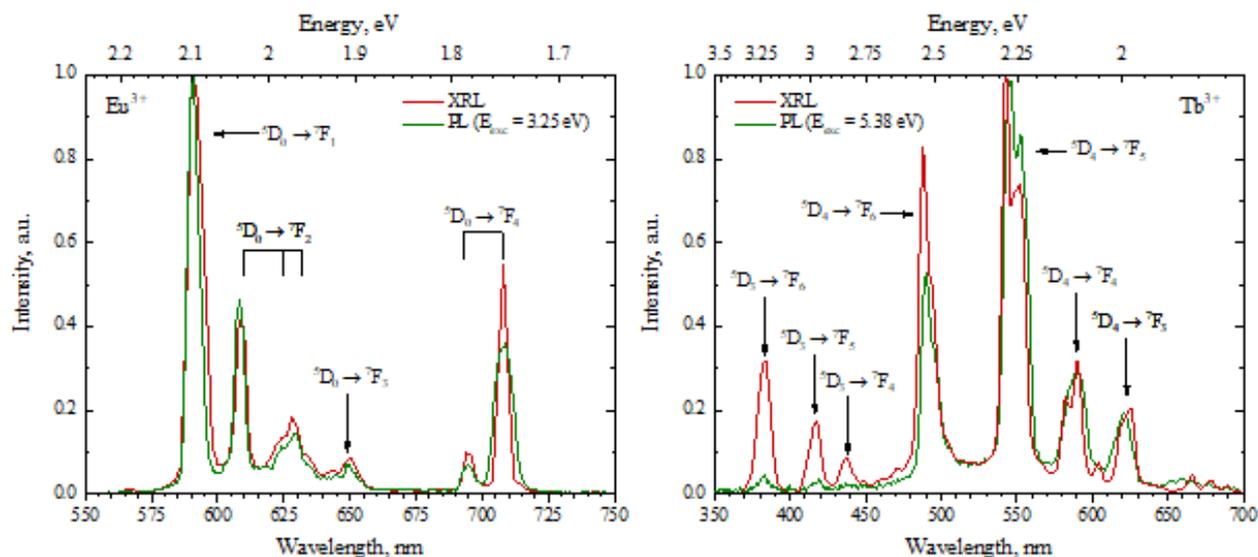


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции (PL) и рентгенолюминесценции (XRL) керамики $(\text{Gd},\text{Y})_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$, легированной ионами Eu^{3+} (слева), Tb^{3+} (справа)

Параметризация экспериментальных кривых, а также обсуждение данных спектроскопии в сочетании с известными литературными данными позволили сделать обоснованные заключения о люминесцентных свойствах четверных гранатов, их сцинтилляционных применений.

The work was partially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (through the basic part of the government mandate, project No. FEUZ-2020-0060).

1. M. Korzhik, A. Borisevich, A. Fedorov, E. Gordienko, P. Karpyuk, V. Dubov, P. Sokolov, A. Mikhlin, G. Dosovitskiy, V. Mechninsky, D. Kozlov, V. Uglov, J. Lumin., 234 (2021), p. 117933.

BROADBAND MICROWAVE ABSORPTION IN CO-BASED AMORPHOUS RIBBONS

Timofeeva A.V.¹, Volchkov S.O.¹, Pasyunkova A.A.¹, Melnikov G. Yu.¹,
Kurlyandskaya G.V.¹

¹) Department of Magnetism and Magnetic Nanomaterials, Ural Federal University,
620002 Ekaterinburg, Russia
E-mail: selenanastya.1998@mail.ru

Ferromagnetic resonance of $\text{Fe}_3\text{Co}_{67}\text{Cr}_3\text{Si}_{15}\text{B}_{12}$ amorphous ribbons was measured using Rohde&Schwartz ZVA-67 Vector Network Analyzer in a wide frequency range 1–15 GHz.

Ferromagnetic resonance (FMR) is a powerful tool for evaluation characteristics of dynamic magnetic permeability, magnetic anisotropy, the degree of homogeneity and internal stresses of amorphous ferromagnets [1]. FMR is the selective absorption by a ferromagnet of an electromagnetic field energy at frequencies coinciding with the fundamental precession frequency of magnetic moments in an internal magnetic field. Classic technique of the FMR measurements is a cavity perturbation for which the cavity is tuned to a particular frequency. However, the study of magnetodynamic properties in a wide frequency range become more and more requested in the modern research and technological applications. One of the phenomenon dealing with the dynamic magnetic permeability in a wide frequency range is magnetoimpedance (MI) [2]. Previously, method of the measurements of FMR characteristics using a network analyzer in the frequency range up to 12 GHz was described and tested in the case of microwires and rapidly quenched wires [3]. In this work, we have tested the method for obtaining FMR spectra in a wide frequency range of 1–12 GHz in a coaxial line for Co-based ribbons interesting for MI applications.

Amorphous ribbons of $\text{Fe}_3\text{Co}_{67}\text{Cr}_3\text{Si}_{15}\text{B}_{12}$ composition were obtained by quenching on a rapidly rotating drum. Study of FMR of Co-based ribbons (width – 0.8 mm and length – 3.4 mm) was conducted using Rohde&Schwartz ZVA-67 VNA for frequencies 1–15 GHz. Both as-quenched and stress-annealed ribbons were studied. The reflection coefficient S_{11} was measured and the external magnetic field up to 4 kOe was applied parallel to the ribbon axis. Sample holders were made based on SMA S-2454 connectors, electric contacts with samples were done with conductive paint. S_{11} values corresponded to output at various values of applied magnetic field. Figure 1 shows the dependence of reflection coefficient S_{11} on the value of the applied magnetic field (here the minimum position can be associated with the resonance field H_{res}). The H_{res} according to the theory can be defined by the Kittel formula [4] (the anisotropy field of the ribbons was measured previously). The experimental results obtained by the method presented in the work correlated well with the theoretical dependence (Fig. 1b). The comparative analysis of the magnetodynamic characteristics of ribbons in the broadband range showed very close similarity for both quenched state and after stress

annealing due to very high magnetic softness and small value of the magnetic anisotropy field.

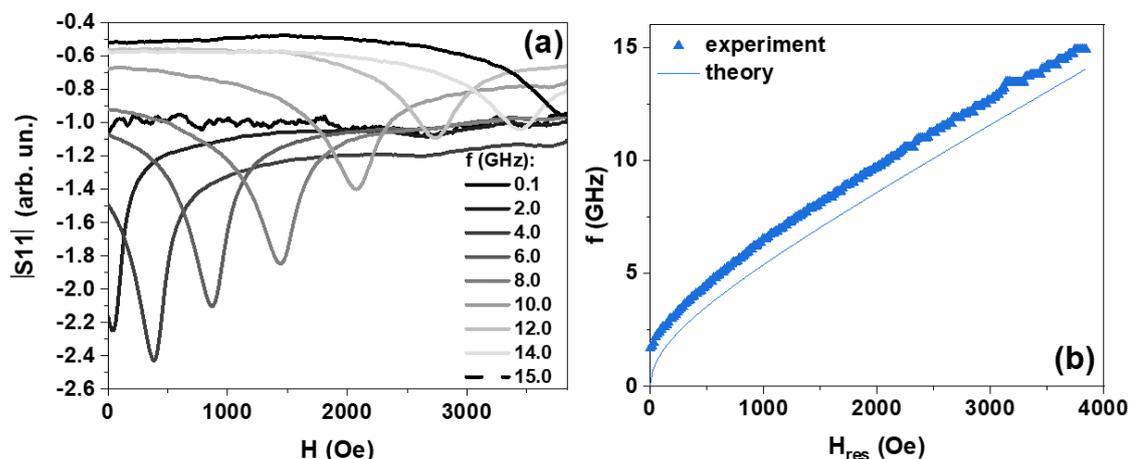


Figure 1 – Field dependence of S_{11} parameter for $\text{Fe}_3\text{Co}_{67}\text{Cr}_3\text{Si}_{15}\text{B}_{12}$ amorphous ribbon in the as-quenched state (a). Comparison of the frequency dependence of the FMR resonance fields obtained experimentally and using Kittel approximation (b).

This research was funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant number FEUZ-2020-0051.

1. S. M. Bhagat. Ferromagnetic Resonance, Metals Handbook. 10, 267, (1986).
2. G. Kurlyandskaya, V. Levit, Biosens. Bioelectron. 20, 1611, (2005).
3. R. El Kammouni, G. Infante, J. Torrejon, M. R. Britel, J. Brigui, M. Vazquez, Phys. Stat. Sol. A 208, 520, (2011).
4. C. Kittel, Introduction to Solid State Physics. Wiley, New York, (1996).

INVESTIGATION OF THE LUMINESCENT CHARACTERISTICS OF Li_2SO_4 CRYSTAL GROWN FROM AQUEOUS SOLUTION

Tolekov D.A.¹, Nurakhmetov T.N.¹, Shamiyeva R.K.¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University 2 Satbaeva 010000, Nur-Sultan, Kazakhstan

E-mail: doszhan_ta_93@mail.ru

Vacuum ultraviolet and thermal activation spectroscopy methods have been used to study the nature of intrinsic radiation and the mechanisms of formation of electron-hole trapping centers in an irradiated Li_2SO_4 crystal.

Sulfates of alkali and alkaline earth metals are widely used in production and in scientific research as dosimeters, scintillators and various detectors. To improve the operational characteristics of dosimeters and scintillators, i.e., to increase their sensitivity to external influences, it is necessary to study the fundamental processes of transformation of the energy of high-energy electronic excitations into low-energy electronic excitations.

According to the assumption of the authors of [1], localized holes arise above the valence band as a result of their floating up from three subbands of the valence band of the $[\text{SO}]_4^-$ ion in sulfates. Holes in three subbands of the valence band are formed as a result of electron transitions from the subband in the s state of the cation to the conduction bands. Short-wavelength self-radiation bands appear in many sulfates when excited by high-energy photons.

In works [2], $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-Cu}$ crystals were grown at a temperature of 50°C from a saturated aqueous solution by the slow evaporation method. Powdered samples were obtained by the “wet” chemical method from Li_2SO_4 (Sigma-Aldrich) with the addition of 0.01 mol% $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich). After evaporation at 800°C for 8 hours, powdered samples $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-Cu}$ are formed. After drying, the sample is annealed at 700°C for 1 hour. After these processes, the powder was pressed with a pressure of 0.5 MPa using a laboratory hand press. In irradiated sulfates, in addition to the main short-wavelength intrinsic emission bands of 3.7-4.3 eV, long-wavelength emission bands of 3.0-3.1 eV, 2.6-2.7 eV and 2.3-2.4 eV appear, associated with generation of electron-hole capture centers. In our works [3, 4], it was assumed that trapping centers are created during the localization of free electrons on anionic complexes according to the reaction $\text{SO}_4^{2-} + e \rightarrow \text{SO}_4^{3-}$ [5] and the localization of the hole component in the form of the SO_4^- radical (localized hole). Vacuum ultraviolet and thermal activation spectroscopy methods have been used to study the nature of intrinsic radiation and the mechanisms of formation of electron-hole trapping centers in an irradiated Li_2SO_4 crystal. The band gap for Li_2SO_4 was estimated. Based on the measurement of the excitation spectrum of intrinsic radiation, the electronic transitions that create these radiations are identified. To measure the emission spectra in the spectral region $1.5\div 6.2$ eV, a Solar CM 2203 spectrofluorimeter was used.

Measurement of the excitation spectra of long-wavelength recombination emission bands showed that electron-hole trapping centers with energy distances of 4.5-4.7 eV and 3.9-4.0 eV are formed in the crystal. Thus, upon excitation in the fundamental region of the crystal, where electron-hole pairs are created, capture centers are formed, which manifest themselves in the form of recombination radiation 3.0-3.1 eV, 2.6-2.7 eV, 2.25-2, 45 eV.

1. Salikhodzha Zh.M., Nurakhmetov T.N., Akilbekov A.T., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A. Zh., Sadykova B.M., Daurenbekov D.H., Zhangylysov K.B. // Journal of Radiation Measurements 2019. V. 125. P. 19.
2. T.N. Nurakhmetov, Zh.M. Salikhodzha, M.Y. Dolomatov , B.N. Yussupbekova, A.M. Zhunusbekov, A.Zh. Kainarbay, D.H. Daurenbekov, B.M. Sadykova, K.B. Zhangylyssov, T.T. Alibay, D.A. Tolekov // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials 2021, 5(2), 140-147
3. Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Bakhtizin R.Z., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Zh., Daurenbekov D.H., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N. // J. Optik 2019. V. 185. P. 156.
4. Salikhodzha Zh.M., Nurakhmetov T.N., Akilbekov A.T., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A. Zh., Sadykova B.M., Daurenbekov D.H., Zhangylysov K.B. // Journal of Radiation Measurements 2019. V. 125. P. 19.
5. Byberg J.R.. // Journal of Chemical Physics 1986. 84(11). P. 6083.

PHASE TRANSITION BOUNDARY DYNAMICS IN THE PRESENCE OF CRYSTALS NUCLEATION

Makoveeva E.V.¹, Zhukova, O. M.², Alexandrov D.V.², Toropova L.V.¹

¹) Department of Theoretical and Mathematical Physics, Laboratory of Mathematical Modeling of Physical and Chemical Processes in Multiphase Media, Ural Federal University, Ekaterinburg, 620000, Russian Federation

²) Department of Theoretical and Mathematical Physics, Laboratory of Multi-Scale Mathematical Modeling, Ural Federal University, Ekaterinburg, 620000, Russian Federation
E-mail: l.v.toropova@urfu.ru

The theory of motion of the solid/liquid interface in a supercooled melt is developed. Crystal nucleation and growth processes are responsible for the release of latent crystallization heat, which reduces the undercooling of the melt and narrows the thickness of the two-phase layer.

The crystal nucleation and growth in a metastable system (supersaturated solution or supercooled liquid) is well known to completely determine the dynamic behavior and properties of the phase transition layer. Such evolutionary processes can occur in a range of fields of modern science, from condensed matter physics to physical chemistry, biophysics, and the life sciences [1]. The main objective of this research is to formulate a theoretical method for solving the problem of the moving boundary of combined directional and bulk crystallization in a non-stationary regime.

The theory of motion of the solid-liquid interface in the presence of nucleation and particle growth processes in a supercooled layer is developed. Together with the developing crystals, that partly compensate for undercooling, this layer is propagating into the pure melt at a velocity that depends on the crystal growth rate and the nucleation rate. The result of this study is the dynamic law of interface motion $Z(t)=a*t^{1/2} + b*y*t^{7/2}$ (a, b are constants, y is a function determined in [2]). This law differs significantly from the case without nucleation and crystal growth, which determines the interface as $Z_0(t)=a*t^{1/2}$. A negative coefficient y [2] reduces the undercooled layer starting from a certain point in time. This is due to the effect of latent heat release, which reduces the supercooling of the melt and narrows its spatial size (the thickness of the two-phase layer).

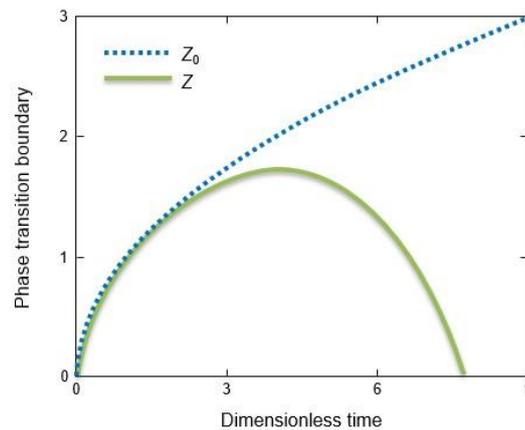


Fig. 1. The phase transition boundary as a function of dimensionless time

The analytical solution is shown in Fig. 1. The dynamics of the interface differs significantly from the particle-free case in the two-phase layer. This purely frontal case, shown by the dashed curve is described by the law of the square root of time, i.e. $Z_0(t) \sim t^{1/2}$. The nucleation and evolution of solids in the two-phase layer dramatically changes this dynamic law. Beginning at a certain point in time, the law of interface motion becomes a decreasing function of time. This is due to the fact that growing crystals release the latent heat of the phase transition, which partially reduces the undercooling in the two-phase layer and, consequently, its thickness.

Authors gratefully acknowledge financial support from the Russian Science Foundation (project no. 21-79-10012).

1. Toropova, L.V., Aseev, D.L., Osipov, S.I., Ivanov, A.A. Mathematical modeling of bulk and directional crystallization with the moving phase transition layer, *Math. Method Appl. Sci.*, 2021. DOI: 10.1002/mma.7864
2. Alexandrov, D. V. Dynamics of the phase transition boundary in the presence of nucleation and growth of crystals. *J. Phys. A Math. Theor.* (2017) 50(34), 345101. DOI: 10.1088/1751-8121/aa7ab0

СТРУКТУРА ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ (CoFeZr)-(MgF)

Трегубова Т.В.¹, Стогней О.В.¹, Трегубов И.М.¹

¹) Воронежский Государственный Политехнический Университет, 394026, Московский пр-т 14, Воронеж, Россия
E-mail: ttv1507@ya.ru

THE STRUCTURE OF THIN-FILM COMPOSITES (CoFeZr)-(MgF)

Tregubova T. V.¹, Stognej O.V.¹, Tregubov I.M.¹

¹) Voronezh State Technical University, 394026, Moskovskij prospect 14, Voronzh, Russia

The structure of nanocomposites thin-film (CoFeZr)-(MgF) was studied in a wide range of metal phase concentrations ($7 \leq x$, at.% ≤ 55). The phase and elemental composition in the initial state and after annealing were studied.

Гранулированные наноконкомпозиты металл-диэлектрик (CoFeZr)_x(MgF)_{100-x} получены методом ионно-лучевого распыления составных мишеней в среде аргона. Элементный и фазовый состав образцов контролировался с помощью сканирующего рентгеновского микроанализатора JXA-840. Исследование структуры проводилось на дифрактометре BRUKER D2 Phaser.

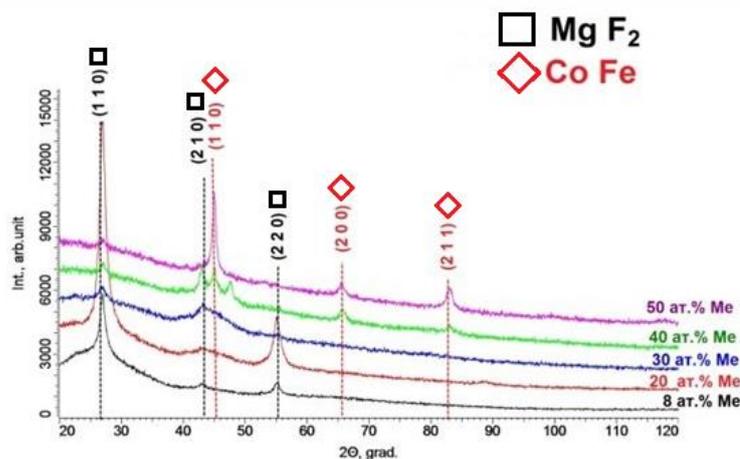


Рис. 1. Дифрактограммы системы композита (CoFeZr)-(MgF) с разной концентрацией металлической фазы. Концентрация металлической фазы (в ат. %) указывается цифрами у кривых.

Установлено, в композитах (Co₄₇Fe₄₂Zr₁₁)_x(MgF₂)_{100-x} при малом содержании металлической фазы на дифрактограммах присутствуют пики, соответствующие кристаллическому фториду MgF₂, причем, наблюдается ростовая анизотропия (пики получены преимущественно от плоскостей семейства (110) и (220)). При увеличении концентрации металлической фазы появляются пики, относящиеся к кристаллическому сплаву CoFe (рис. 1). При получении композитов данной

системы предполагалось, что структура металлической фазы должна быть аморфной, аналогично тому, что наблюдалось в композитах $(\text{Co}_{47}\text{Fe}_{42}\text{Zr}_{11})-(\text{SiO}_2)$ и $(\text{Co}_{47}\text{Fe}_{42}\text{Zr}_{11})-(\text{Al}_2\text{O}_3)$ поскольку сплав $\text{Co}_{47}\text{Fe}_{42}\text{Zr}_{11}$ является легко аморфизирующимся. Формирование кристаллического CoFe свидетельствует о том, что атомы циркония, являющиеся аморфизатором сплава, при осаждении на поверхность растущей пленки, не входят в состав металлической фазы, а взаимодействуют с элементами диэлектрической матрицы (Mg или F), растворяясь в ней.

По данным рентгеноструктурного анализа полученные доперколяционные композиты характеризуются высокой термической устойчивостью и отжиг, проводимый при $350\text{ }^\circ\text{C}$, не влияет ни на структуру, ни на магниторезистивные свойства образцов .

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЯДА БЕНЗОТИЕНОАЦЕНОВ

Трофимова К.Е.¹, Ищенко А.В.¹, Устюжанина Ю.Э.¹, Иргашев Р.А.²,
Вайнштейн И.А.¹

¹) НОЦ "Наноматериалы и нанотехнологии", Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²) Институт органического синтеза им. Я.И. Постовского, Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
E-mail: k.e.trofimova@urfu.ru

OPTICAL PROPERTIES OF BENZOTHIENOACENES

Trofimova K.E.¹, Ishchenko A. V.¹, Ustyuzhanina Yu.E.¹, Irgashev R. A.²,
Weinstein I. A.¹

¹) NANOTECH Centre, Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation,

²) Postovsky Institute of Organic Synthesis, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620137, Russian Federation

The study of the properties of thin films to produce semiconductor devices is of great interest in the field of flexible electronics. The purpose of this work is to determine the optical properties of raw materials based on benzothienoacenes in dissolved and powdered form.

Исследование свойств тонких пленок органических полупроводниковых соединений представляет большой интерес в области создания устройств гибкой электроники [1, 2]. Целью данной работы является определение оптических свойств полупроводниковых органических материалов на основе бензотиеноаценов (ВТТ: ВТТ-ОСН₃, ВТТ-ОС₂Н₅, ВТТ-2ОСН₂, В-ВТТ-2ОСН₂, ВТТ-N₂СН₃) в растворе и в порошкообразном виде. Данный класс соединений представляет особый интерес вследствие наличия в молекулах тиофена атома серы, являющейся в данных соединениях донором электронов, что может положительно повлиять на их электрофизические свойства.

Оптические характеристики соединений в растворе определены методами абсорбционной оптической и фотолюминесцентной (ФЛ) спектроскопии. В спектрах оптического поглощения для некоторых образцов бензотиеноаценов (ВТТ-ОСН₃, ВТТ-ОС₂Н₅, ВТТ-2ОСН₂) обнаружены несколько основных полос поглощения с максимумами вблизи 250 и 325 нм. Для других образцов ВТТ (В-ВТТ-2ОСН₂, ВТТ-N₂СН₃) наблюдаются четыре полосы с максимумами вблизи 240, 260, 325 и 375 нм. По спектрах оптического поглощения проведена оценка ширины запрещенной зоны соединений.

Спектры ФЛ всех исследованных ВТТ представляют собой несимметричную полосу люминесценции с максимумом в диапазоне 400-510 нм. В спектрах возбуждения ФЛ бензотиеноаценов обнаружено три полосы с максимумами при 280, 325 и 375 нм, которые проявляются в зависимости от состава.

В докладе приводятся данные о люминесцентных свойствах исследуемых веществ в растворе и в порошкообразном виде. Обсуждается влияние растворителя, химического состава и структурных особенностей молекул на их люминесцентные свойства. Обсуждаются механизмы возбуждения люминесценции и диссипации энергии, а также практическое применение изученных материалов для создания элементной базы гибкой электроники и оптоэлектронных устройств.

1. Berggren, M., Nilsson, D. & Robinson, N. Organic materials for printed electronics, *Nature Materials*, 6, 3–5(2007).

2. Trofimova, K.E., Ishchenko, A.V., Weinstein, I.A., Irgashev, R. A., Kazin N. A. AIP Conference Proceedings, 2313, 030032 (2020).

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ФАЗ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Цепилов М.В.¹, Никифоров С.В.¹

¹) Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: tsepilo@mail.ru

KINETIC PARAMETERS OF THERMOLUMINESCENCE IN TRANSITIONAL PHASES OF ALUMINUM OXIDE

Tsepilov M.V.¹, Nikiforov S.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The Kinetic parameters of thermoluminescent of samples containing a mixture in transitional phases of aluminum oxide, annealed at different temperatures, have been estimated experimentally using various methods of thermal activation spectroscopy (with linear heating and isothermal exposure)

Для регистрации высокодозных ионизирующих излучений перспективным является использование термолюминесценции (ТЛ) наноструктурных люминофоров, обладающих повышенной радиационной стойкостью.

Задача разработки высокодозного ТЛ детектора до конца не решена и требует поиска новых перспективных материалов для этих целей. Наноструктурный оксид алюминия — это перспективный материал для высокодозной дозиметрии. Наиболее подробно исследованы термолюминесцентные (ТЛ) свойства α - Al_2O_3 [1]. Что касается переходных фаз, их ТЛ свойства и пригодность для высокодозной дозиметрии недостаточно изучены.

Для выяснения механизмов ТЛ переходных фаз Al_2O_3 и разработки модельных представлений целесообразно провести комплексный анализ кинетики ТЛ с использованием термоактивационной спектроскопии при различных режимах нагрева.

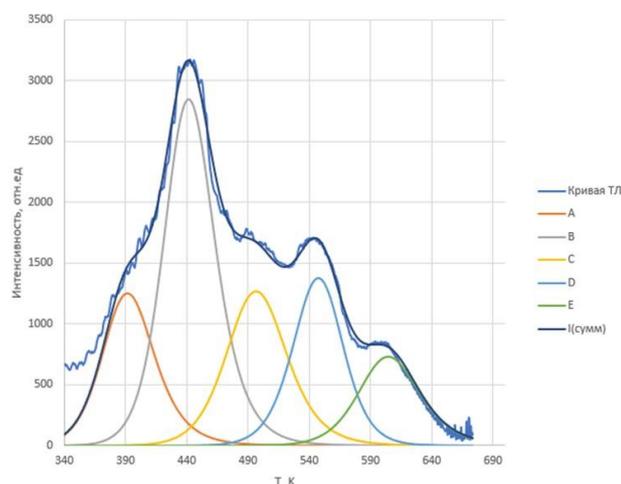
Цель работы – определение кинетических параметров ТЛ переходных фаз оксида алюминия с помощью разных режимов термоактивационной спектроскопии.

Исследовались образцы диаметром 6,1 мм в форме компактов, полученных путем холодного одноосного прессования наноструктурного порошка, содержащего смесь θ и δ -фаз Al_2O_3 с размером зерна 40-190 нм. Для варьирования фазового состава образцы отжигались на воздухе в электропечи при $T = 900^\circ\text{C} - 1200^\circ\text{C}$. ТЛ возбуждалась импульсным электронным пучком (130 кэВ) дозой 15 кГр. ТЛ измерялась при линейном нагреве при помощи ФЭУ-130 с максимальной чувствительностью в диапазоне длин волн 400-420 нм.

Были получены кинетические параметры ТЛ при помощи разложения кривых по уравнению кинетики общего порядка, описанном в работе [2] для различных скоростей нагрева. Установлено, что с ростом скорости нагрева кривых ТЛ пики

у всех исследуемых образцов смещаются в высокотемпературную область и увеличиваются по интенсивности. Отсутствие падения светосуммы с ростом скорости нагрева может свидетельствовать о том, что в исследуемых образцах не наблюдается эффект температурного тушения ТЛ.

Полученные кинетические параметры были использованы для аппроксимации кривых изотермического затухания ТЛ по формуле, представленной в работе [3]. При сравнении экспериментальных кривых изотермического затухания с теоретическими установлено, что не все кривые можно описать с помощью указанного уравнения. При $T_{отж} = 1000^{\circ}\text{C}$ данным уравнением удовлетворительно описываются кривые в диапазоне от 100°C до 260°C изотермического затухания. При $T_{отж} = 1200^{\circ}\text{C}$ можно описать кривые изотермического затухания в диапазоне от 100°C до 200°C . В работе также обсуждается применимость метода математического описания кривых изотермического затухания ТЛ в координатах $x = \ln(t)$ и $y = (I \cdot t)$ [3], где I – интенсивность, t – время, для определения кинетических параметров ТЛ исследуемых образцов.



Кривая ТЛ исходного образца, разложенная на пики А – Е при скорости нагрева $2^{\circ}\text{C}/\text{сек}$

1. Akselrod M.S., Kortov, V.S., Kravetsky, D.J., Gotlib, V.I. Highly sensitive thermoluminescence anion defective $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ single crystals detectors // Radiation Protection Dosimetry. – 1990. – V. 32. – Pp. 15-20
2. Kitis G., Gomez-Ros J. M., Tuyn J. W. N. Thermoluminescence glow-curve deconvolution functions for first, second and general orders of kinetics // J. Phys. D: Appl Phys. – 1998. – V. 31. – Pp. 2636 – 2641
3. Chen R., Kristianpoller, N. Investigation of phosphorescence decay using TL-like presentation// Radiat. Prot. Dosim. – 1986. – V. 17. – Pp. 443 – 446

ПРОСТЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ КВАНТОВОЙ ЗАПУТАННОСТИ НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ФОТОНОВ

Цыкарева Ю.В.¹, Макаров Д.Н.¹

¹Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия
E-mail: aisonoka@gmail.com

SIMPLE EXPRESSIONS FOR THE QUANTUM ENTANGLEMENT OF NON-MONOCROMATIC PHOTONS

Tsykareva Yu.V.¹, Makarov D.N.¹

¹Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, Russia

Simple expressions for the quantum entanglement of monochromatic and non-monochromatic photons on a waveguide beam splitter were found and analyzed using von Neumann entropy. It will be shown the great difference between both cases, which can be used to create large quantum entanglement.

Изучение светоделителей как источников запутанных фотонов является актуальным направлением современной физики. Такой интерес, в первую очередь, обусловлен тем, что такие источники запутанных фотонов будет иметь широкое применение во многих приложениях квантовой и нелинейной физики: квантовая метрология [1], квантовый компьютер [2] и т.д. Одним из наиболее перспективных типов светоделителя для квантовых технологий это линейный светоделитель. Такой светоделитель представляет собой два связанных волновода на подложке, где в месте максимального соприкосновения волноводов за счет наложения электромагнитных полей происходит запутывание фотонов. Этот тип светоделителей уже активно применяется в создании интегральных микросхем на основе квантовооптических технологий [3] и для конструирования оптического квантового компьютера [2].

Ранее в работе [4] уже были получены простые выражения для монохроматических фотонов, характеризующие квантовую запутанность с помощью одного параметра - коэффициента отражения R . Сам коэффициент отражения определяется параметрами исходных фотонов, представленных в виде гармонических осцилляторов. В этой работе рассмотрен случай немонохроматических фотонов [5] для линейного светоделителя, найдены простые выражения для квантовой запутанности таких фотонов, произведен сравнительный анализ случаев монохроматических и немонохроматических фотонов через энтропию фон Неймана. Показано, что полученные выражения могут иметь приложения в квантовой оптике, в частности в квантовой метрологии, для создания больших источников квантовой запутанности.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда № 20-72-10151

1. Pezze, L. et al. Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles. *Rev. Mod. Phys.*, 90, 035005 (2018)
2. Ladd, T.D. et al. Quantum Computers. *Nature*, 464, 45-53 (2010)
3. He, Y.M. et al. Single quantum emitters in monolayer semiconductors. *Nat. Nanotechnol.*, 10, 497-502 (2015)
4. Makarov, D. N. Quantum entanglement and reflection coefficient for coupled harmonic oscillators. *Phys. Rev. E*, 102, 052213 (2020)
5. Makarov, D. and Tsykareva, Yu. Quantum Entanglement of Monochromatic and Non-Monochromatic Photons on a Waveguide Beam Splitter. *Entropy*, 24, 49 (2022)

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ДО И ПОСЛЕ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ

Тютрин А.А.^{1,2}, Мартынович Е.Ф.^{1,2}

¹⁾ Институт лазерной физики СО РАН, Иркутский филиал, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130-А

²⁾ Иркутский государственный университет, Карла Маркса 1, 664003, Иркутск
E-mail: tyutrin.aleks@gmail.com

PHOTOLUMINESCENCE OF CD'S BEFORE AND AFTER UV IRRADIATION

Tyutrin A.A.^{1,2}, Martynovich E.F.^{1,2}

¹⁾ Institute of Laser Physics SB RAS, Irkutsk Branch, 130-A Lermontov Str, Irkutsk, 664033, Russia

²⁾ Irkutsk State University, Karla Marksa str., 664003, Irkutsk, Russia

Photoluminescence of carbon dots (CD's) after UV-irradiation is investigated. Carbon dots were synthesized by microplasma treatment of glucose at atmospheric pressure and room temperature. It was found a significant decrease in the luminescence intensity after UV irradiation.

The photoluminescence of CD's synthesized by the plasma method [1] after prolonged UV irradiation was studied. A 40% glucose solution was used as a precursor. The purpose of this work was to study the photostability of the synthesized CD's at UV light. The spectral-kinetic properties of the synthesized CDs were studied using a MicroTime 200 confocal scanning luminescence microscope. The time-resolved fluorescence decay curve was measured by the time-correlated single photon counting (TCSPC) method. CDs have a wide emission spectrum in 400 - 800 nm range at excitation in the 375 - 532 nm range. The measurement results showed that the synthesized CD's after irradiation with a UV lamp (365 nm) for 5 hours had a weak luminescence intensity in comparison with the non-irradiated sample at excitation wavelengths of 375, 405, 470 and 532 nm. Thus, synthesized CD's have weak photostability. Presumably, this is due to deoxidation of the CD's surface states under UV irradiation. The luminescence kinetics of CD's has three exponential components, but their values change after UV exposure.

The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, the Basic Research Plan of the Russian Academy of Sciences, Project No. 0243-2021-0004, the State Assignment, Project No. FZZE-2020-0017

1. A. A. Tyutrin, R. Wang, E. F. Martynovich, AIP Conf. Proc. 2392, 040006, (2021).

САМО-ДИФФУЗИЯ ВДОЛЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ БОЛЬШЕУГЛОВЫХ ГРАНИЦ ЗЕРЕН НАКЛОНА В ГЦК-НИКЕЛЕ

Уразалиев М.Г.¹, Ступак М.Е.¹, Попов В.В.¹

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: misha.urazaliev@yandex.ru

SPECIAL GRAIN BOUNDARY SELF-DIFFUSION IN NIKEL

Urazaliev M.G.¹, Stupak M.E.¹, Popov V.V.¹

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

An atomistic simulation of special tilt grain boundaries (GBs) in Ni has been carried out. The direct MD method was used to study the self-diffusion in GBs.

Границы зерен (ГЗ) в поликристаллах отвечают за многие свойства конструкционных металлов, такие как пластичность, прочность и диффузия. Знание структуры и поведения границ зерен, получаемое с помощью эксперимента, может быть дополнено атомистическим исследованием. Компьютерное моделирование специальных ГЗ лежит в основе атомистических исследований поликристаллической структуры и характеристик ГЗ, содержащихся в поликристалле.

Методом молекулярной статики (МС) получены модели границ зерен в гранецентрированном (ГЦК) плотноупакованном никеле, соответствующие теории решетки совпадающих узлов (PCU). Полученные методом МС модели ГЗ затем нагревали и подвергали выдержке при постоянной температуре (отжигу) в рамках классической молекулярной динамики (МД), для оценки стабильности структуры каждой конкретной ГЗ. Для установки нужной температуры использовали термостат Нозе-Гувера в изотермо-изобарическом ансамбле.

Методом прямой МД были рассчитаны коэффициенты самодиффузии в ГЗ $\Sigma 3(111)[11\bar{0}]$, угол 109.5° , $\Sigma 3(112)[11\bar{0}]$ угол 70.5° и $\Sigma 19(116)[11\bar{0}]$ угол 26.5° в ГЦК никеле (рис.1.). В работе использовался потенциал из работы [1]. Проведено сравнение между самодиффузией в т.н. предпочтительной ГЗ $\Sigma 3(111)[11\bar{0}]$, то есть ГЗ состоящей из одного типа структурного элемента, и ГЗ $\Sigma 19(116)[11\bar{0}]$, состоящей из разных типов структурных элементов.

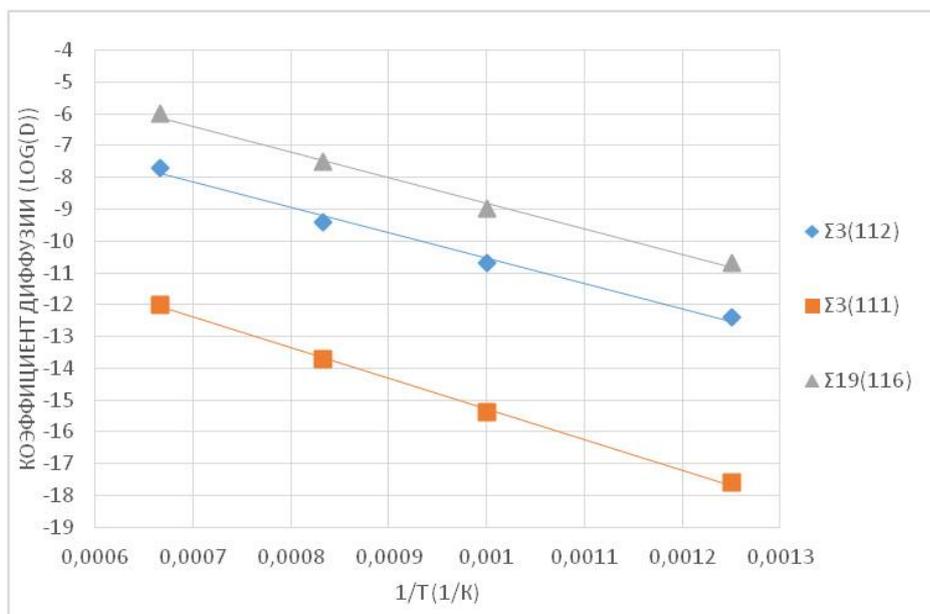


Рис. 1. Коэффициент зернограничной диффузии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Функция»

номер госрегистрации г.р. № 122021000035-6).

При проведении работ был использован суперкомпьютер «Уран» ИММ УрО РАН.

1. R. E. Stoller, A. Tamm, L. K. Béland, G. D. Samolyuk, G. M. Stocks, A. Caro, L. V. Slipchenko, Y. N. Osetsky, A. Aabloo, M. Klintonberg, and Y. Wang, "Impact of short-range forces on defect production from high-energy collisions," J. Chem. Theory Comput. 12, No. 6, 2871–2879 (2016)

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В СПЕЧЁННЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$

Уржумцев А.Н.¹, Мальцева В.Е.¹, Волегов А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andrei.urzhumtsev@urfu.ru

MAGNETIZATION REVERSAL PROCESSES IN SINTERED PERMANENT MAGNETS $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$

Urzhumtsev A.N.¹, Maltseva V.E.¹, Volegov A.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The magnetic properties of permanent magnets $\text{Sm}(\text{Co}_{0.796-x}\text{Fe}_{0.177}\text{Cu}_x\text{Zr}_{0.027})_{6.63}$ ($x = 0.117$ and 0.131) were investigated. A model of magnetization reversal processes is proposed to explain why in some the magnets exhibit a pinning mechanism of magnetization reversal and in some a nucleation.

В условиях повышенных температур эксплуатации, где требуется высокая стабильность магнитных свойств, применяются постоянные магниты (ПМ) $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$ ($z = 6,5 - 8,5$). Эти материалы уже достаточно изучены, однако, механизм их перемагничивания и природа формирования их гистерезисных свойств до сих пор остаются дискуссионными.

Существует несколько концепций механизмов высококоэрцитивного состояния магнитотвердых материалов. Первой была сформулирована модель пиннинга (pinning), основная идея которой заключается в задержке движения доменной стенки [1]. Позднее, для материалов Альни и Альнико, в которых ключевую роль в коэрцитивности играет фактор формы магнитных зёрен, разработана модель Стонера-Вольфарта [2] суть которой заключается в необратимом вращении векторов намагниченности. Последней, с появлением керамических ПМ SmCo_5 , появилась модель нуклеации (nucleation), идея которой заключается в поглощении доменов с энергетически невыгодной ориентацией намагниченности доменами с противоположной ориентацией намагниченности в процессе намагничивания и «невозникновении» доменной границы в отрицательных магнитных полях.

Исследованы спечённые ПМ $\text{Sm}(\text{Co}_{0.796-x}\text{Fe}_{0.177}\text{Cu}_x\text{Zr}_{0.027})_{6.63}$, где $x = 0.078$ (образец А) и 0.117 (образец В), произведенные на ООО «ПОЗ-Прогресс» в г. Верхняя Пышма. Измерения магнитных свойств образцов проводились в полях с индукцией до 9 Тл при температуре 300 К на измерительных установках PPMS DynaCool и MPMS-XL-7 EC производства Quantum Design.

На рисунке 1а и 1б представлены кривые намагничивания и предельная петля гистерезиса образцов А и В вдоль оси текстуры магнита. Кривые намагничивания

имеют перегиб и характеризуются областями с различной магнитной восприимчивостью.

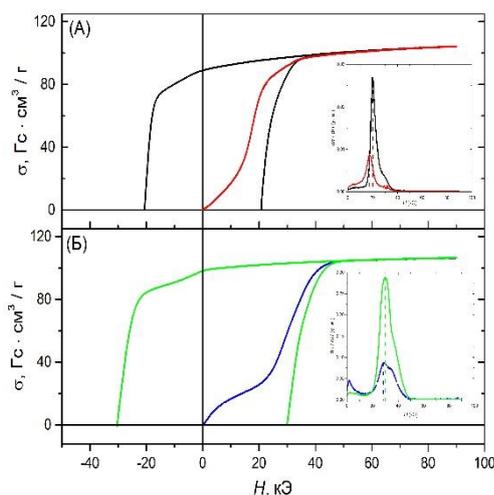


Рис. 1. Основные петли гистерезиса и общая магнитная восприимчивость образцов А и Б

В целом, процессы перемагничивания более сложны, чем исключительно пиннинг [3]. Обнаружена аномалия обратимого изменения намагниченности с увеличением поля. Аномалия присутствует и на участках кривых магнитной восприимчивости.

Предлагается модель механизма перемагничивания, нацеленная объяснить всю совокупность свойств ПМ $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$ [4]. Суть модели заключается в следующем. В размагничивающем поле ламели богатой Zr фазы, обменно-связанные с основной фазой $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, перемагничиваются. Из-за относительно слабого обменного взаимодействия между этими фазами доменная граница не переходит из одной фазы в другую. Вместо этого поле зародышеобразования в фазе $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ уменьшается за счет обменного взаимодействия. Критическое поле зарождения и закрепления доменных границ на границе фазы $\text{Sm}(\text{Cu}, \text{Co})_5$ примерно одинаковы, и поэтому в разных экспериментах наблюдаются результаты, характерные для одного из этих механизмов. Предложенная модель позволит объяснить особенности резкой зависимости коэрцитивной силы магнитов $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$ от режимов термообработки, что пока не удавалось удовлетворительно сделать в предположении модели пиннинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 20-32-90211.

1. S. V. Vonsovsky, Ya. S. Shur, Ferromagnetism - L.: State publishing house of technical and theoretical literature 840 (1948).
2. E. C. Stoner and E. P. Wohlfarth, Phil. Trans. R. Soc. A 240, 599 (1948).
3. A. N. Urzhumtsev et al, J. Phys.: Conf. Ser. 1389, 012115 (2019).
4. A. Urzhumtsev, V. Maltseva, A. Volegov, J. Magn. Magn. Mater. 551, 169143 (2022).

ПЛАЗМОННЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ШПИНЕЛИ $MgAl_2O_4$

Вагапов А. Ш.¹, Киряков А. Н.¹, Зацепин А. Ф.¹

¹) Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: alexander1705q@icloud.com

PLASMONIC AG NANOPARTICLES IN $MgAl_2O_4$ SPINEL THIN FILM

Vagapov A. Sh.¹, Kiryakov A. N.¹, Zatsepin A. F.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

We simulated the optical absorption spectra of silver nanoparticles with different aspect ratios. The shape and position of the surface plasmon resonance band is one of the criteria for estimating the size and geometry of plasmonic nanoparticles synthesized experimentally by ion-plasma methods.

Плазмонные наночастицы на основе благородных металлов активно исследуются различными научными группами. Явление поверхностного плазмонного резонанса (ППР) проявляется в когерентном возбуждении всех электронов проводимости наночастицы в результате поглощения кванта света и применяется для усиления физико-химических эффектов в материалах, используемых различных устройствах, сенсорах и датчиках [1]. На микроуровне формой и положением полосы поглощения ППР можно управлять за счет задания необходимой геометрии плазмонным наночастицам.

Синтез несферических металлических наночастиц возможен, в результате создания сильнонеравновесной среды за счет плотного потока ионов при ионной имплантации, как показано в работе [2]. Выбор радиационно-стойкой среды при этом обеспечивает малую мобильность имплантируемых ионов. Таким образом, в результате ионной имплантации можно достичь несферической формы в синтезируемых частицах [3]. Цель настоящей работы заключается в изучении влияния размера и формы плазмонных наночастиц серебра в пленках $MgAl_2O_4$ на их оптические характеристики.

В работе выполнено компьютерное моделирование спектров оптического поглощения исследуемых объектов в программе COMSOL Multiphysics 5.6. Геометрические параметры плазмонных наночастиц задавались исходя из полученных в работах [3,4] данных по размеру и форме плазмонных наночастиц меди в имплантированной матрице $MgAl_2O_4$.

На рисунке 1 приведены результаты расчета коэффициента поглощения сферических и эллипсоидальных серебряных наночастиц. Сферические наночастицы эффективно поглощают в синем спектральном диапазоне. Поглощение в эллипсоидальных наночастицах происходит в зеленой спектральной области. С

увеличением соотношения сторон эллипсоида происходит красное смещение и уширение полосы поглощения.

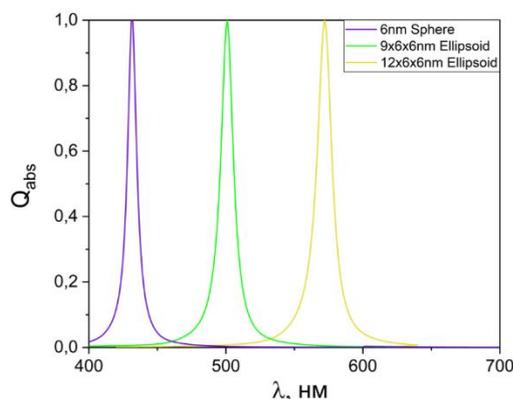


Рис. 1. Рисунок 1 – Спектры поглощения плазмонных наночастиц серебра с различным соотношением сторон эллипсоида (1, 1,5 и 2)

Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности анализа монодисперсных плазмонных наночастиц по положению пика ППП, а также селекцию плазмонных наночастиц по типу. Однако, необходимо определить референтные значения плазмонных наночастиц разных размеров и разной формы в исследуемой матрице.

"Russian Scientific Foundation (Grant № 21-12-00392)", RFBR (grants № 20-42-660012)", "Project (FEUZ-2020-0059)"

1. Khan P., Brennan G., Lillis J., Tofail S. A., Liu N., Silien C. Characterisation and manipulation of polarisation response in plasmonic and magneto-plasmonic nanostructures and metamaterials //Symmetry. – 2020. – Т. 12. – №. 8. – С. 1365.
2. Zatsepin A. F., Kiryakov A. N., Zatsepin D. A., Shchapova Y. V., Gavrilov N. V. Structural and electron-optical properties of transparent nanocrystalline MgAl₂O₄ spinel implanted with copper ions //Journal of Alloys and Compounds. – 2020. – Т. 834. – С. 154993.
3. Vagapov A. S., Kiryakov A. N., Zatsepin A. F., Shchapova Y. V. Plasmonic copper nanoparticles in MgAl₂O₄ ceramics //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2020. – Т. 2313. – №. 1. – С. 030008.
4. Vagapov A. S., Kiryakov A. N., Zatsepin A. F., Shchapova Y. V. Plasmonic copper nanoparticles in MgAl₂O₄ ceramics //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2020. – Т. 2313. – №. 1. – С. 030008.
5. Kishimoto N., Takeda Y., Umeda N., Gritsyna V. T., Lee C. G., Saito T. Metal nanocrystal formation in magnesium aluminate spinel and silicon dioxide with high-flux Cu⁺ ions //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2000. – Т. 166. – С. 840-844.

ОСОБЕННОСТИ ЗАКОНОВ ДИСПЕРСИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН И ОКОН ПРОЗРАЧНОСТИ В КВАНТОВЫХ НАНОПРОВОЛОКАХ

Василевский Ф.А.¹

¹) Институт Естественных Наук и Математики, Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: fedorvasilevski@gmail.com

FEATURES OF THE LAWS OF DISPERSION OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND TRANSMISSION WINDOWS IN QUANTUM NANOWIRES

Vasilevskiy F.A.¹

¹) Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the first president of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The effect of dimensional quantization of electron motion in a conducting nanowire is considered. This effect leads to the emergence of dispersion laws for emw that differ from the classical case and to the possibility of the existence of a new type of excitations in these structures - quantum waves

Интерес к наноструктурам обусловлен тем, что они являются основой практически всех современных приборов и устройств электроники, фотоники и оптоинформатики. В системах такого рода, из-за особенностей строения, действуют законы квантовой механики. Поэтому исследование и обнаружение различных квантовых эффектов в таких структурах, как проводящие нанопроволоки, имеет большие перспективы.

В квантовой нанопроволоке происходит поперечное квантование движения электронов при сохранении квазиклассического движения вдоль проволоки. В этом случае для вырожденной фермиевской системы электронов продольная скорость на поверхности Ферми принимает дискретный ряд значений, что приводит к возникновению «окон прозрачности» в области квазиклассического бесстолкновительного поглощения волн и открывает возможность распространения новых волн - так называемых квантовых волн.

В случае рассмотрения нанопроволоки, как длинного металлического цилиндра с круглым сечением, были получены волновые функции и энергетический спектр электронов. С помощью которых рассмотрена возможность существования электромагнитных волн в такой системе. В нанопроволоках возможно существование волн, удовлетворяющих уравнению:

$$1 - 4\pi e^2 / k^2 \sum L_m / (\pi k \hbar^2) \{ \ln [(\omega^2 - k^2 (v - \hbar k / (2m))^2) / (\omega^2 - k^2 (v + \hbar k / (2m))^2)] + i\pi [dp(f(p) - f(p - \hbar k)) \delta(\omega m / k + \hbar k / 2 - p)] \} = 0$$

Где суммирование ведется по дискретным состояниям, которые характеризуются набором чисел n, l , этими индексами маркируются соответствующие

данному состоянию v, f и ε . e, m – заряд и масса электрона, f – равновесная фермиевская функция распределения, ω, k – частота и волновое число волны, p – компонента импульса электрона вдоль оси цилиндра, L – длина цилиндра. $v^2 = 2(\varepsilon_F - \varepsilon)/m$, где ε_F – энергия Ферми электрона, ε – энергия поперечного движения электрона.

Вещественная часть уравнения определяет закон дисперсии для волн. Мнимая часть в этом выражении связана с бесстолкновительным затуханием волн. Оно показывает, что в области квазиклассического бесстолкновительного поглощения волн, распространяющихся вдоль проволоки, $-k(v_F - \hbar k/(2m)) < \omega < k(v_F + \hbar k/(2m))$, благодаря квантованию поперечного движения электронов, возникают «окна прозрачности», в которых бесстолкновительное затухание отсутствует. Нами рассчитаны дисперсионные кривые и формы окон прозрачности для конкретных случаев заполнения малого числа уровней квантования.

Существование квантовых волн должно проявляться в эффектах поглощения и отражения электромагнитных волн системам, содержащими квантовые проволоки. а также в эффектах распространения электромагнитных волн вдоль квантовых проволок.

1. Демиховский В.Я., Вугалтер Г.А., Физика квантовых низкоразмерных структур, М.: Логос (2000)

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{Nd}:(\text{Y}_x\text{Gd}_{1-x})_2\text{O}_3$ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СРЕД

Васин Д.А.^{1,2}, Максимов Р.Н.^{1,2}, Осипов В.В.², Шитов В.А.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: danyaia199949@gmail.com

SYNTHESIS AND STUDY OF NANOPOWDERS BASED ON $\text{Nd}:(\text{Y}_x\text{Gd}_{1-x})_2\text{O}_3$ SOLID SOLUTION FOR OBTAINING ACTIVE LASER MEDIA

Vasin D.A.^{1,2}, Maksimov R.N.^{1,2}, Osipov V.V.², Shitov V.A.²

¹⁾ Ural Federal University, Russia, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Electrophysics UrB RAS, Yekaterinburg, Russia

The paper reports on the possibility of obtaining nanopowders based on gadolinium oxide Gd_2O_3 stabilized with yttrium oxide Y_2O_3 . The dependence of the stability of the cubic phase of gadolinium oxide Gd_2O_3 on the amount of the stabilizing additive was shown.

Твердотельные лазеры ближнего ИК-диапазона широко используются в промышленности, медицине и науке. Наиболее широкое распространение получили системы на основе алюмоиттриевого граната $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, активированного ионами Nd^{3+} . Однако мощность данных систем ограничена предельной концентрацией активной добавки неодима не более 2–3 ат.%. Для преодоления данной трудности в настоящей работе предлагается использовать матрицу с более близким ионным радиусом замещаемого иона, а именно полуторный оксид гадолиния Gd_2O_3 .

Однако синтез оптических керамик на основе Gd_2O_3 традиционными методами значительно затруднен наличием фазового перехода из кубической модификации в моноклинную при температуре выше 1300 °С. Чтобы избежать данный переход предлагается использовать порошки смешанного состава, в которых для стабилизации кубической фазы Gd_2O_3 будет использоваться полуторный оксид иттрия Y_2O_3 . В настоящей работе приводятся исследования по синтезу нанопорошков состава $\text{Nd}:(\text{Y}_{0.4}\text{Gd}_{0.6})_2\text{O}_3$, $\text{Nd}:(\text{Y}_{0.3}\text{Gd}_{0.7})_2\text{O}_3$ и $\text{Nd}:(\text{Y}_{0.2}\text{Gd}_{0.8})_2\text{O}_3$, а также фазовой трансформации при термообработке.

Порошки изготавливались методом лазерной абляции мишеней. Для изготовления мишеней использовались микроразмерные порошки Gd_2O_3 , Nd_2O_3 и Y_2O_3 чистотой не хуже 99.99%. После взвешивания порошки перемешивались в барабанном смесителе с наклонной осью вращения в течение 24 часов. Далее смесь порошков компактировалась в цилиндрическую заготовку диаметром 66 мм методом одноосного статического прессования при давлении 10 МПа. Заготовки дополнительно обжигались в атмосферной печи при 1100 °С в течение 5.5 часов

для приобретения механической прочности. Более подробное описание установки для синтеза нанопорошка приведено в работе [1].

Полученные нанопорошки состояли из твердого раствора на основе моноклинной фазы Y_2O_3 . Так как конечным продуктом синтеза лазерной керамики является компакт, состоящий из кристаллов с кубической модификацией, то необходимо перевести порошки из моноклинной модификации в кубическую. Для этого серию порошков подвергли термической обработке в атмосферной печи при температурах 1200 °С и 1300 °С.

Согласно результатам РФА, термообработка при 1200 °С приводит к частичному фазовому переходу для нанопорошков всех трех составов. Полный же фазовый переход происходит только при температуре 1300 °С. Причем наблюдается зависимость полноты фазового перехода от количества стабилизирующей добавки. Нанопорошки состава $Nd:(Y_{0.4}Gd_{0.6})_2O_3$ и $Nd:(Y_{0.3}Gd_{0.7})_2O_3$ переходят в кубическую модификацию полностью, а $Nd:(Y_{0.2}Gd_{0.8})_2O_3$ лишь частично.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что использование стабилизирующей добавки в виде Y_2O_3 сдвигает температуру фазового перехода состава в моноклинную модификацию в область более высоких температур, что позволяет использовать составы $Nd:(Y_{0.4}Gd_{0.6})_2O_3$ и $Nd:(Y_{0.3}Gd_{0.7})_2O_3$ для синтеза оптической керамики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Свердловской области в рамках научного проекта № 20-48-660039.

1. V. V. Osipov, V. V. Platonov, V. V. Lisenkov, A. V. Podkin, E. E. Zakharova, Phys. Status Solidi C 10, Iss. 6, 926–932 (2013).

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЁВ, СОЗДАНЫХ В КОРУНДЕ ИК-ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Волошин А.М.¹, Сюрдо А.И.^{1,2}, Абашев Р.М.^{1,2}

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: artemiyc@list.ru

LUMINESCENT PROPERTIES OF THIN SENSITIVE LAYERS CREATED IN CORUNDUM BY IR LASER TREATMENT

Voloshin A.M.¹, Surdo A.I.^{1,2}, Abashev R.M.^{1,2}

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The spectra of X-ray luminescence, photoluminescence, optically and thermally stimulated luminescence in thin active layers created by laser treatment on the surface of corundum crystals have been investigated. The association between luminescence activity and anion deficiency has been established.

В [1] описано, как, используя сканирующий импульсный ИК-лазерный пучок, на поверхности специальным образом подготовленных монокристаллических образцов корунда стехиометрического состава ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) можно создать люминесцентно-активные чувствительные к ионизирующему излучению слои толщиной 12-15 мкм. Выходы оптически и термически стимулированной люминесценции (ОСЛ и ТЛ) из таких слоев пропорциональны дозе облучения бета- и мягким фотонным излучениями, что может быть использовано при разработке ОСЛ- и ТЛ-детекторов для кожной и глазной дозиметрии. Целью данной работы является выяснение природы люминесцентно-активных центров, образованных при ИК-лазерной обработке в тонком поверхностном слое кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, и их роли в формировании ОСЛ- и ТЛ-свойств.

У образцов с тонкими люминесцентно-активными слоями, подготовленных при различных режимах лазерной обработки, исследованы спектры рентгенолюминесценции (РЛ), фотолюминесценции (ФЛ), ТЛ и ОСЛ, а также спектры возбуждения ФЛ для центров, активных в процессах РЛ, ТЛ и ОСЛ.

На рис. 1 приведены спектры РЛ образца $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ до (кривая 1) и после (кривая 2) лазерной обработки при подводимой энергии в импульсе 3.6 мДж, частоте 3300 Гц, скорости сканирования 0.1 м/с и плотности сканирования $s = 20 \text{ мм}^{-1}$. Для сравнения на нем также показан спектр РЛ (кривая 3) аналогичного по размерам анионодефицитного образца корунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_{3-\delta}$). Видно (см. кривые 1 и 2), что в спектрах РЛ образца $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ до и после его лазерной обработки

наблюдаются характерные и с близкими интенсивностями полосы с максимумами $h\nu_{em}$ при 1.70 и 1.79 эВ, связанные соответственно со следовыми количествами примесей Ti^{3+} и Cr^{3+} . Кроме того, в обсуждаемых спектрах регистрируется широкая полоса с $h\nu_{em}=4.0$ эВ и полушириной $H=1.1$ эВ, часто приписываемая девозбуждению экситоноподобных состояний, в том числе связанного на Ti^{3+} экситона [2]. Аналогичные примесные полосы наблюдаются в спектре РЛ образца $\alpha-Al_2O_{3-\delta}$. Особое внимание в спектрах РЛ обращает то, что в результате лазерной обработки образца $\alpha-Al_2O_3$ появляются две новые полосы (см. кривая 2) с $h\nu_{em}=3.75$ эВ, $H=0.43$ эВ и $h\nu_{em}=3.0$ эВ, $H=0.43$ эВ, первая из которых по своим параметрам соответствует F^+ -центрам, а вторая - F-центрам (анионная вакансия с одним и двумя электронами соответственно). Однако распределение в них интенсивностей сильно отличается от такового в спектре РЛ образца $\alpha-Al_2O_{3-\delta}$. В лазернообработанном образце $\alpha-Al_2O_3$ доминирующей в спектре РЛ является полоса свечения F^+ -центров, а в $\alpha-Al_2O_{3-\delta}$ - F-центров.

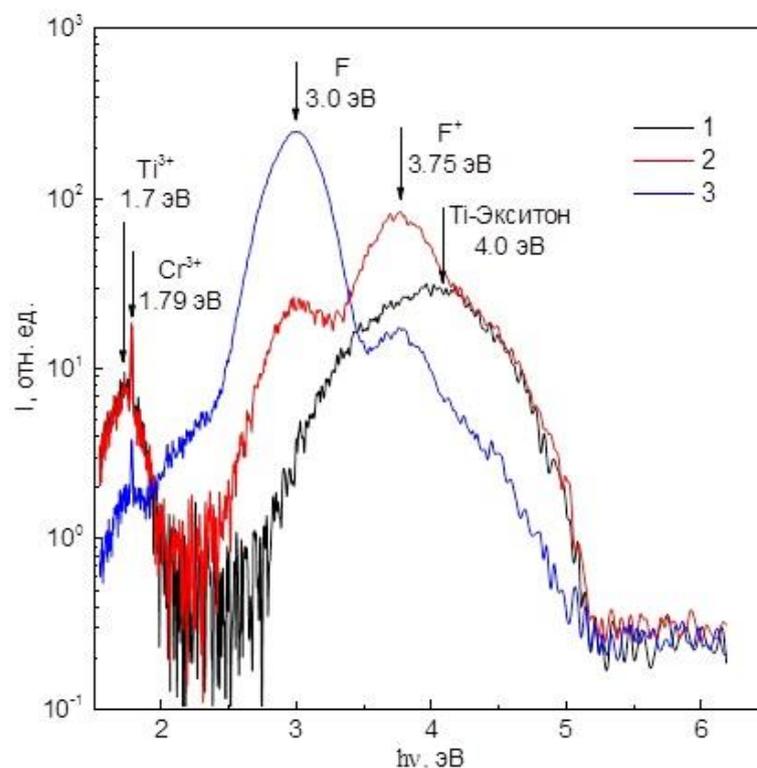


Рис. 1. Спектры РЛ образца корунда стехиометрического состава до (кривая 1) и после (кривая 2) лазерной обработки и для сравнения спектр РЛ анионодефицитного корунда (кривая 3)

Полученные результаты исследований РЛ, ФЛ, ОСЛ и ТЛ показывают, что люминесцентная активность тонких слоёв, созданных ИК-лазерной обработкой на поверхности кристаллов корунда, связана с анионной дефектностью, а именно с центрами F^+ - и F-типа.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», № 122021000030-1) при частичной поддержке РФФИ (проект № 20-48-660045).

1. Патент РФ 2747599, МПК А61N 5/10, G01T 1/10. Способ получения тонкослойных детекторов ионизирующих излучений для кожной и глазной дозиметрии: патент на изобретение / Мильман И. И., Сюрдо А. И., Абашев Р. М.; патентообладатель Институт физики металлов УрО РАН. – № 2020128125; заявл. 21.08.2020; опубл. 11.05.2021, Бюл. № 14. – 17 с.
2. SR-excited luminescence of corundum with native defects / A.I. Syurdo, V. S. Kortov, V. A. Pustovarov, F. F. Sharafutdinov, E. I. Zinin // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1998. – V. 405. – P. 408-411.

СВОЙСТВА И БИОСОВМЕСТИМОСТЬ КОЛЛОИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Воронцова Е.С.¹, Кузнецова Ю.В.², Улитко М.В.¹, Ремпель С.В.^{1,2}

¹) Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина

²) Институт химии твердого тела УрО РАН
E-mail: e.s.vorontsova17@gmail.com

PROPERTIES AND BIOCOMPATIBILITY OF COLLOID CADMIUM SULFIDE NANOPARTICLES

Vorontsova E.S.¹, Kuznetsova Y.V.², Ulitko M.V.¹, Rempel S.V.^{1,2}

¹) Ural Federal University

²) Institute of Solid State Chemistry, of RAS (Ural Branch)

This work is devoted to the synthesis of CdS nanoparticles stabilized by EDTA and to the study of the biological effect of colloidal CdS nanoparticles on cell cultures.

Уникальные люминесцентные свойства наночастиц сульфида кадмия (CdS) позволяют применять их в оптоэлектронике [1], биологии и медицине [2]. Для применения в биологии и медицине свойства растворителя имеют важное значение. Для получения коллоидных наночастиц CdS, как правило, используются токсичные органические жидкости. Перед применением такие наночастицы необходимо переводить в биосовместимый растворитель путем нескольких химических превращений. Разработка методов синтеза коллоидных наночастиц с использованием воды в качестве растворителя является важнейшей задачей. Кроме того, при использовании неорганических наночастиц остро стоит вопрос об их токсичности.

В данной работе наночастицы CdS были синтезированы методом химической конденсации в водном растворе, что позволяет применять их без дальнейших трудоемких операций. Для предотвращения агломерации и осаждения наночастиц использовалась динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) в качестве стабилизатора [3].

Методом динамического рассеяния света (Zetasizer Nano ZS (Malvern Panalytical)) при 25 °С изучены размер (D_H) и дзета-потенциал наночастиц CdS в растворе. Исследования цитотоксичности коллоидных наночастиц CdS в разных концентрациях, а также исходных растворов проводили на культурах дермальных фибробластов человека и линии HeLa. Сравнение приводилось с камтотецином.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Института химии твердого тела УрО РАН по теме №. 0397-2019-0001

1. V.Gao, X. Zhao. Analytical Chemistry 93(2), 820-827 (2020).

2. R. Harish, K. D. Nisha. *Applied Surface Science* 499, 143817 (2020).
3. Y. V. Kuznetsova, A. A. Rempel. *Inorganic Materials* 51 3, 215-219 (2015)

ДЕФОРМАЦИЯ ИЗГИБА И МАГНИТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА СПИНОВОГО КЛАПАНА НА ПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Захаров А.А.^{1,2}, Наумова Л.И.², Миляев М.А.², Максимова И.К.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: archiyqt@gmail.com

BENDING DEFORMATION AND MAGNETOELASTIC PROPERTIES OF A SPIN VALVE ON A POLYMER SUBSTRATE

Zakharov A.A.^{1,2}, Naumova L.I.², Milyaev M.A.², Maksimova I.K.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Miheev Institute of Metal Physics, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

We report the results of a study of bending deformation of spin valves sputtered on polyimide substrate. It was taken into account that two factors contribute to the change in the magnetoresistance. We have obtained the dependence of the magnetoelastic anisotropy constant on substrate elongation.

Проведены исследования магниторезистивных и магнитоупругих свойств, обладающих эффектом гигантского магнитосопротивления, наноструктур типа «спиновый клапан» изготовленных на гибкой подложке из полиимидной (PI) пленки. Спиновый клапан представляет собой комбинацию двух ферромагнитных (ФМ) нанослоев, разделенных слоем меди, со слоем антиферромагнетика (АФМ). Слой ФМ примыкающий к АФМ связан с ним обменным взаимодействием и задает ось однонаправленной анизотропии (ООА). Второй ФМ задает ось легкого намагничивания (ОЛН). Оси анизотропии формируются при напылении наноструктуры в магнитном поле.

Объектом исследования выступали образцы следующей композицией слоев [Ta(5)/(Ni₈₀Fe₂₀)₆₀Cr₄₀(5)]_n/Co₇₀Fe₂₀Ni₁₀(5.5)/Cu(2.6)/Co₇₀Fe₁₀Ni₂₀(4)/FeMn(15)/Ta(6), где толщины указаны в нанометрах, а число n=2,5 и 7 – количество повторений. Образцы изготавливались методом магнетронного напыления на PI пленке. Используемые сплавы Co₇₀Fe₂₀Ni₁₀ и Co₇₀Fe₁₀Ni₂₀ обладают нулевой и ненулевой магнитострикцией соответственно [1].

В ходе исследования деформация спинового клапана осуществлялась так, что вектор деформации и располагался параллельно приложенному внешнему полю H и осям магнитной анизотропии наноструктуры. Получены зависимости изменения магнитосопротивления спинового клапана от его изгиба. Рассмотрены вклады от двух факторов, возникающих при изгибе: изменения проекции поля на плоскость образца и изменения магнитного момента ферромагнетиков из-за эффекта Виллари. Проведена количественная оценка констант магнитоупругой анизотропии спинового клапана и построена зависимость константы

магнитоупругой анизотропии от удлинения полимерной подложки. Методом оптической литографии изготовлен сенсор изгиба с использованием схемы моста Уитстона.

Константы магнитоупругой анизотропии оценивались по изменению формы магниторезистивной кривой при растяжении спинового клапана. График зависимости константы магнитоупругой анизотропии от удлинения гибкой подложки представлен на рисунке 1.

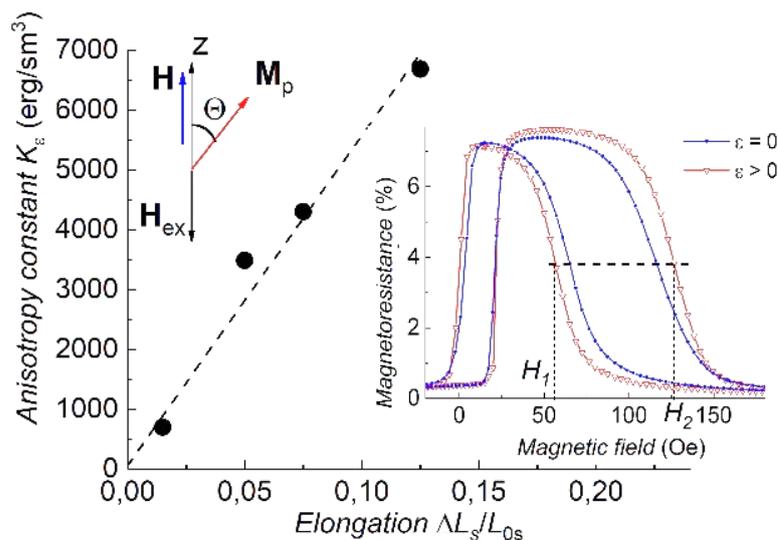


Рис. 1. График зависимости константы магнитоупругой анизотропии от удлинения гибкой подложки, где на вставке показана магниторезистивная кривая для спинового клапана исследуемой композиции с $n=5$ и шириной микрополоски 40 мкм в недеформированном и деформированном состояниях

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России по темам «Спин» АААА-А18-118020290104-2 и «Магнит» №122021000034-9 при поддержке РФФИ (грант 20-42-660018 р_а).

1. Yong Zhang, Min Zhang, et al., Metals, 9, №3, (2019)

СЕКЦИЯ 3
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И РОБОТОТЕХНИКА

РАЗРАБОТКА БЛОКА ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДЯНОЙ БАНИ НА БАЗЕ ARDUINO UNO R3

Чичигина Е.Е.¹, Лагунов А.Ю.¹

¹) Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
E-mail: chichigina.e@edu.narfu.ru

DEVELOPMENT OF A WATER BATH ELECTRONIC CONTROL UNIT BASED ON THE ARDUINO UNO R3

Chichigina E.E.¹, Lagunov A.Y.¹

¹) Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

The classical water bath circuit usually uses a thermostat as a temperature regulator to maintain the desired temperature in the compartment. This paper has developed a new PID controller based on the Arduino Uno R3 with application to the water bath to solve the temperature control problem.

Водяная баня может поддерживать желаемую температуру в отделении, так как в нем используется термостат, который служит регулятором включения и выключения. Однако, термостат имеет низкий показатель эффективности. Во-первых, присутствует разница между температурой включения или выключения и температурой установки, что вызывает ошибку реакции, которая может достигать до 1,5°C. Во-вторых, если дифференциал установлен на слишком маленькое значение, то водяная баня будет часто включаться и выключаться. Следовательно, это действие может вывести из строя систему нагрева и охлаждения. Кроме того, это действие требует высокого пускового тока, в 4-10 раз превышающего рабочий ток.

Для устранения этих недостатков был разработан новый контроллер включения-выключения. Однако этот способ не смог значительно уменьшить как ошибку отклика, так и потребление энергии. В ходе разработки для улучшения регулятора включения-выключения была использована концепция ПИД-регулятора [1] и концепция адаптивного управления [2]. При их реализации возникли ограничения, как по определению параметров управления, так и по компонентам управления, которые необходимы для поддержки системы регулирования температуры. Например, для перехода от системы управления "включено-выключено" к ПИД-регулированию необходимо предусмотреть добавление компонентов безопасности, чтобы избежать перегрева системы нагрева и охлаждения.

Для уменьшения влияния этой проблемы в нашей работе была разработана новая система ПИД-регулирования на базе Arduino Uno R3 с применением к водяной бане. В данном случае Arduino Uno R3 был аппроксимирован новым алгоритмом ПИД-регулятора. Параметры управления: пропорциональный коэффициент усиления K_p , интегральный коэффициент усиления K_i и коэффициент

производной K_d - были определены методом проб и ошибок таким образом, чтобы реакция системы управления удовлетворяла предложенным критериям. Разработанный стенд состоит из аппаратной части и программы управления.

Экспериментальное исследование системы показало, что погрешность поддержания температуры в водяной бане в установившемся режиме не превышает $0,1^\circ\text{C}$. По сравнению с классической схемой разработанная схема позволяет экономить до 20% электроэнергии за счет эффективной системы управления.

1. Srivastava S. and Pandit V. A PI/PID controller for time delay systems with desired closed loop time response and guaranteed gain and phase margins // *Journal of Process Control*. - 2016. – Vol.37. – P.70-77.
2. Umberger M. and Humar I. Energy savings of refrigerators in shopping centers with adaptive control and real-time energy management systems // *Przeglad Elektrotechniczny*. - 2012. – Vol.88. – P.327-331.

СРАВНЕНИЕ РЕЛЕЙНОГО И ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРОМ

Чупин И.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: mr.tchupin@yandex.ru

COMPARISON OF RELAY AND IMPULSE CONTROL OF MANIPULATOR

Chupin I.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Analytical formulas for impulse control of a simplified model of manipulator are obtained. Analytical formulas for quality indicators of impulse and relay controls are revealed. Areas allowing to compare the quality of relay and impulse controls are constructed on the base of control parameters.

Управляемая модель манипулятора является существенно нелинейной. Задача управления состоит в переводе схвата манипулятора из начального положения покоя в конечное положение. В работах [1, 2] для нахождения ее аналитического решения в классе импульсных управлений использовалась теория интегрирования дифференциальных уравнений классической механики. Для существования решения достаточно ограничиться сообщением импульсов только в начальный момент времени и специальной зависимостью интенсивностей угловых и горизонтальных импульсов. В классе релейных управлений аналитическое решение удастся построить в рамках упрощенной модели манипуляционного робота с медленным вращением руки [3]. Для существования решения достаточно ограничиться зависимостью релейных управлений только от одного параметра, определяющего горизонтальную управляющую силу. Аналитические формулы для релейных управлений и упрощенной масштабированной модели манипуляционного робота приведены в [3, 4]. В работе получены аналитические формулы для импульсных управлений упрощенной масштабированной модели манипулятора. Качество управлений характеризуется временем перехода манипулятора из начального положения в конечное, а также энергией необходимой для указанного перехода. В настоящей работе в рамках масштабированной модели манипуляционного робота получены аналитические формулы для показателей качества импульсного и релейного управлений. Показатели импульсных управлений зависят от интенсивности горизонтального импульса, а релейных управлений от параметра, определяющего горизонтальную управляющую силу. На плоскости управляющих параметров построены области, которые позволяют сравнить качество релейных и импульсных управлений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 22-21-00714).

1. Chupin, I. A., Dolgii, Y. F., Sesekin, A. N., The controlling of robot with three degrees of freedom, AIP Conference Proceedings; Том 2313, (2020)
2. Долгий Ю.Ф., Чупин И.А., Импульсные управления поступательным и вращательным движениями робота, материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции Робототехника и искусственный интеллект, 203-206, (2021)
3. Акуленко Л.Д., Болотник Н.Н., Каплунов А.А., Некоторые режимы управления промышленными манипуляторами, Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, № 6, (1985)
4. Chernousko F.L., Bolotnik N.N., Gradetsky V.G., Manipulation Robots: Dynamics, Control and Optimization, Boca Raton: CRC Press, (1994).

СОЗДАНИЕ КРИОКАМЕРЫ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАДИОУРОВНЕМЕРОВ

Чупин М.М.¹, Латыпов Р.Р.¹, Нурмухаметов Р.Р.²

¹) Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²) Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии - филиал федерального государственного унитарного предприятия "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева", Казань, Россия
E-mail: grey2paul@gmail.com

CREATION OF A LARGE VOLUME CRYOCHAMBER FOR STUDYING RADIO LEVEL GAUGES

Chupin M.M.¹, Latypov R.R.¹, Nurmukhametov R.R.²

¹) Kazan Federal University, Kazan, Russia

²) Russian Research Institute of Flow Metering - branch of "Russian Scientific Research Institute of Metrology named after D.I. Mendeleev", Kazan, Russia

This article describes the creation of electronics and a control system for a large volume cryochamber in order to study the properties of radio level gauges at operating temperature.

Актуальной проблемой является измерение уровня сжиженного природного газа (СПГ) в резервуарах. Для этого используются крио-радиоуровнемеры. В данной статье описывается создание электроники и системы управления для радиопрозрачной криокамеры большого объема с рабочим стабилизированным диапазоном от 0 °С до -180 °С, с целью исследований свойств радиоуровнемеров при рабочей температуре.

Охладитель камеры представляет собой емкость с нагревательным элементом в которой поддерживается постоянный уровень жидкого азота. Нагреватель испаряет азот в основную секцию криокамеры с отсеком для установки уровнемеров.

Одной из проблем при создании камеры стало изменение ее теплопроводности от температуры. Это связано с изменением геометрии камеры, приводящим к увеличению тепловых потерь, так как камера сделана из радиопрозрачного материала - пенополистирола (утеплителя).

Так же дополнительные тепловые потери вносит сам уровнемер, т.к. значительная его часть устанавливается на камеру сверху, аналогично использованию его в резервуарах СПГ.

Предлагаемым решением является использование модифицированного пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора с автоматической коррекцией коэффициентов в зависимости от температуры внутри камеры. Был использован экспериментальный метод анализа кривой изменения температуры при переходных характеристиках для подбора коэффициентов ПИД регулятора при различных температурах.

В ходе проведенных исследовательских испытаний была достигнута предельная температура $-182\text{ }^{\circ}\text{C}$ в объеме 80 литров. Среднее время стабилизации заданной температуры с точностью $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило не более 15 минут от момента ее достижения.

This paper has been supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета

1. M. Chipin, R. Latypov, A. Isaeva, F. Mukhametzyanov, Y. Davydov, A. Makridin, M. Popov, "Modernization of hardware and data processing methods of a coercive spectrometer", 2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation, RWP 2019 - Proceedings July 2019, № 8810337, pp. 450-453.

СЧИТЫВАТЕЛЬ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МАССИВОВ СЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АНАЛИТЫ В ГАЗАХ

Чувашов Р.Д.¹, Хохлов К.О.¹, Вербицкий Е.В.^{1,2}, Баранова А.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²⁾ Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук (ИОС УрО РАН)
E-mail: chuva.rd.13@gmail.com

GAS-PHASE PORTABLE READER FOR FLUORESCENT SENSOR ARRAYS

Chuvashov R.D.¹, Khokhlov K.O.¹, Verbitskiy E.V.^{1,2}, Baranova A.A.¹

¹⁾ Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

²⁾ I.Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IOS UB RAS)

The reader device employing the array of fluorescent sensor materials for gas-phase sensing was fabricated. The concept and construction of the device and its sensor element as well as employed software are described. The developed device is inexpensive flexible tool coupling the simplicity of the d.

Флуоресцентное обнаружение экотоксикантов с помощью анализаторов газа как метод отличается портативностью, чувствительностью и позволяет проводить экспресс-мониторинг в газовой фазе [1,2]. Базовыми элементами устройства на основе данного метода являются флуоресцирующий сенсорный материал, оптическая схема возбуждения и регистрации флуоресценции материала, и система приведения сенсорного материала в контакт с аналитом в газовой смеси. Использование массивов сенсорных материалов позволяет повысить селективность устройств через идентификацию аналитов и расширить спектр доступных к детектированию веществ.

В работе рассмотрены считыватель люминесценции и сенсорный элемент для параллельной регистрации интегральных интенсивностей флуоресценции набора твёрдых сенсорных материалов. Представленное устройство является улучшением ранее описанного устройства [3]. Основная идея конструкции заключается в применении КМОП веб-камеры для наблюдения за сенсорным элементом. Отличия представленного устройства от описанной ранее заключаются в автоматизации работы под выполнение сценариев, повышением частоты кадров, применением цифровой фильтрации шума, добавлении датчиков температуры и влажности воздуха внутри рабочего объёма, создании 3D-печатного корпуса. Описаны несущий комбинацию флуоресцентных материалов сенсорный элемент, оптическая схема регистрации изменения свечения и схема прокачки анализируемого газа через сенсорный элемент. При изготовлении устройства применялась

3Д-печать. Предложен меламиновый субстрат в качестве проницаемой механической поддержки для нанесения сенсорных материалов. Описаны примененные методы подавления шума изображения и схема распознавания образов для автоматического выделения соответствующих материалам областей на изображении. Рассмотрены средства автоматизации эксперимента и способ передачи и обработки данных на ПК. Охарактеризована применённая для регистрации флуоресценции камера. Рассчитаны соотношения сигнал-шум устройства. Разработанное устройство является недорогим гибким автоматизированным инструментом для реализации флуоресцентного метода по отношению к анализам в газовой фазе и сочетает простоту дизайна, портативность и программные средства обработки данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90108.

1. Zhang A. et al., A Multi channel System for Qualitative Explosive and Drug Detection, Sensing and Imaging, 2018, Vol. 19, Art. 30.
2. Askim, J.R et al., An optoelectronic nose for identification of explosives, Chem. Sci., 2016, Vol.7, P.199-206.
3. R. Chuvashov et al., A Detection System with Low Sampling Distortion for Application in Optical Array Sensing in Gas Phase / // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 2020, P. 984-988.

ПРАКТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ GPS-ПРИЕМНИКОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Евдокимов В.В.¹, Киселев В.А.¹, Сапунов В.А.¹, Нархов Е.Д.¹, Сергеев А.В.¹

¹) НИЛ Квантовой магнитометрии, ФТИ УрФУ
E-mail: vladimir.evdokimov@urfu.me

PRACTICAL COMPARISON OF GPS RECEIVERS PROMISING FOR MAGNETOMETRIC MAPPING

Evdokimov V.V.¹, Kiselev V.A.¹, Sapunov V.A.¹, Narhov E.D.¹, Sergeev A.V.¹

¹) Research Laboratory of Quantum Magnetometry, IPT UrFU

In the course of the work, a comparison was made of various GPS receivers for the spatial reference of magnetometric data. Data were collected from 5 receivers, after which processing was carried out and the standard deviation was calculated from the ideal trajectory.

Активное развитие БПЛА привело к широкому распространению магнитной съемки, при которой измерения ведутся непрерывно. Кроме того, непрерывные измерения применяются и в случаях, когда построение регулярной сетки измерений, рекомендованной в "Инструкции по магниторазведке" [1], не представляется возможным. Важным аспектом таких магнитометрических съемок является пространственная привязка магнитных данных. При использовании GPS-навигаторов для привязки, во избежание искажения магнитных аномалий, а также для корректной сшивки магнитных карт отдельных участков, необходимо иметь представление о величинах случайной и систематической ошибок таких приемников.

Данный доклад в большей степени имеет прикладной характер, а его результаты планируется использовать в процессе совершенствования магнитометров серии POS, производимых лабораторией Квантовой магнитометрии Физико-технологического института Уральского Федерального университета. На данный момент, техническое решение, реализованное в приборах серии POS, подразумевает использование в качестве GPS-приемника внешнего пешеходного навигатора Garmin 78 или внутреннего, на базе Trimble Lassen iQ.

Опубликованные в работе [2] данные, стали основанием для проведения серии экспериментов, направленных на количественную оценку параметров современных приемников, в том числе, встроенных в смартфоны. Одним из наиболее многообещающих улучшений точности определения местоположения является введение «двухчастотной» поддержки GNSS.

В качестве опытных образцов были выбраны следующие GPS-приемники: Garmin 78 (контрольный), модуль GNSS на базе Neoway G7, приемники, встроенные в iPhone XS Max и iPhone 12 Pro.

Запись данных координат осуществлялась следующим образом: оператор, двигаясь с типичной для магнитной съемки скоростью по прямолинейным траекториям (направления: север-юг, запад-восток), производил одновременную запись GPS-координат с исследуемых устройств.

Впоследствии полученные исходные данные были обработаны при помощи вычислительной среды Matlab, путем преобразования исходных данных из геодезической в локальную декартову систему координат с направляющей осью Ox ориентированной вдоль направления движения исследователя. Далее был выполнен расчет СКО, в результате которого была дана оценка среднего значения отклонения координат от условной идеальной траектории в размере 1,3 метра для всех исследуемых устройств, что пригодно для пешеходной магнитометрической съемки с геопривязкой получаемых магнитных данных координатам, полученным с GNSS приемников смартфонов.

В перспективе использование более оптимальных методик получения координат с GNSS приемников смартфонов, а также последующая их программная обработка, с возможным использованием нескольких источников координат, позволит снизить погрешность измерения координат, повысить точность определения текущего местоположения исследователя и, следовательно, строить магнитные карты с большим пространственным разрешением.

1. Инструкция по магниторазведке. М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981.
2. Moore, S. K. (2017). Super-accurate GPS coming to smartphones in 2018 [News]. IEEE Spectrum, 54(11), 10–11.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Ищенко Е.А.¹, Пастернак Ю.Г.¹, Пендюрин В.А.², Фёдоров С.М.¹

¹ Воронежский Государственный Технический Университет

² АО НПП "АСС"

E-mail: kursk98@mail.ru

APPLICATION OF VIRTUAL ANTENNA ARRAY TECHNOLOGY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF DETERMINING THE DIRECTION OF ARRIVAL OF ELECTROMAGNETIC WAVES

Ishchenko E.A.¹, Pasternak Yu.G.¹, Penduyrin V.A.², Fedorov S.M.¹

¹ Voronezh State Technical University

² JSC SPE "ACS"

The paper considers a technique for improving the accuracy of determining the direction of arrival of electromagnetic waves in a nettop through the use of virtual antenna arrays. thanks to the proposed method, it is possible to significantly improve the accuracy of determining EMF characteristic.

В работе рассматривается неттоп с установленной антенной решеткой из десяти антенных элементов, предназначенных для определения направления прихода электромагнитных волн. Для повышения точности определения азимута прихода электромагнитных волн предлагается использовать аппарат виртуальных антенных решеток. Предложенная технология позволяет повысить точность настройки антенной системы с технологией формирования луча, что значительно повышает качество связи и эффективности передачи данных.

Полученные в процессе исследования результаты показывают, что использование виртуальных антенных решеток повышает точность пеленгации. Так, при использовании стандартных методов среднеквадратическое отклонение пеленга составило 182,2 (ошибка пеленга 163,9), а при использовании метода ВАР ско составило 6,2 (ошибка пеленга 4,9).

Формирование виртуальной антенной решетки выполнялось с использованием функции Ганкеля и решения с ее использованием уравнений Гельмгольца, а также напряжений, которые измерял базовый комплекс пеленгации - реальная антенная решетка. Благодаря использованию данного способа удалось значительно повысить скорость обработки сигналов, а также повысить эффективность аппроксимации поля.

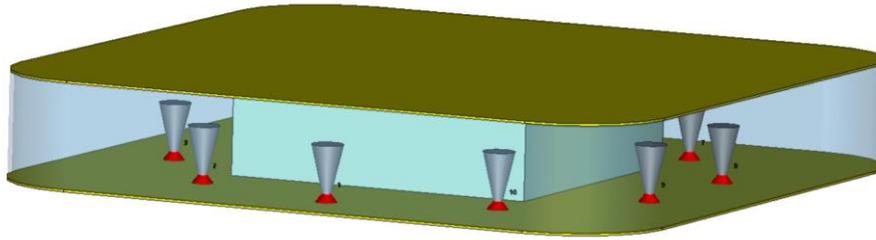


Рис. 1. Корпус неттопа с пеленгатором из 10 антенных элементов. В центре – блок печатных плат (материал Fr-4 $\epsilon=4,3$); корпус состоит из двух алюминиевых пластин и пластиковой окантовки ($\epsilon=3$)

Применение аппарата ВАР позволяет снизить влияние корпуса, а также внутренних компонентов устройства, что и позволяет так повысить точность пеленгации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10109)

1. Quitin F., Doncker P. De, Horlin F., Tay W. P., IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 67, No. 2, pp. 1510-1520, 2018
2. Yaqoob M. A., Tufvesson F., Mannesson A., Bernhardsson B., 2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), pp. 79-83, 2013

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ (МЗИ)

Фофанов А.С.¹, Шмидберский П.А.¹, Шмидберская А.А.¹

¹) АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» (АО «НИИЭФА»), г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: andreiinord@yandex.ru

HCI BEAM DIAGNOSTICS SYSTEM

Fofanov A.S.¹, Schmidbersky P.A.¹, Schmidberskaya A.A.¹

¹) Efremov Scientific Research Institute of Electrophysical Apparatus (NIEFA Efremov), Saint Petersburg, Russia

The aim of this work is a high-precision measure of HCI beams parameters, taking into account the processes occurring on the sensors during the interaction of their surface with the HCI. To achieve this goal, we developed a diagnostic complex allowing to measure the parameters of HCI beams.

Ионные пучки находят множество применений в различных технологиях, диагностики структур и изделиях микро- и нанoeлектроники. В АО «НИИЭФА» проводятся работы, направленные на создание различных источников ионов и, в том числе, источников МЗИ, которые обладают свойствами, во многом отличающимися от пучков однозарядных ионов и нейтральных атомов [1]. Целью данной работы является высокоточное измерение параметров пучков МЗИ с учетом процессов, протекающих на сенсорах при взаимодействии их поверхности с МЗИ.

Для решения поставленных задач разработан диагностический комплекс, позволяющий измерять параметры пучков МЗИ в широком спектре масс. В составе такого комплекса реализованы основные классические методы диагностики ионных пучков с учетом особенностей пучков МЗИ. В качестве первичного преобразователя системы измерения величины тока ионного пучка разработан цилиндр Фарадея специальной конструкции, с минимальным током утечки возникающим в результате эффектов ион-электронной эмиссии и ионного распыления. В качестве вторичного преобразователя используется пикоамперметр А2-4, что в совокупности позволяет обеспечить высокую точность измерения. Измерение распределения плотности тока по сечению ионного пучка осуществляется методом диафрагмирования. Для измерения эмиттанса пучка МЗИ, в различных сечениях, и распределения плотности тока в четырёхмерном фазовом пространстве $J(x, y, x', y')$ используется метод четырех щелей.

Особое внимание было уделено анализу погрешностей измерений. Получены выражения для их оценки, учитывающие большинство влияющих факторов, по результатам анализа которых принят ряд конструктивных решений значительно повысивших точность измерений. Для исключения погрешностей, связанных с процессом измерения используется система автоматического управления, для

которой была разработана автоматизированная контрольно-измерительная система и соответствующие алгоритмы обработки информации. Разработан математический аппарат по обработке получаемой информации для определения эмиттанса и распределения плотности тока пучка в фазовом пространстве.

В результате разработан диагностический комплекс для высокоточных измерений параметров пучков МЗИ в широком спектре масс. Задачей дальнейших исследований является улучшение существующих и создания новых методов диагностики ионных пучков с субмикронной точностью.

1. Zschornack G., Schmidt M. et al., CAS-CERN Accelerator School: Ion Sources - Proceedings, 007(2013).

ДВУХФАЗНАЯ СИСТЕМА ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ С КАПИЛЛЯРНЫМ НАСОСОМ

Фоменко В.Е.¹, Кисеев В.М.¹, Судаков Р.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: vladynia9@mail.ru

TWO-PHASE THERMAL CONTROL SYSTEM WITH CAPILLARY PUMP

Fomenko V.E.¹, Kiseev V.M.¹, Sudakov R.G.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The experimental data for LHP 6 m are presented and the conditions operability are considered. Methods of increasing the heat transfer capacity of LHP, due to the use of anisotropic capillary structures with a decrease in pore sizes in the direction of the vaporization zone, are determined.

Развитие современной техники сопровождается интенсификацией процессов тепло- и массообмена в различных устройствах. Однако интенсификация теплообмена затрудняется из-за самой природы тепла, плохой трансформируемости теплового движения и слабой восприимчивости к внешним полям. Высокое совершенство в управлении электронными процессами при использовании твердотельных элементов позволило сократить объемы преобразователей в тысячи раз. Это привело к необходимости отводить потоки тепла, необходимые для поддержания требуемых температурных режимов твердотельных элементов, гораздо большей плотности. Изобретение тепловых труб (ТТ) [1] для этих целей оказало революционирующее влияние на развитие современной техники. Область их применения обширна: охлаждение элементов электронного оборудования, терморегулирование объектов космического базирования, также возможно применение ТТ для намораживания грунта вокруг свай в местах вечной мерзлоты.

Тепловая труба привлекает внимание прежде всего высокой эффективной теплопроводностью, достигающей 10^5 - 10^6 Вт/мК. К сравнению теплопроводность серебра 430 Вт/мК, алмаза -2600 Вт/мК, графена – 5300 Вт/мК

Среди большого разнообразия тепловых труб и систем терморегулирования на их основе специальное место занимают контурные тепловые трубы (КТТ), представляющие собой двухфазный контур с локально размещенным в нем в зоне подвода тепла капиллярным насосом. Теплопередающая способность таких КТТ зависит от многих факторов: во-первых, конструкции испарителя (капиллярного насоса), конденсатора и КТТ в целом; во-вторых, физических свойства капиллярной структуры, теплоносителя и корпуса КТТ; в-третьих, условий теплообмена в зонах подвода и отвода тепла и влияние внешних силовых полей[2]. Такие

трубы в отличие от обыкновенных способны передавать тепло на значительно большие расстояния, работать при неблагоприятных условиях гравитации и в невесомости.

Целью настоящей работы является конструирование, изготовление и исследование аммиачной контурной тепловой трубы (КТТ) длиной 6 м с высокой плотностью теплового потока в транспортной зоне, эксплуатируемой при любых ориентациях в гравитационном поле. Некоторые результаты исследований демонстрирующие возможности такой КТТ представлены на рисунке.

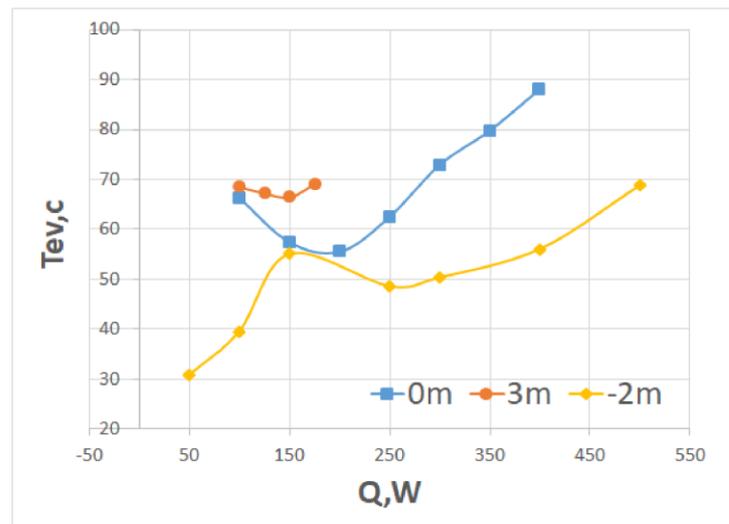


Рис. 1. Контурная аммиачная тепловая труба 6 м. Зависимость от ориентации: $\varphi = +90$ градусов (испаритель выше конденсатора), $\varphi = 0$ градусов (испаритель и конденсатор на одном уровне), $\varphi = -90$ градусов (испаритель ниже конденсатора).

Как видно из представленных данных исследуемая КТТ при благоприятных для трубы условиях ($\varphi = -90^\circ$, -2м) передает тепло мощностью до 500 Вт при аксиальной плотности теплового потока до $35 \cdot 10^6$ Вт/м². Соответственно при неблагоприятной ориентации ($\varphi = +90^\circ$, +3м) тепло транспортные возможности ухудшаются в 5 раз. Это свидетельствует о достаточно высокой чувствительности к неблагоприятным ускорениям. Создание анизотропных капиллярных структур позволяет эту ситуацию улучшать [3].

1. Дан П., Рей Д. Тепловые трубы. М.: Энергия, 1979.
2. Кисеев В.М. Физика теплопередающих систем. Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2006, С. 131
3. Кисеев В. М. Сажин О.В. Интенсификация теплопередачи в двухфазных системах с капиллярными насосами, Журнал технической физики, 2022, том 92, вып. 1. С. 22 -31.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Смирнов В.И.^{1,2}, Сергеев В.А.^{1,2}, Гавриков А.А.¹

¹⁾ Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН

²⁾ Ульяновский государственный технический университет
E-mail: a.gavrikoff@gmail.com

STUDY OF THERMOELECTRIC PROPERTIES OF INTEGRATED POWER AMPLIFIERS

Smirnov V.I.^{1,2}, Sergeev V.A.^{1,2}, Gavrikov A.A.¹

¹⁾ Ulyanovsk Branch of Kotel'nikov Institute of Radio-Engineering and Electronics of
Russian Academy of Sciences

²⁾ Ulyanovsk state technical university

The results of studies of the thermoelectric properties of an analog IC of a microwave power amplifier are presented. Two methods for measuring the "transition-to-case" thermal resistance are proposed: standard and modulation.

Аналоговые интегральные схемы (ИС) усилителей мощности характеризуются большой рассеиваемой мощностью, что вызывает перегрев кристаллов и требует контроля качества отвода тепла. Теплоэлектрические свойства ИС характеризуются тепловым сопротивлением «переход-корпус» RT_{jc} , которое определяется приращением температуры T_j активной области при рассеивании в ней тепловой мощности.

Объектом исследований являлась аналоговая ИС СВЧ-усилителя мощности УМ-1015 (производство «АО «НПП «Пульсар»»), включающая в себя 4 кристалла мощных биполярных транзисторов. Выходная импульсная мощность усилителя 700 Вт, максимальная рабочая частота – 1,5 ГГц.

Стандартный метод измерения RT_{jc} включает в себя разогрев объекта последовательностью импульсов греющего тока и измерения температуры перехода T_j до и после воздействия каждого импульса. Данный метод реализован в аппаратно-программном комплексе [1], обеспечивающем формирование греющих импульсов постоянной или модулированной по гармоническому и логарифмическому закону длительности. Температура кристалла T_j определяется в паузах между импульсами тока $I_{гр}$ путем измерения температурочувствительного параметра (ТЧП) – «прямое напряжение УБЭ при протекании измерительного тока Изм.

Метод отличается невысокой точностью, во-первых, из-за влияния переходных электрических процессов при переключении транзистора из режима разогрева в режим измерения ТЧП. Во-вторых, для точного измерения RT_{jc}

необходимо устанавливать оптимальную длительность греющих импульсов, которая для каждого объекта своя.

Для устранения влияния переходных процессов применена процедура экстраполяции значений ТЧП к моменту окончания греющих импульсов. Для устранения второй причины измерялась переходная характеристика, анализ которой позволял определить оптимальную длительность импульсов. Результат измерения RT_{jc} равен 0,324 К/Вт (рис. 1а).

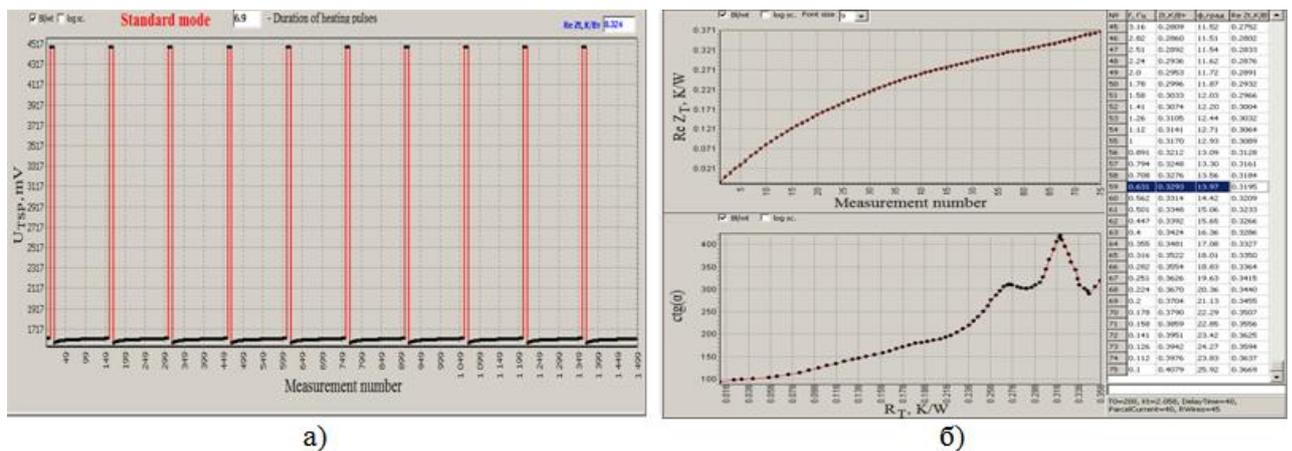


Рис. 1. Измерение теплового сопротивления: а) стандартным методом; б) модуляционным методом

Повысить точность измерения позволяет модуляционный метод, использующий нагрев объекта импульсами тока с изменяющейся по гармоническому закону длительностью [2]. Метод основан на измерении зависимости теплового импеданса от частоты модуляции греющей мощности. Выявление особенностей зависимости позволяет определить RT_{jc} , результат показан в нижнем окне на рис. 1б. Для исследуемого объекта значение RT_{jc} равно 0,320 К/Вт. Результаты измерений, полученные модуляционным и стандартным методом, в котором используется установка оптимальной длительности греющих импульсов и экстраполяция ТЧП к моменту окончания греющих импульсов, получились практически одинаковыми.

1. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A. Apparatus for Measurement of Thermal Impedance of High-Power Light-Emitting Diodes and LED Assemblies // IEEE Trans. Electron Devices.–2018.–V. 63, No. 6, pp. 2431–2435.
2. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A., Shorin A.M. Modulation method for measuring thermal impedance components of semiconductor devices // Microelectronics Reliability. – 2018. – V.80 – pp. 205–212.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ ФОТО-, РАДИО-, ТЕРМО- И ОПТИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЛЮМИНЕСЦЕНТНО АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Горев Н.Д.^{1,2}, Бояринцев А.И.^{1,2}, Абашев Р.М.^{1,2}, Сюрдо А.И.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: gorevnd@imp.uran.ru

RESEARCH FACILITY FOR MEASURING SPECTRA OF PHOTO-, RADIO-, THERMO- AND OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE IN LUMINESCENT ACTIVE MATERIALS

Gorev N.D.^{1,2}, Boyarintsev A.I.^{1,2}, Abashev R.M.^{1,2}, Surdo A.I.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Yekaterinburg, Russia

The installation was created for the study of luminescent-active dosimetric materials. The installation can measure the spectra of photo-, radio-, thermo- and optically stimulated luminescence. The optical stimulation control unit was developed.

При исследовании свойств люминесцентно-активных дозиметрических материалов применяются методы, основанные на анализе спектров люминесценции [1]. Измерение таких спектров в большинстве случаев происходит последовательно в определенном диапазоне длин волн с помощью сканирующего монохроматора, выделяющего узкую спектральную область, которая регистрируется фотоприемником. Быстродействие такого метода ограничено диапазоном измеряемых длин волн и скоростью сканирования монохроматора. Поэтому регистрируемые спектры термолюминесценции (ТЛ) и оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) при непрерывной оптической стимуляции будут искажены, так как в ходе одного сканирования может существенно измениться спектральный состав ТЛ- и ОСЛ-сигналов. Более того, применение подобного метода для измерения спектров ОСЛ при импульсной оптической стимуляции крайне затруднительно, поскольку время сканирования полного спектра не должно превышать 100 мс.

Одним из возможных способов решения подобной задачи является применение спектрографов с ПЗС-линейками или матрицами для измерения спектров с временным разрешением. Они обладают рядом преимуществ: одновременная регистрация всего спектра в требуемом диапазоне, поддержка функции внешней синхронизации, позволяющая легко связать получение спектральных данных с внешними событиями.

В работе рассмотрена измерительная установка для решения выше обозначенных задач. Ее структурная схема изображена на рисунке 1. В состав установки входят:

- спектрометр Ocean Insight QE Pro. Детектор спектрометра выполнен на основе ПЗС-матрицы. Спектрометр обладает высокой чувствительностью и широким диапазоном времени интегрирования от 8 мс до 60 минут. Сбор данных ведется через оптоволокно. Спектрометр также имеет возможность внешней синхронизации запуска измерений. Особенная конструкция спектрометра позволяет в режиме реального времени измерять спектры в диапазоне длин волн 200–1000 нм. Он подключается к персональному компьютеру (ПК) через порт USB;

- ПК, используемый для настройки, управления и получения данных со спектрометра;

- блок управления оптической стимуляцией, позволяющий выполнять ручную регулировку тока, протекающего через светодиоды, а также частоты, периода следования импульсов, коэффициента заполнения. Кроме того, он осуществляет временное разделение фаз стимуляции и измерения люминесценции или синхронизацию;

- светодиодная сборка с зеленым свечением ($\lambda_{\max} = 525$ нм), используемая в качестве мощного источника оптической стимуляции.

Данная измерительная установка может быть также дополнена нагревательным модулем и источником ионизирующего излучения, что позволит при их совместном использовании проводить измерения спектров термолюминесценции и радиолюминесценции.

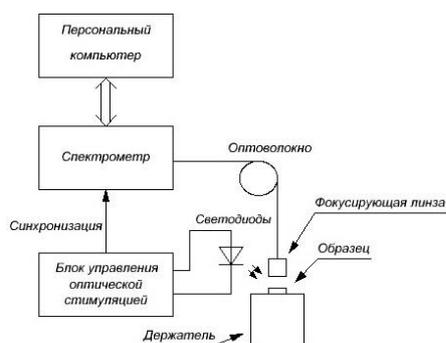


Рис. 1. Структурная схема установки для измерения спектров люминесценции

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», № 122021000030-1) при частичной поддержке РФФИ (проект № 20-48-660045).

1. M. T. Yoshizumi, L. V. E. Caldas, Radiation Physics and Chemistry, 104, 292-296 (2014)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ПРИ МАГНИТНОМ МЕТОДЕ КОНТРОЛЯ

Шлеенков А.С.¹, Пастухов А.Б.¹, Губанов Я.В.²

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия.
E-mail: 754809@mail.ru

RECOMMENDATIONS FOR INCREASING THE DETECTION OF LONGITUDINAL DEFECTS OF THE INNER SURFACE OF PIPES WITH THE MAGNETIC CONTROL METHOD

Shleenkov A.S.¹, Pastukhov A.B.¹, Gubanov Y.V.²

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

The task of increasing the detection of longitudinal internal defects during magnetic flaw detection of oil grade pipes is very relevant and has not yet received a practical solution. This is especially true of the problem of detecting defects whose depth is no more than 5% of the nominal wall.

Задача повышения выявляемости продольных внутренних дефектов при магнитной дефектоскопии труб нефтяного сортамента является очень актуальной [1] и до сих пор не получила практического решения. Особенно это касается проблемы выявления дефектов, глубина которых составляет не более 5% от номинальной толщины стенки трубы.

Учитывая, что применяемые в российских компаниях установки фирмы «Tuboscope Vetco». эксплуатируются уже не один десяток лет и основные их потребители (НК «Лукойл», ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Роснефть» и др.) намерены обновить парк средств магнитного НК, целесообразно в рамках проекта по импорт замещению наладить серийный выпуск отечественных высокопроизводительных дефектоскопических комплексов для магнитного контроля качества и разбраковки труб нефтегазового сортамента. Технологическая направленность проекта заключается в повышении производительности и надежности систем контроля качества труб, бывших в эксплуатации, а также контроля НКТ и др. труб в процессе их изготовления. Для практической реализации данной программы потребовалось провести ряд экспериментальных исследований, результаты которых и приводятся в данной статье.

Образцы для исследований представляют собой патрубки трубы НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 5,5 и 10 мм соответственно. На одном из образцов

сделано технологическое отверстие, через которое электроэрозионным методом нанесены внутренние продольные дефекты глубиной 0,4 и 1,0 мм. Эти дефекты и стали объектами исследования. Внешний вид дефекта глубиной 0,4 мм показан на рисунке 1.

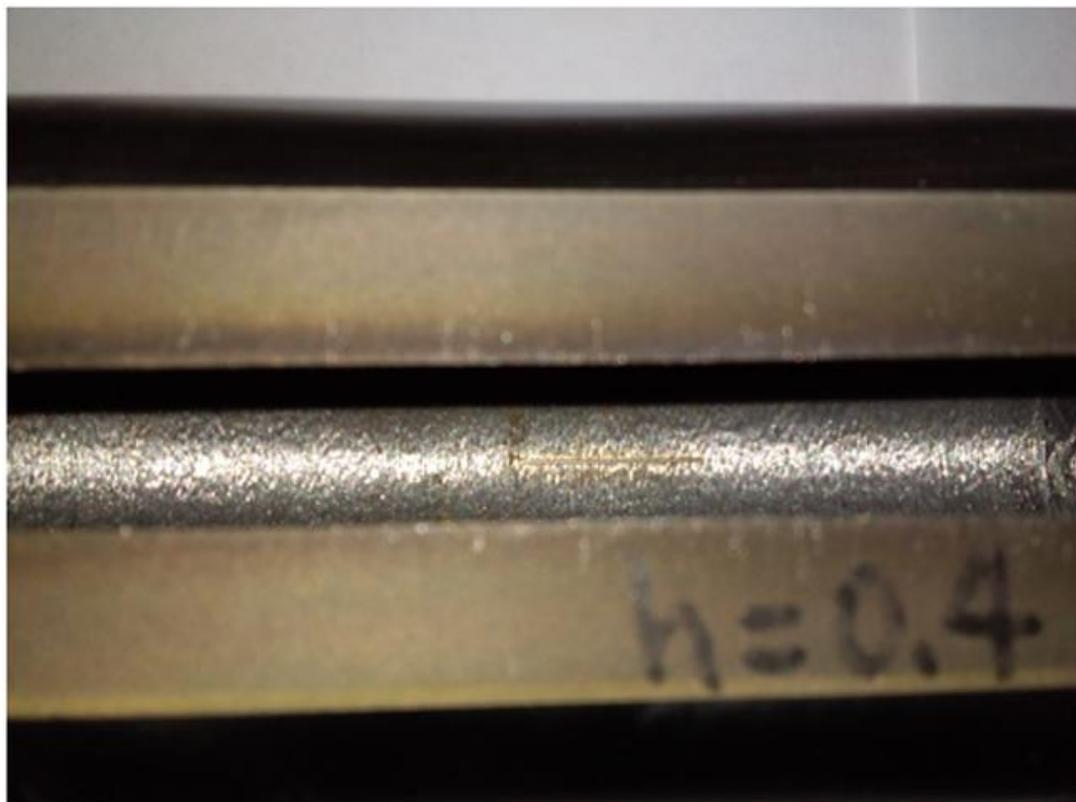


Рис. 1. Внешний вид дефекта глубиной 0,4 мм, нанесенного электроэрозионным способом на внутренней поверхности патрубка трубы НКТ диаметром 73 мм.

Достоинством такой технологии в отличие от изготовления дефектов методом фрезерования является получение искусственных дефектов заданных размеров с прямоугольными границами, повторяющими фактическую геометрию естественных дефектов, что обуславливает повышение их выявляемости при магнитной дефектоскопии реальных труб.

Другим способом повышения выявляемости внутренних дефектов является использование разработанных и синтезированных в ИФМ УрО РАН новых однокристалльных тонкопленочных матричных преобразователей [2,3], основанных на явлении анизотропии магниторезистивного эффекта в тонких ферро магнитных пленках (датчиков типа АМРД с повышенной чувствительностью к продольно ориентированным дефектам). На их основе была создана автоматизированная установка, позволяющая считывать топографию магнитных полей рассеяния от продольных внутренних и поверхностных дефектов труб НКТ при плавном перемещении матричных преобразователей вдоль образующей трубы со стандартными дефектами, глубиной 3,5 и 10% от номинальной толщины стенки. В статье

приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предложенных рекомендаций.

1. О.А. Булычев, С.А. Шлеенков, В.М. Сенив, А.С. Шлеенков, Л.А. Полежаев Установка УМД-104М для контроля насосно-компрессорных труб повторного применения // Дефектоскопия. — 2015. — V. 11. — P. 3—11.
2. A. S. Shleenkov, O. A. Bulychev, S. A. Shleenkov, D. V. Novgorodov Features and Advantages of Applying Anisotropic Magnetoresistive Field Sensors to Testing the Full Volume of Small- and Medium-Diameter Pipes // Russian journal of nondestructive testing. — 2020. — V. 56. — P. 417—425.
3. О.А. Булычев, С.А. Шлеенков, А.С. Шлеенков Многоканальная магниторезистивная система магнитного контроля бесшовных толстостенных труб // Дефектоскопия. — 2018. — V. 10. — P. 58—63.

РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ ПЛОСКАЯ РЕФЛЕКТОРНАЯ АНТЕННА НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЫ

Баранников И.А.¹, Ischenko E.A.¹, Fedorov S.M.¹

¹) Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: 8thbar@gmail.com

PLASMA BASED RECONFIGURABLE PLANE REFLECTOR ANTENNA

Barannikov I.A.¹, Ischenko E.A.¹, Fedorov S.M.¹

¹) Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

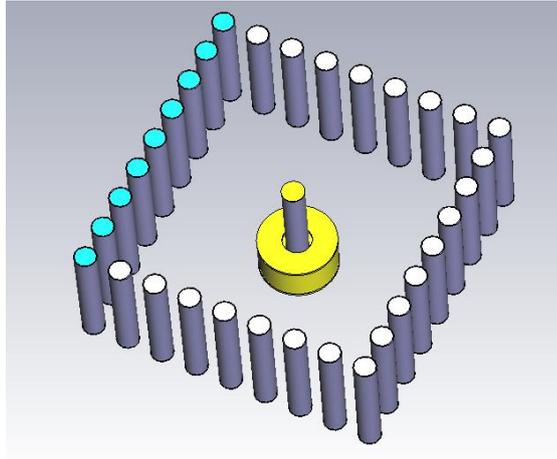
An antenna design was developed with a plane reconfigurable plasma-based reflector. A plasma dipole acts as a radiator. It is also possible to operate the antenna in the corner reflector mode.

В данной работе производится моделирование рефлекторной антенны на основе плазмы. Плазменные элементы имеют два состояния: включенное, когда сформированная плазма является проводящей поверхностью, и выключенное, когда плазма отсутствует и емкость с газом прозрачна для электромагнитных волн. На основе этого свойства можно создать реконфигурируемый рефлектор. Его отражающая поверхность может изменять свое положение в пространстве посредством включения и выключения групп плазменных элементов.

Важным параметром, определяющим рабочий диапазон антенны является плазменная частота. Для элементов данной конструкции она составляет 3,5 ГГц.

Рефлектор представляет собой массив газоразрядных трубок (заполненных инертным газом аргоном) в форме квадрата с излучателем в центре. Каждая стенка состоит из 9 газоразрядных трубок расположенных с шагом 17 мм и имеющих те же параметры, что и у используемой в излучателе. Общая длина стенки составляет 388 мм.

Рабочий диапазон частот рефлектора расположен на частотах от 549 до 575 МГц в режиме плоской стенки. Также возможен режим работы рефлектора при включении двух соседних стенок. В этом случае они образуют угловой отражатель с углом 90°. В режиме углового отражателя антенна функционирует на частотах от 545 до 573 МГц.



1. Anderson T., Plasma Antennas, Boston: Artech House (2011)
2. I. Alexeff, T. Anderson, S. Parameswaran, E.P. Pradeep, J. Hulloli, P. Hulloli, IEEE Transactions on plasma science, Vol. 34, №2, pp. 166 – 172 (2006)
3. G.G. Borg, J.H. Harris, N.M. Martin, D. Thorncraft, R. Milliken, Physics of plasmas, Vol. 7, №5, pp. 2198 – 2202 (2000)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОЧКИ КЮРИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ (РЕГУЛИРОВАНИЯ) ТЕМПЕРАТУРЫ

Иванов И.А.¹, Савин П.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация
E-mail: ilya.iv2001@yandex.ru

USING THE CURIE POINT TO MEASURE (REGULATE) TEMPERATURE

Ivanov I.A.¹, Savin P.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

The work is devoted to the analysis of the possibility of using the Curie point to measure or control temperature. Possible approaches to the implementation of measurements based on the magnetic phase transition are considered.

Фазовые переходы «играют» в термометрии одну из ключевых ролей. Так, например, международная температурная шкала построена на наборе фазовых переходов, позволяющем точно воспроизводить значения температуры.

Конкретные физические условия измерения температуры отличаются большим разнообразием, поэтому параллельно развиваются методы измерения температур, основанные на разных физических принципах. Одними из таких принципов измерения (регулирования) температуры, может быть использование магнитного фазового перехода ферромагнетик – парамагнетик, происходящих при достижении температуры Кюри (T_c) и, аналогичного ему, перехода сегнетоэлектрик – диэлектрик. Последние относительно широко распространены и используются в термоконденсаторах [1], [2].

Использование магнитного фазового перехода в литературе встречается в рамках следующих подходов:

1. Непрерывное измерение индуктивности (как термометрического параметра) катушки с ферромагнитным сердечником, вплоть до достижения точки Кюри. Что позволяет создавать аналоговые и пороговые датчики температуры [3].

2. Контроль высокочастотных свойств ферромагнитного проводника: измерение его импеданса, изменяющегося из-за температурного изменения магнитной проницаемости, и (или) «управление» нагреваемыми объект индукционными токами, также зависящими от магнитной проницаемости – этот принцип используется, например, в некоторых типах паяльных станций, например фирмы Metcal.

Кроме того, возможен предлагаемый нами подход: механическое размыкание упругих ферромагнитных контактов (геркон, например) при достижении температуры Кюри.

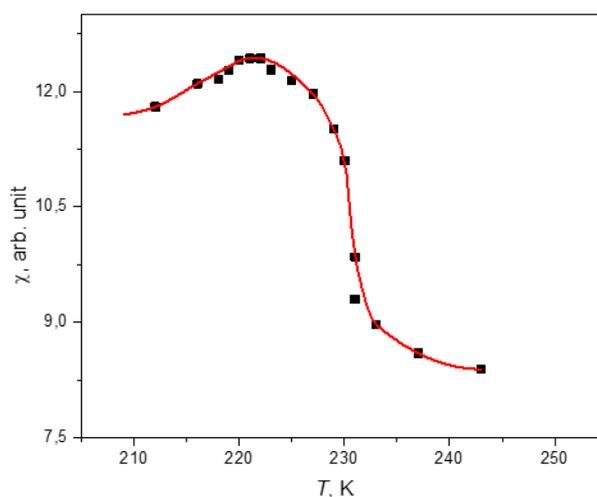


Рис. 1. Зависимость магнитной восприимчивости $TbCo_2$ от температуры, в области фазового перехода

Для изучения возможности использования магнитной восприимчивости в качестве термометрического параметра, нами были проведены измерения зависимости $\chi(T)$ в области фазового перехода – рисунок 1.

Использование магнитного фазового перехода может быть реализовано в условиях повышенной радиации и, кроме того, дистанционно – для контроля температуры внутри замкнутой оболочки.

1. Михеев В. П., Просандеев А. В. Датчики и детекторы: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. – 172 с.
2. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. Науч. Конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). – СПб.: Свое издательство, 2015. – iv, 102 с.
3. Геращенко О. А. Тепловые и температурные измерения. : справочное руководство. К.: Наукова думка, 1965 – 304 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНЫХ СТАЛЕЙ

Кочнев А.В.¹, Трофимова С.Ю.², Ригмант М.Б.¹, Корх М.К.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов им. М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kochnevav@imp.uran.ru

APPLICATION OF MODERN METHODS AND TECHNIQUES FOR PHASE COMPOSITION EVALUATION OF AUSTENITIC-FERRITIC STEELS

Kochnev A.V.¹, Trofimova S.Yu.², Rigmant M.B.¹, Korkh M.K.¹

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Review of methods and techniques, used for phase composition control of austenitic-ferritic steels was performed. Some limitations of ferrite content evaluation with different devices are shown. New methods of phase composition control of these steels for wide range of ferrite content are proposed.

Зависимость свойств аустенитных сталей от их фазового состава делает необходимым контроль содержания ферромагнитных фаз в металле [1]. Существующие приборные решения ферритометрии применяют несколько вариантов реализации работы измерительных устройств [2].

Широкое применение находят вихретоковые ферритометры, которые могут быть использованы в целях толщинометрии, дефектоскопии, измерения магнитной проницаемости, электро- и теплопроводности (МВП-2М, НПЦ «КРОПУС»), что обусловлено зависимостью выходного сигнала от нескольких параметров объекта контроля [3]. Данное преимущество является также и проблемой вихретокового метода контроля, когда показания прибора могут быть неверно интерпретированы.

Ферритометры МФ-510 и МФ-51НЦ (ООО «АКА-СКАН», г. Москва), МК-1.2Ф и МК-1Ф (ЗАО НПО «Интротест», г. Екатеринбург) индукционного типа предназначены для измерения локального и объемного содержания ферритной фазы от 0,8 до 20 % (до 80% для МФ-51Ц) в сварных швах и изделиях из нержавеющей сталей аустенитного и аустенитно-ферромагнитного классов.

Среди иностранных приборов можно выделить ферритоскопы Feritscope MP30 и Feritscope MP30E-S (Германия), измеряющие содержание феррита в

ферритных числах (FN). Их ограничением является необходимость в тщательной подготовке поверхности перед проведением контроля, а также значительная зависимость показаний прибора от относительного положения зонда и объекта контроля, что делает желательным применение роботизированных средств.

При содержании ферритной фазы (СФФ) более 20% почти для всех методик контроля наблюдается отклонение от линейной зависимости сигнала измерительного преобразователя от СФФ. Для компенсации данного отклонения в приборе предусматриваются поправочные коэффициенты, либо указываются кривые калибровки в случае ферритного числа, однако это не позволяет целиком устранить погрешность; кроме того, различные марки сталей имеют разные поправочные коэффициенты.

Институтом физики металлов УрО РАН ведутся исследования по разработке и внедрению приборов и методик магнитного фазового контроля аустенитно-ферритных сталей [2, 4]. Для этого, в качестве измерительных преобразователей используются преобразователи Холла, а намагничивание осуществляется постоянным магнитом из редкоземельных элементов, что позволяет создавать в зоне контроля магнитные поля порядка 4–6 кА/см, близкие к состоянию насыщения. Кроме того, проводятся поисковые работы по возможности проведения фазового контроля аустенитных сталей в малых и средних полях. Были проведены исследования на серии образцов из аустенитно-ферритных сталей различного химического и фазового состава, вплоть до 60% СФФ. Результаты измерений показали, что для целей ферритометрии возможно использование комплекса параметров частных петель магнитного гистерезиса: коэрцитивной силы, дифференциальной магнитной восприимчивости и других. Примечательно, что для этого достаточно использовать магнитные поля напряжённостью 300–600 А/см, которые не требуют для своего создания высоких токов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Диагностика», № АААА-А18-118020690196-3)

1. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы, Справочник М.: Металлургия, (1983).
2. Ригмант М.Б., Дефектоскопия, № 2, с.27–40, (2018).
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ.ред. В.В. Клюева Т.2: В 2кн., М.: Металлургия, (2003).
4. Корх М.К., Ригмант М.Б., Давыдов Д.И., Шишкин Д.А., Ничипурук А.П., Корх Ю.В., Дефектоскопия, № 12, с.20–31, (2015).

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЗОНДЫ ДЛЯ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И ТЕРМОГРАФИИ

Тураби А.¹, Корсакова Е.А.¹, Акифьева Н.Н.¹, Корсаков А. С.¹, Жукова Л. В.¹, Южакова А.А.¹, Салимгареев Д. Д.¹, Львов А. Е.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: korsa5555@bk.ru

FIBER OPTIC PROBES FOR IR SPECTROSCOPY AND THERMOGRAPHY

Turabi A.¹, Korsakova E.A.¹, Akif'eva N. N.¹, Korsakov A. S.¹, Zhukova L. V.¹, Yuzhakova A. A.¹, Salimgareev D. D.¹, Lvov A. E.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this study, we present fibre-optic probes based on the AgBr-AgI crystals, suitable for thermal imaging and IR spectroscopy. They are transparent in the range from 3 to 26 μm , which is in demand for remote monitoring of physical parameters of objects located in hard-to-reach places.

Непрерывный контроль температуры важен для оценки текущего состояния оборудования и своевременного обнаружения нарушений. Существуют проблемы контроля температуры электрических установок традиционными методами с использованием термопар из-за возникновения электрических наводок, что приводит к искажению сигнала. Кроме того, тепловизионное оборудование имеет ограничение по условиям эксплуатации (внешние габариты, устойчивость к агрессивным средам) [1]. Эти недостатки можно свести к минимуму, используя длинные и гибкие каналы доставки инфракрасного излучения на основе световодов, изготовленных из кристаллов твердых растворов системы AgBr-AgI. Проведено исследование влияния внешних факторов на оптические свойства рассматриваемых световодов, а именно температуры, вибраций и электрического поля.

В данной работе освещены также области потенциального применения волоконно-оптических зондов на основе AgBr-AgI кристаллов, прозрачных в среднем инфракрасном диапазоне от 3 до 26 мкм, для реализации спектрального ИК-Фурье анализа. Ключевым преимуществом оптоволоконных технологий является возможность использования оптического волокна не только в качестве транслятора аналитического сигнала, но и в качестве датчика для получения этого сигнала от исследуемой области [2, 3]. В этой связи, разработан волоконно-оптический датчик многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) для исследования жидких сред. В качестве примера показана принципиальная возможность использования волоконно-оптических зондов на основе кристаллов системы AgBr-AgI для удаленного контроля состава

трансформаторного масла, а также контроля температуры в условиях электромагнитных и тепловых помех.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации № МД-5324.2021.4.

1. Development of a fiber-optic probe for thermographic phosphor measurements in turbine engines / Sami Alaruri, Dawn McFarland, Andrew Brewington, Mark Thomas, Norm Sallee, // Optics and Lasers in Engineering Volume 22, Issue 1, 1995, Pages 17-31.
2. Real-time bioprocess monitoring using a mid-infrared fibre-optic sensor / Alimaghani F, Alimaghani F, Winterburn J, Dolman B, Domingues P.M., Everest F, Platkov M, Bassov S, Izakson G, Katzir A, Elliott S.R, Hutter T. // Biochemical Engineering Journal Том 167 March 2021 Номер статьи 107889.DOI:10.1016/j.bej.2020.107889.
3. Волоконно-оптические системы для on-line контроля промышленных процессов / Корсаков. А. С. // Международный научный форум “Бутлеровское наследие-2015”. Том: 43 Номер:8, С:127-133.

A SIMPLE WAY OF DECREASING THE AMOUNT OF PHOTO/VIDEO DATA WHILE TRANSMITTING VIA UNDERWATER COMMUNICATION SYSTEMS

Kuznetsov V. V.¹

¹) Far Eastern Federal University
E-mail: vl.kuz.ru@gmail.com

Nowadays, it is problematic to stream video under the water. Underwater communication systems do not allow for the rapid transfer of large amounts of data. In this paper, we consider a simple way to reduce the amount of information by at least 33% and prove the effectiveness of this method.

Nowadays, autonomous underwater uninhabited vehicles (AUVs) are used to conduct scientific research in the world ocean. For their communication and navigation, it is not reasonable to use electromagnetic waves due to their rapid attenuation. Transmission of information using light pulses is not possible over long distances due to the short range of propagation of a light beam in the sea or freshwater; in addition, this method is associated with a large number of side difficulties, such as the orientation of the transmitter relative to the receiver.

Consequently, hydroacoustic waves are used to provide underwater communications and navigation for AUVs, which can propagate over long distances. However, the use of this method of signal transmission is fraught with numerous difficulties, such as the Doppler effect, reverberation, narrow bandwidth, which makes it impossible to achieve a high data transmission rate, balancing it with different methods of density compaction, the use of high-ranking manipulation methods, compression procedures, etc.

Under certain conditions, it may be necessary to transmit a video stream in real-time for control of the vehicle and provide a visual estimation of the seabed topography and its video recording. However, the bandwidth for transmitting video is not enough. Therefore, various compression methods are used.

As is known, when entering the water, electromagnetic waves of the optical spectrum have different penetrating power depending on the chemical composition fluid and on its state of the environment. Nevertheless, the regularity is obvious: the power of the long-wave part of the spectrum decreases much faster than the short-wave part.

The Byron pattern applied to the matrix of a video camera consists of green, blue, and red colors. Based on the foregoing, an assumption arises that if we reset all the bits responsible for red, removing them from their total stream, the quality of the photo or video will deteriorate minimally, while maintaining the contrast at the proper level, reducing the amount of transmitted data by at least 33 percent.

To confirm this theory, for several underwater pictures with different color schemes, the bits responsible for the red component were reset to zero, the results are presented in Figure 1.



Figure 1 - Reference image and converted

The red component of images in the underwater environment is negligible. That is why the photo, exactly like the video recording, freed from the red component, is minimally distorted. In the above examples, it is noticeable that the image does not lose contrast at all, all its elements are clearly visible and accurately defined by the human eye.

Thus, the complete removal of the red component minimally distorts the image, making it possible to reduce the amount of transmitted data by at least three times. In combination with mathematical methods of compression, this method can be quite effective for transmission in a hydroacoustic communication channel with a narrow frequency.

1. Stojanovic M. Underwater acoustic communication //Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. – 1999. – C. 1-12
2. Edelmann G. F. et al. An initial demonstration of underwater acoustic communication using time reversal //IEEE journal of oceanic engineering. – 2002. – T. 27. – №. 3. – C. 602-609
3. Zhou S., Wang Z. OFDM for underwater acoustic communications. – John Wiley & Sons, 2014.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ВЫСОКИМ ДИАПАЗОНОМ ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Кузовлева А.А.¹, Хохлов К.О.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н.Ельцина"
E-mail: a.a.kuzovleva@bk.ru

ELECTRICAL ENERGY CONVERTER WITH HIGH INPUT VOLTAGE RANGE

Kuzovleva A.A.¹, Khokhlov K.O.¹

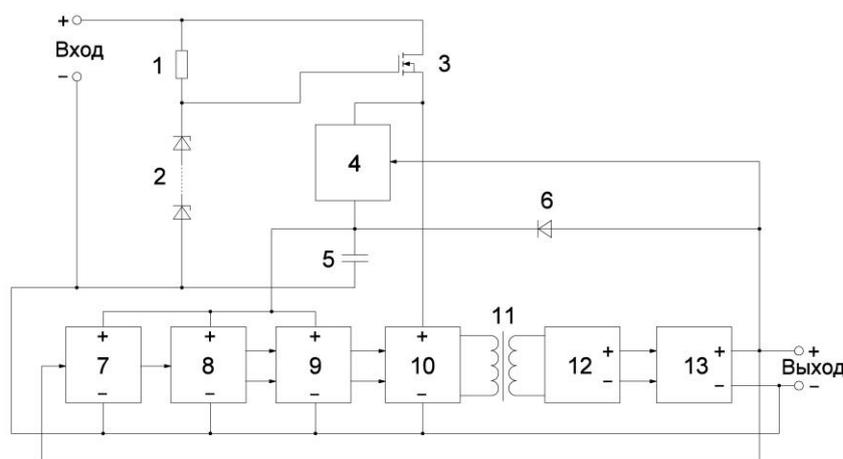
¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin"

Description of the developed model of an electrical energy converter with an input voltage supplied from the neutral point of a three-phase transformer with an effective voltage of 3000 V to power electronic circuits in a submersible unit in telemetry systems of oil well pumps.

Решается проблема питания электронных схем в погружных блоках для систем погружной телеметрии нефтяных скважинных насосов.

В системах погружной телеметрии нефтяных скважинных насосов используется прикрепленный к насосу погружной блок, в котором содержатся электронные схемы, необходимые для работы датчиков состояния электромоторов насосов и передачи информации на поверхность. Для питания этих схем требуется низкое напряжение 12...15 В. Трехфазное напряжение питания электромотора имеет величину действующего напряжения 3000 В частотой 50 ± 10 Гц, которое вырабатывается трехфазным трансформатором, расположенным на поверхности. Обмотки трансформатора и трехфазного электромотора включены по типу «звезда». Трансформатор на поверхности и электромотор насоса в скважине соединены трехфазным кабелем, находящимся в металлической броне. Поскольку других кабелей кроме трехфазного кабеля для электромотора система не предусматривает, положительное напряжение питания погружного блока 200 В подается на нейтральную точку соединения обмоток трансформатора, и, при условии симметричной нагрузки трехфазной системы, это же напряжение 200 В будет формироваться на нейтральной точке обмоток электродвигателя относительно заземленной металлической брони, на которую подключен отрицательный вывод источника напряжения 200 В. Однако при работе насоса возможен «перекос» фаз и симметричность нагрузки нарушается. Потенциал нулевой точки может сильно колебаться в пределах напряжения 200-1200 В, а кратковременные всплески напряжения могут достигать амплитудного значения величины фазы более 4200 В.

Таким образом, для систем погружной телеметрии необходим преобразователь со стабилизированным низковольтным выходным напряжением (порядка 15 В $\pm 5\%$), который питается входным напряжением в пределах 200-1200 В и выдерживает кратковременные перегрузки по входному напряжению до 4200 В без потери работоспособности в течение длительного времени (не менее двух-трех лет). Также необходимо иметь возможность обеспечивать питающим напряжением собственные блоки преобразователя. Ввиду того, что в скважинах температура окружающей среды выше 100°C, преобразователь должен обладать высоким коэффициентом полезного действия, чтобы не производить дополнительный нагрев электронных схем и иметь высокую надежность.



Преобразователь напряжения состоит из резистивного блока 1, блока стабилизаторов 2, транзистора 3, управляемого источника тока 4, через который в момент включения заряжается конденсатор 5, после чего источник тока отключается и на конденсаторе поддерживается напряжение через диод 6. Также в схеме присутствует блок обратной связи 7, широтно-импульсный модулятор 8, драйвер полумостового инвертора 9 и инвертор 10, трансформатор 11, выпрямитель 12 и индуктивно-емкостной фильтр 13.

На представленное устройство получен патент на полезную модель.

1. Хохлов К.О., Ищенко А.В., Рубцова О.О. Описание полезной модели к патенту [Электронный ресурс] // Электронный научный архив УрФУ. – URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/69143/1/180125.pdf>

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАРЯДА ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ «РАДАН 303»

Лисовский Д.А.¹, Осипенко Е.А.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: danil.lisovsky@yandex.ru

APPLICATION OF RESONANT CONVERTERS FOR CHARGING CAPACITIVE ENERGY STORAGES BY THE EXAMPLE OF THE HIGH VOLTAGE PULSE GENERATOR «RADAN 303»

Lisovsky D.A.¹, Osipenko E.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Annotation. The article discusses aspects of the operation of the resonant converter and the applied circuitry solutions to improve the stability of work of a powerful pulse generator «RADAN 303».

Для питания импульсных устройств, разрабатываемых и применяемых в мощной импульсной технике, требуются короткие, но интенсивные пакеты энергии. Такие пакеты энергии формируются генераторами мощных импульсов [1], основанных на принципе компрессии: энергия относительно медленно аккумулируется в накопителе (емкостном накопителе энергии, ЕНЭ, в нашем случае), с целью последующей более быстрой передачи в нагрузку. Скорость, с которой накопитель заряжается и разряжается, определяет частоту повторения выходных импульсов генератора и может варьироваться от 0,01 Гц для больших конденсаторных батарей до единиц – десятков килогерц для применений в лазерной технике.

Для заряда ЕНЭ применяют специальные схемотехнические решения, которые можно условно разделить на моноимпульсные и многоимпульсные.

К первой группе относятся заряд линейным током и резонансный моноимпульсный заряд. Линейный заряд имеет низкий КПД (50%), делающий невозможным применение метода в компактных электрофизических установках. Резонансный заряд через индуктивность, в свою очередь, вызывает проблемы, связанные со стабилизацией колебательных процессов. Реализация обоих методов значительно увеличивает габаритные размеры устройства, поэтому они находят применение в энергоемких комплексах.

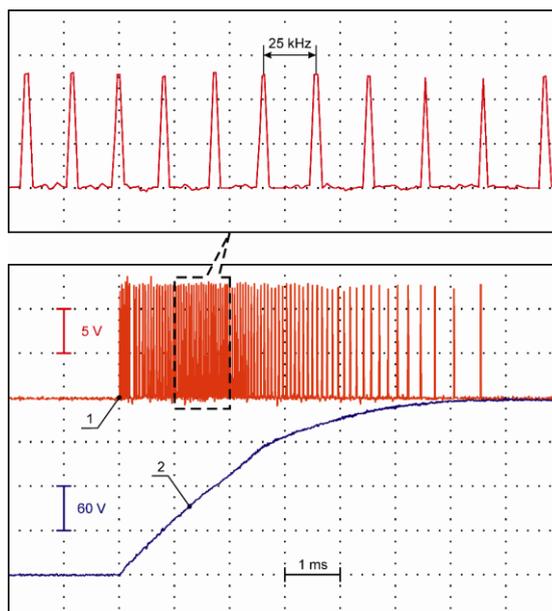


Рис. 1. Осциллограммы переходных процессов в источнике питания емкостного накопителя энергии, где 1 – управляющие импульсы, 2 – напряжение на ЕНЭ

Ко второй группе относят методы преобразования импульсов высокой частоты, который получил широкое распространение в силовой электронике [2]. Для приложений мощной импульсной техники, импульсные преобразователи дополняются специальными схемами управления и резонансными модулями (последовательными, параллельными контурами, а также цепями смешанного типа), что позволяет сократить потери энергии на ключах, задать рабочий диапазон заряжающего тока, а главное – линейно заряжать конденсаторную батарею.

Актуальной проблемой заряда ЕНЭ является зависимость большинства источников питания от амплитуды напряжения в бытовой сети. Разработанный импульсный преобразователь для электронного ускорителя позволяет исключить этот недостаток, так как напряжение питающей его сети влияет только на энергию импульсного пакета и время заряда, в то время как результирующее значение потенциала на ЕНЭ остаётся постоянным. В данной работе рассмотрены аспекты режимов работы резонансного преобразователя, приведены расчеты и получены зависимости выходного напряжения от применяемых методов получения резонансного режима и управления устройством.

1. Малогабаритный сильноточный импульсный источник РАДАН СЭФ-303А / В.Г. Шпак [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 1993. – №1. – С. 149-155.2.
2. Блум, Х. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств / Х. Блум ; Хансиоахим Блум ; пер. с англ. А. М. Рабодзея. – Москва : Додэка-XXI, 2008. – (Серия Силовая электроника). – ISBN 9785941201914.
3. Соковкин С. Ю. Мощная импульсная техника: Учебное электронное текстовое издание / С. Ю. Соковкин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУУПИ, 2008. – 65 с.

РАЗРАБОТКА АНАЛОГОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ПРИБОРА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЦВЕТА ПОВЕРХНОСТИ

Муродова С.Н.¹, Орлов А.В.², Бардюг Д.Ю.¹, Елимова Т.В.³

¹) Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²) ООО «Дельрус – СЗРЦ»

³) Костромской государственной университет

E-mail: murodova.s@edu.narfu.ru

DEVELOPMENT OF AN ANALOG BANDPASS FILTER FOR A SURFACE COLOR DETECTION DEVICE

Murodova S.N.¹, Orlov A.V.², Bardyug D.Yu.¹, Elimova T.V.³

¹) Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov

²) Delrus - SZRK LLC

³) Kostroma State University

The article is devoted to the development of an analog bandpass filter. The schematic diagram of the filter is considered. The advantages and disadvantages of the chosen design are analyzed. The areas of application of the device are indicated.

Одной из важных технических задач, в современных условиях, является определение цвета поверхности. Существует множество способов представления цвета в цифровом формате и его отображения [1]. Один из наиболее распространенных форматов – формат RGB.

Колориметры [2], позволяющие определять цвет поверхности, широко используются в различных отраслях человеческой деятельности. Например, в химической промышленности – для определения элементов взвеси жидкости по ее цвету [3].

Однако, современные промышленные колориметры, как правило, имеют значительные размеры и стоимость. Эти факторы ограничивают их широкое практическое применение.

В качестве альтернативы дорогим и габаритным приборам, нами была поставлена задача по разработке компактного и не дорогого колориметра, обладающего, тем ни менее, удовлетворительными характеристиками.

Преимуществом разрабатываемого прибора видится большая автономность, мобильность и возможность получать данные о цвете поверхности в виде RGB-кода.

Важнейшей частью колориметра является блок фильтрации и детектирования, позволяющий производить первичную обработку аналогового сигнала от фотодатчика, благодаря которому реализуется метод частотной селекции полезного сигнала. Таким образом, появляется возможность выделения полезного сигнала с последующим измерением его уровня на фоне внешних помех и шумов. Для

этого требуется высокодобротный полосовой фильтр с большой скоростью спада АЧХ вне полосы пропускания.

Разработанный нами полосовой фильтр представлен на рисунке 1. Основные характеристики фильтра: добротность – не менее 58, центральная частота 1025 Гц, коэффициент пропускания – 0 дБ, скорость спада АЧХ – более 76 дБ/октаву.

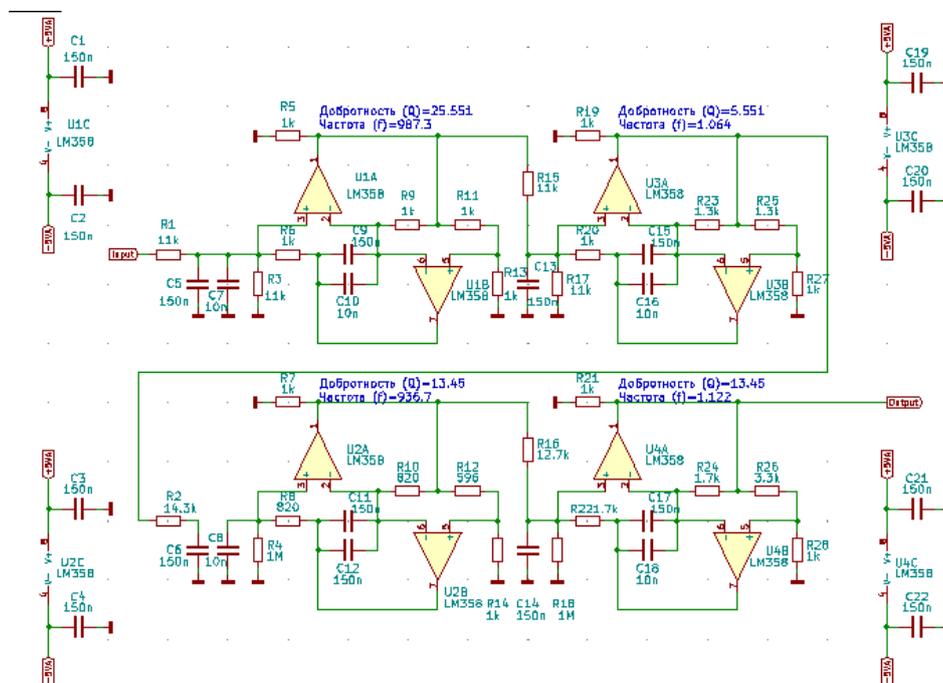


Рис. 1. Принципиальная схема полосового фильтра.

Фильтр полностью построен на операционных усилителях общего применения, что отличает его от подобных фильтров со схожими характеристиками, используемыми в более дорогих колориметрах. Выбранная схема построения обеспечивает унификацию по используемым компонентам разрабатываемого прибора. Это позволяет отказаться от дорогостоящих компонентов схемы детектирования и первичной обработки сигнала, построенных с применением специализированной элементной базы.

Применение аналоговой элементной базы также позволяет избавиться от необходимости проведения сложных математических расчетов с применением специализированных цифровых сигнальных процессоров (DSP). Вместо этого появляется возможность применять экономичные микроконтроллеры общего назначения, что ведет к снижению энергопотребления и, как следствие, увеличению времени автономной работы устройства. Также это снижает себестоимость и повышает ремонтопригодность.

Подобное решение при разработке фильтра позволяет отказаться от цифрового способа обработки первичной информации. Этим исключается необходимость ручной подстройки схемы вследствие хорошей повторяемости

характеристик фильтра, а также низкой чувствительностью к отклонению изменяемых компонентов.

1. Гуревич М.М. Цвет и его измерение. Издательство Академии наук СССР, 1950г.
2. Большая советская энциклопедия, Колориметр [Электронный ресурс] (дата обращения 15.02.2022)
3. Справочник химика 21, Химия и химическая технология [Электронный ресурс] (дата обращения 15.02.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ В ПЛАНЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

Шлеенков А.С.¹, Пастухов А.Б.¹, Губанов Я.В.²

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия.
E-mail: s11150@yandex.ru

RESEARCH THE POSSIBILITIES OF MAGNETIC FLAW DETECTION IN TERMS OF DETECTING DEFECTS IN THE SURFACE OF A PIPE BILLET

Shleenkov A.S.¹, Pastukhov A.B.¹, Gubanov Y.V.²

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Yekaterinburg, Russia.

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

Non-destructive instrumental inspection of pipe billet surface defects is currently absent at most metallurgical plants. Only visual inspection is carried out. At the same time, this problem is very urgent and has not yet received a practical solution. The article describes the solution method.

Неразрушающий инструментальный контроль дефектов поверхности трубной заготовки, выпускаемой в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53932-2010 на большинстве металлургических комбинатов в настоящее время отсутствует. Проводится только визуальный контроль. В то же время эта проблема является очень актуальной и до сих пор не получила практического решения [1]. В статье рассмотрен способ решения этой задачи.

Полный цикл исследований предусматривает, разработку, изготовление, поставку промышленного образца помехозащищенного дефектоскопического комплекса (далее установки) для автоматизированного неразрушающего контроля (НК) трубных заготовок, выпускаемых АО «ЕВРАЗ НТМК» по ГОСТ Р 53932-2010 в технологическом потоке их производства, а также интеграцию установки в существующую линию после дробеметной установки и ее комплексное внедрение.

Поставленная цель может быть достигнута за счет применения, разработанных и синтезированных в ИФМ УрО РАН новых однокристалльных тонкопленочных матричных преобразователей на основе анизотропных магниторезистивных датчиков типа АМРД [2] с повышенной чувствительностью к поверхностным дефектам, Для практической реализации данной программы потребовалось

провести ряд экспериментальных исследований, результаты которых и приводятся в данной статье.

Образцы трубной заготовки для исследований представляют собой цилиндры диаметром 120 мм, длиной 600мм, весом 65кг.

Создан макет установки и выполнены исследования по изучению выявляемости поверхностных дефектов. Система измерения состоит из датчиков собранных в кассеты, многоканального предварительного дифференциального усилителя, многоканального АЦП и устройства сбора и отображения результатов на персональном компьютере. На рисунке 1 показана диаграмма сигнала одного из дефектов.

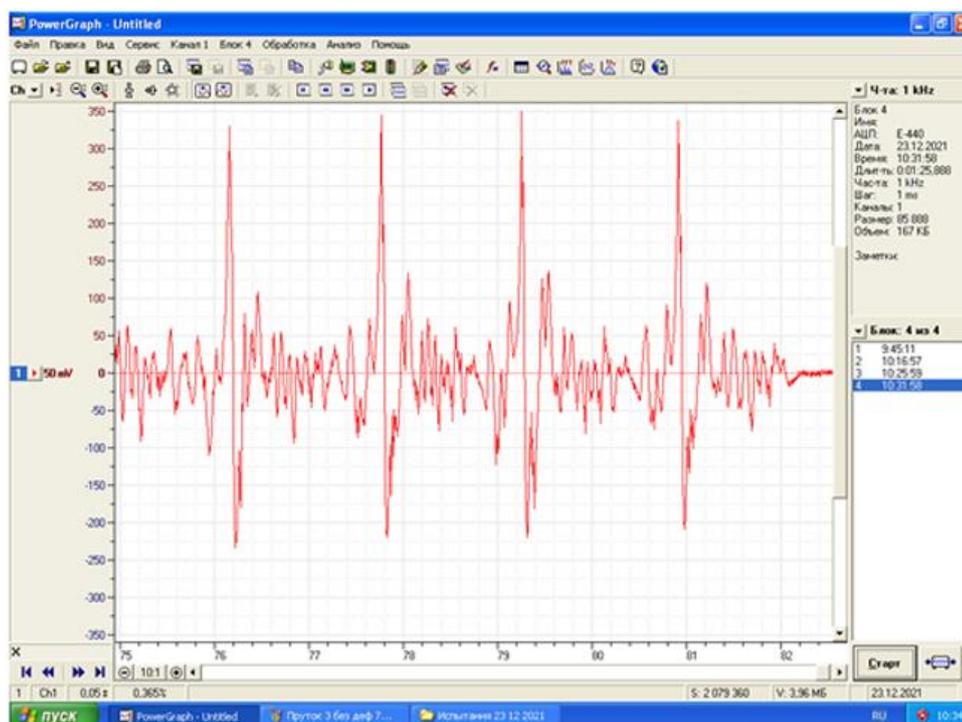


Рис. 1. Диаграмма сигнала от дефекта типа продольный задира.

Образец помещен внутри двух соленоидов, собранных по схеме и конструкции катушек Гельмгольца. Создается продольное намагничивающее поле, а различно ориентированные естественные дефекты хорошо выявляются благодаря применению высокочувствительных датчиков, производимых по специальной технологии, предусматривающей высокотемпературный отжиг пермаллоевых пленок на окончательной стадии их изготовления.

При обработке сигнала с использованием алгоритма, изложенного в работе [3] достигнуты положительные результаты решения данной проблемы.

1. Проектирование, изготовление и поставка установки неразрушающего контроля трубной заготовки в крупносортном цехе АО «ЕВРАЗ НТМК» // Техническое задание АО «ЕВРАЗ НТМК» от 10.06.2019.

2. A. S. Shleenkov, O. A. Bulychev, S. A. Shleenkov, D. V. Novgorodov Features and Advantages of Applying Anisotropic Magnetoresistive Field Sensors to Testing the Full Volume of Small- and Medium-Diameter Pipes // Russian journal of nondestructive testing. — 2020. — V. 56. — P. 417—425.
3. A. S. Shleenkov, A. B. Pastukhov, Ya. V. Gubanov Signal processing algorithms for increasing the resolution of magnetic flaw detection of rolled steel // AIP Conference Proceedings. — 2020. — V. 2313. — P. 40010—40015.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полетаев Д.А.¹, Соколенко Б.В.¹, Присяжнюк А.В.¹, Якубов С.И.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
E-mail: poletaevda@cfuv.ru

DEVICE FOR MONITORING RESEARCH OBJECT'S POSITION

Poletaev D.A.¹, Sokolenko B.V.¹, Prisyazhniuk A.V.¹, Yakubov S.I.¹

¹) V.I. Vernadsky crimean federal university

In this paper a device for monitoring research object's position is proposed. A description of the design of the device, the algorithm of operation is given, the limits of applicability are highlighted.

В зондовых методах микроскопических исследований, кроме измерительного преобразователя величин, актуальную роль играют устройства позиционирования объекта. Однако даже прецизионные устройства подвержены влиянию внешних мешающих факторов. К ним относятся тряска лабораторного оборудования. Целесообразно предложить и разработать систему, предназначенную для контроля положения объекта, реагирующую на сдвиги.

Целью работы является конструирование и исследование параметров устройства для контроля положения объекта исследования.

Оптические методы анализа параметров материалов, в которых используются интерферометрия и когерентные источники света, весьма перспективны и востребованы [1]. Наиболее простыми для применения являются основанные на использовании пучков Бесселя и Лагерра-Гаусса [2]. В этих методах угол поворота распределения интенсивности «двухлепестковых полей» меняется в зависимости от глубины резкости сфокусированных спиральных пучков [2].

Сконструировано устройство, позволяющее отслеживать перемещение объекта с наномасштабным разрешением. Общая оптическая схема установки представлена на рис. 1.

Предлагаемое устройство работает следующим образом (рассматривается блок для определения координаты по оси x , блоки по осям y и z функционируют аналогично). Излучение лазера попадает на встроенный в выходную апертуру светоделительного куба фазовый транспарант, формирующий оптический вихрь. Оптический вихрь фокусируется на поверхности исследуемого объекта. При этом величина фазового сдвига оптического вихря оказывается пропорциональным перемещению объекта по оси x . В рабочем режиме устройство отслеживает перемещение объекта по всем трем координатам: x , y и z , сопоставляя значение перемещения с параметрами, задаваемыми блоком управления системой

позиционирования. В дежурном режиме (когда перемещение штатным устройством позиционирования уже совершено) прибор продолжает отслеживать перемещение объекта под действием каких-либо внешних воздействий. При обнаружении сдвига, устройство подает сигнал о сдвиге объекта.

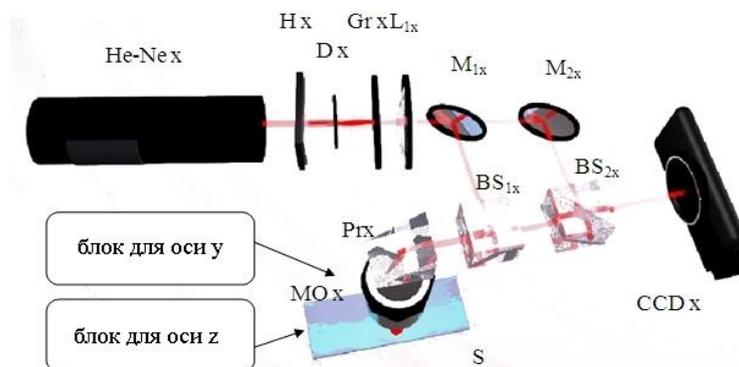


Рис. 1. Оптическая схема устройства контроля положения объекта исследований

В ходе экспериментальной проверки точности разработанного устройства использовались лазеры с длиной волны 632,8 нм. При этом была достигнута точность определения сдвига объекта исследований 5,00 нм с допуском не более 5 %. Максимальное обнаруживаемое изменение положения объекта составляет около 0,4 мм.

Разработка может осуществлять контроль позиции объекта в зондовых микроскопах.

Исследование частично профинансировано в рамках поддержанного Российским научным фондом гранта № 20-72-00065.

1. Bessel beam based optical profilometry / V. Belyi, M. Kroening, N. Kazak, N. Khilo, A. Mashchenko and P. Ropot // Proc. SPIE. – 2005. – 5964. – P. 59640L
2. Влияние амплитудных и фазовых искажений на формирование световых полей с вращением распределения интенсивности / Е.Н. Воронцов, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, Д.В. Прокопова, С.А. Самагин // Краткие сообщения по физике. – 2018. – 45 (3). – С. 9-14.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТНЫХ УЧАСТКОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Пухов Д.А.¹, Ромашенко М.А.¹, Васильченко Д.В.¹

¹) Воронежский государственный технический университет
E-mail: puhov.dm22@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR DETERMINING DEFECTIVE SECTIONS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

Puhov D.A.¹, Romashchenko M.A.¹, Vasilchenko D.V.¹

¹) Voronezh State Technical University

One of the options intended for use at various stages of production and control is the use of deep neural networks and machine vision. This field of science is at the initial stage of introduction into human life, but it can allow automating the process.

Производство электронных устройств крупными партиями заставляет любое предприятие переходить к конвейерным линиям и максимальной автоматизации своего производства с целью увеличения скорости работы по выпуску продукции. Использование выборочного выходного контроля с целью оценки качества выпускаемой продукции является не эффективным способом, данный факт усугубляется влиянием «человеческого фактора». Применение человека для отбраковки на конвейерной линии, при больших скоростях работы приведет к еще большему числу пропущенных бракованных экземпляров, что связано с ограниченностью скорости реакции человека. Одним из выходов является увеличение числа контролеров, что также негативно влияет на материальные затраты и качество отбраковки. Все эти недостатки ведут к снижению продуктивности и экономической выгоды от выпускаемой продукции.

Одним из вариантов, предназначенных для применения на различных этапах производства и контроля - является применение глубоких нейронных сетей и машинного зрения. Данная область науки находится на начальной стадии внедрения в человеческую жизнь, но может позволить автоматизировать большую часть процессов, выполнение которых, до этого, могло производиться исключительно человеком.

Целью проекта является создание системы для выявления дефективных участков топологии печатной платы в процессе ее производства, а также корректировка алгоритмов работ систем управления производственной линии в режиме реального времени.

На данный момент на рынке имеется несколько компаний, занимающиеся реализацией систем машинного зрения для промышленности. Такие компании, как Vaumer, Halcon, Mallinot разрабатывают различные устройства для применения их в промышленности, а также программное обеспечение для обработки. Как

правило, данное программное обеспечение позволяет разработать комплексы машинного зрения для конвейерных линий с целью выявления крупных дефектов.

Решаемые задачи по проекту:

разработать методику обнаружения и идентификации дефектов топологии печатной платы;

разработка архитектуры нейронной сети, позволяющей производить обработку изображений от камер;

разработка испытательного стенда для проведения исследовательских испытаний с целью подтверждения работоспособности разработанной архитектуры нейронной сети;

доработка программного обеспечения с целью внедрения его на существующие системы управления конвейерными линиями на производствах;

проведение опытного внедрения и апробации разработанного способа.

Для решения поставленных задач был разработан программный комплекс, позволяющий выявляющий дефекты на печатных платах с применением визуального способа контроля в полностью автоматическом режим. Апробация новых архитектур нейронных сетей для решения узконаправленных задач повлияет не только на развитие отрасли производства печатных плат, но и на научное направления глубокого обучения, машинного зрения и нейронных сетей в целом.

1. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ Ромащенко М.А., Васильченко Д.В., Рожненко С.Н. Радиотехника. 2021. Т. 85. № 6. С. 57-61.
2. Васильченко Д.В., Неклюдов А.Л., Ромащенко М.А. Программно-аппаратный комплекс тестирования электронных средств на воздействие электромагнитных помех // Радиолокация, навигация, связь: сб. тр. XXVI Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж: Воронежский государственный университет 2020. С. 386-391.
3. Патент на полезную модель RU 189820 U1. Сканер ближнего электрического поля для двухсторонних и многослойных печатных плат/ Ромащенко М.А., Васильченко Д.В., Неклюдов А.Л., Глотов В.В., Глотова Т.С. 05.06.2019. Заявка № 2019108722 от 26.03.2019.

ПРОГРАММА РАСЧЕТОВ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ДЛЯ НАКЛОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ЭХО-МЕТОДЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Рябухин М.О.¹, Бирюков Д.Ю.^{1,2}, Зацепин А.Ф.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург,
Россия

E-mail: mor74647@gmail.com

CALCULATION PROGRAM OF THE ACOUSTIC PATH FOR THE INCLINED TRANSDUCER IN THE ECHO-METHOD OF ULTRASONIC TESTING

Ryabukhin M.O.¹, Biryukov D.Yu.^{1,2}, Zatsepin A.F.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

The object of the research is the process of ultrasonic inspection of products by the echo-method. The program calculates the acoustic path of the sound wave, equipment parameters and characteristics of the sound wave. It is also possible to derive values for the construction of the DGS diagram.

Ультразвуковой контроль (УЗК) – это один из самых распространённых и информативных методов неразрушающего контроля, применимый к весьма широкому спектру различных материалов: металлов, диэлектриков, полупроводников [1, 2]. И одним из наиболее часто используемых методов УЗК является эхо-метод, представляющий собой не только метод контроля, но и метод исследования сред. Эхо-метод позволяет измерять акустические свойства сред, устанавливая корреляции состава материалов, их структуры и упругих, прочностных, акустических характеристик. В вопросах оптимального планирования эксперимента и подбора средств измерений может существенно помочь моделирование измерительного процесса при исследовании заданных материалов. Моделирование является весьма актуальным и при анализе экспериментальных результатов позволяя их корректно интерпретировать. Сравнение экспериментальных и расчётных результатов даёт возможность выбрать наиболее правильную интерпретацию из ряда возможных. Так же такие компьютерные программы, имеют важное значение и для подготовки новых специалистов в сфере неразрушающего контроля.

В связи со всем вышесказанным целью настоящей работы была разработка и апробация компьютерной программы, моделирующей работу виртуального ультразвукового эхо-дефектоскопа с наклонными преобразователями при акустических измерениях и неразрушающем контроле самых разнообразных твёрдых сред.

Разработанная программа выполняет расчет акустического тракта, расчет значений: напряжения на приемнике; давлений на излучателе и приемнике; коэффициента расхождения звука в изделии; отражательной способности дефекта; протяженности ближней зоны; пути звука до дефекта. Так же производится вывод значений для построения АРД диаграммы. При этом учитывается нескольких типов модельных отражателей, имеется возможность выбрать контролируемый материал из широкого списка, выбрать материал пьезопластины датчика.

На рис. 1а приведено изображение интерфейса разработанной программы с выполненными вычислениями для соответствующих преобразователя, пьезоматериала, материала изделия и отражателя.

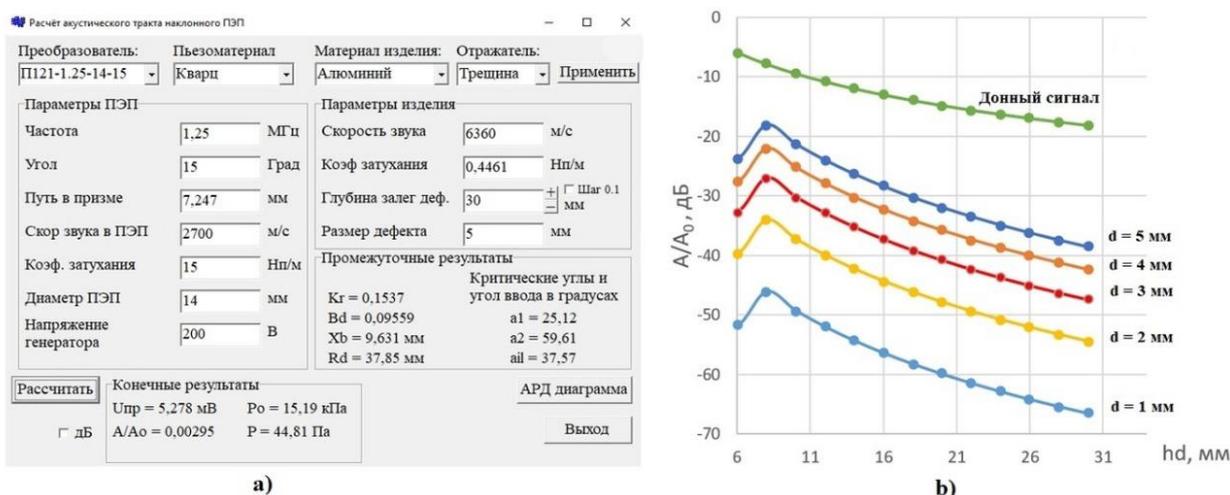


Рис. 1. Интерфейс программы с выполненными расчетами (а), АРД диаграмма, построенная по данным из программы (б).

Полученная АРД диаграмма (рис.1б) построена при измерении параметров сигнала, отраженного от трещины диаметрами 5, 4, 3, 2 и 1 мм, датчиком – П121-1.25-14-15, с материалом пьезоэлемента – кварцем, в алюминии. Так же на рисунке изображен донный сигнал. Полученные расчётные данные хорошо согласуются с физическими измерениями.

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2008. 864 с.
2. Крауткремер И., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. М.: Металлургия, 1991. 340 с.

DIRECT STATISTICAL SIMULATION OF RAREFIED GAS FLOW IN CHANNELS OF VARIABLE CROSS-SECTION

Sazhin A.¹

¹) Sazhin O.

E-mail: oleg.sazhin@urfu.ru

Using the direct simulation Monte Carlo direct method, rarefied gas flow into a vacuum through a linearly diverging and converging channels has been studied.

Recently interest in studying rarefied gas flows is associated with the demand for a deep understanding of gas-dynamic processes occurring in micro and nanofluid devices [1]. Indeed, the operation of these devices significantly differs from the operation of its analogs. For example, inside a pressure-driven device with characteristic parameter 1 micron, the gas is rarefied even at atmospheric pressure. Description of rarefied gas flow is very different from a conventional approach based on solving Navier Stokes equations (NSE). To find a solution to the problem in a wide rarefaction range methods of kinetic gas theory should be applied, the main equation of which is the Boltzmann integrodifferential kinetic equation for the distribution function.

Traditionally rarefied gas flow has been studied in straight channels – channels with constant cross-section [2]. However, in practice, it is often the case that configurations of micro and nanofluid devices with complex geometry are in fact channels with complex geometry, mainly curved channels and channels with variable cross-section. As an example of such devices, we can name microturbines, micro and nano-separators, micro-pumps, micro-gyroscopes, thermal flow microsensors, micro heat pipes, and micro total analysis systems (or lab-on-a-chip systems).

Analyzing available literature it is possible to conclude that despite practical importance the pressure-driven rarefied gas flow through linearly diverging and converging channels has not been studied enough in both experimental and theoretical ways, in particular for rarefied gas flow into a vacuum. The purpose of the present work is to study in details the gas flow into a vacuum through a rectangular channel both with linear diverging and converging cross-sections in a wide range of rarefaction from free molecular up to near hydrodynamic flow regime. The problem will be solved in the complete geometrical setup, namely with including certain pre- and post-channel regions in the geometry under consideration. Due to a strong non-equilibrium process (outflow into a vacuum), it is appropriate to use the direct simulation Monte Carlo method [3] for solving a given problem.

One of the primary problems of rarefied gas dynamics (RGD) is the flow rate computation [4] which is why in the present work the mass flow rate through a channel is the main calculation quantity. As an example, figure demonstrates the results of

calculations of dimensionless mass gas flow rate Q^* through a linearly converging channel, a linearly diverging channel, and through a straight channel as a function of the rarefaction parameter δ for the length to height ratio 1.

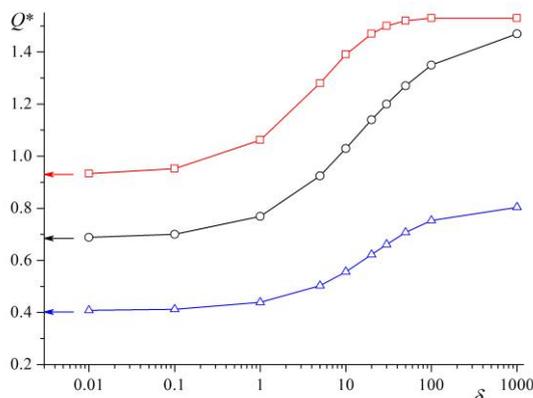


Рис. 1. The dimensionless gas mass flow rate Q^* through a linearly converging channel (triangles), a linearly diverging channel (squares), and through a straight channel (circles) as a function of the rarefaction parameter δ for the length to height ratio 1. The arrows indicate the free molecular limit.

The support by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation through the State Assignment for high educational institutions (the research project # FEUZ-2020-0057) is gratefully acknowledged.

1. Li, D. (Ed.). (2008). Encyclopedia of microfluidics and nanofluidics. Springer Science & Business Media, New York.
2. Sharipov, F., & Seleznev, V. (1998). Data on internal rarefied gas flows. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 27(3), 657-706.
3. Bird G.A. (1994). Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flow. Oxford University Press.
4. Sharipov, F. (2012). Benchmark problems in rarefied gas dynamics. Vacuum, 86(11), 1697-1700.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ

Сертаков В.В.¹, Прохоров Д. Л.¹

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

E-mail: vadimsertakov23@gmail.com

MULTIPURPOSE AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING AND EVALUATING THE CONDITION OF BATTERIES

Sertakov V. V.¹, Prokhorov D. L.¹

¹Moscow Aviation Institute (National Research University)

In this work, the development of a system for monitoring the voltage of battery cells, as well as algorithms for assessing the state of the battery, is being developed.

В современном мире много электронной техники использует химические источники питания – аккумуляторы(ячейки) и их сборки.

Для повышения эффективности эксплуатации аккумуляторных сборок необходимо отслеживать и оценивать параметры их работы, например, чтобы защищать от перезаряда или вовремя заменять наиболее деградированные ячейки. Одним из параметров является напряжение ячеек в сборке во время эксплуатации [1]. Необходимо отметить, что достаточно малое количество моделей BMS (Battery management system) позволяют измерять напряжение всех ячеек и выдавать его в цифровом виде во время эксплуатации. Поэтому была произведена научно-исследовательская работа с целью разработки такой системы, а также алгоритма оценки состояния ячеек.

Существует много схемотехнических решений измерения напряжений ячеек. Одним из вариантов является способ на мультиплексорах - они путем своего переключения соединяют поэтапно каждую из ячеек аккумуляторной батареи с устройством считывания напряжения – к примеру, АЦП.

На рисунке приведена одна из схем устройства - плата низковольтных мультиплексоров. Мультиплексоры DA1 и DA2 марки DG408DJ производителя Vishay. К клемме X1 подключаются ячейки батареи, до 8 штук. Управление производится через контакты 3-7 разъёма X2, выход напряжения с ячеек батареи производится с контактов 1-2. В разработанном устройстве таких плат может применяться до 4 штук, что позволяет подключать очень большое количество ячеек – до 32.

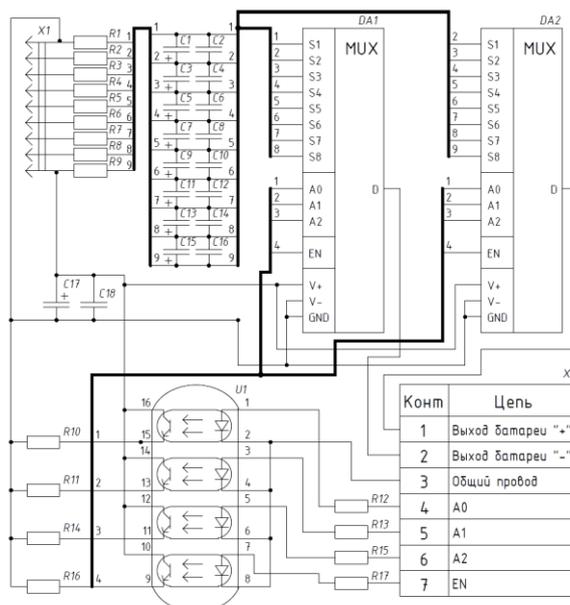


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная платы низковольтных мультиплексов

Для того, чтобы объединить сигналы с 4 плат низковольтных мультиплексов, на отдельной плате используется высоковольтный мультиплексор фирмы MAXIM MAX14753. К нему можно подключить до 4 выходов с плат низковольтных мультиплексов и поочередно переключать.

При помощи запрограммированного микроконтроллера можно управлять 4 платами низковольтных и платой высоковольтных мультиплексов. Переключая их по специальному алгоритму, на выходе MAX14753 будет напряжение одной из 32 подключенных ячеек батареи, которое можно измерять при помощи АЦП микроконтроллера. Устройство позволяет подключать батареи с напряжением до 70 В, а значит это могут быть батареи, состоящие, например, из 16S LiPo, либо из 19S LiFePo4, или 27S ячеек LTO.

В рамках работы был разработан следующий алгоритм оценки износа ячеек. Устройство во время работы непрерывно считывает напряжения с 32 ячеек и дополнительно измеряет общий ток нагрузки батареи при помощи датчика тока ACS712. При токе $>1C$ для каждой из ячеек вычисляется плотность распределения напряжений. Для этого считается количество вхождений измеренных напряжений в заранее выбранные интервалы для каждой из ячеек. Для LiFePo4 батарей предлагается использовать интервалы 2.5-2.9-3.1-3.2-3.3-3.5. Напряжение средней точки LiFePo4 3.2-3.3 В, следовательно ячейки с наибольшим количеством вхождений в интервал 3.1-3.2 и тем более 2.9-3.1 по сравнению с остальными на батарее выдают меньшую мощность и могут рекомендоваться к замене. Интервал 2.5-2.9 не рассматривается так как это уже полная разрядка.

1. Kai G. Prognostics in Battery Health Management. 2008, DOI:10.1109/MIM.2008.4579269.

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПЕЧАТНЫХ АНТЕНН

Шишкин М.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: mikhail.shishkin@urfu.me

ANALYSIS OF VARIOUS DESIGNS OF WIDEBAND PRINTED ANTENNAS

Shishkin M.S.¹

¹) «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin»

Various designs of wideband printed antennas are presented; the simulation of antennas was carried out using the ANSYS Electronics HFSS Design. Based on the simulation results obtained, a comparative analysis of the characteristics of the antennas was performed.

Антенна является неотъемлемой частью любой радиотехнической системы. Необходимость в разработке новых типов антенн вызвана постоянным развитием и модернизацией существующих технологий.

Рассмотрим пример системы передачи данных, где требования к качеству и скорости передачи постоянно растут. Если около 20 лет назад популярной была система второго поколения мобильной связи GSM, которая работала в узкой полосе частот 890–960 МГц (890–915 МГц в канале uplink и 935–960 МГц в канале downlink), что составляет около 8%, то сегодня, наряду с существующими системами третьего и четвертого поколений активно развиваются технологии пятого поколения. Рабочая полоса частот современных широкополосных систем связи может достигать 20% и более (например, 5G band n78: 3300–3800 МГц или Wi-Fi: 5160–5825 МГц) [1,2].

Помимо систем наземной мобильной связи существует достаточно большое количество систем, работающих в широкой полосе частот. Например, для систем фиксированной спутниковой связи выделены частоты 5900–6400 МГц в канале uplink и 3700–4200 МГц в канале downlink, что соответствует полосам согласования 8% и около 13% соответственно. Системы подвижной спутниковой связи работают в диапазонах 1530–2700 МГц и 2700–3500 МГц (55% и 26%) [3]. Существуют также системы радиолокации, использующие широкополосные и сверхширокополосные сигналы.

Для многих систем передачи данных используется частотный дуплекс, где применение одной антенны для приема и передачи может существенно снизить вес и объем терминала связи, однако такая антенна должна обеспечить полосу согласования, покрывающую диапазоны и передачи, и приема. Более того, многие современные устройства работают сразу в нескольких независимых

диапазонах и поддерживают несколько технологий, например, ретранслятор сигналов мобильной связи может усиливать сигналы DCS (1710–1880 МГц), UMTS (1920–2170 МГц) и LTE (2500–2690 МГц) [1,2]. Антенна для такого устройства должна иметь полосу согласования около 45%, кроме того, иметь достаточно высокий коэффициент усиления.

В работе выполнен сравнительный анализ различных конструкций многослойных печатных антенн, часть из которых показана на рисунке 1. Все конструкции были смоделированы в специальном программном обеспечении ANSYS Electronics HFSS Design. Выполнен сравнительный анализ полученных характеристик.

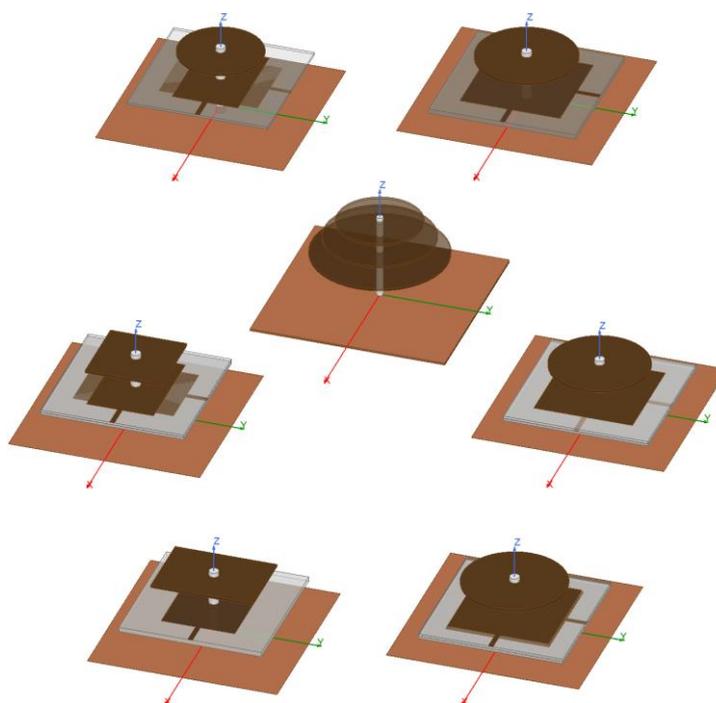


Рис. 1. Варианты конструкций широкополосных печатных антенн

Печатные антенны наиболее популярны в настоящее время. Среди их основных достоинств простота конструкции, малые объемы, масса, стоимость, хорошая воспроизводимость характеристик, возможность создания маловыступающих конструкций. Главным недостатком печатной антенны является ее узкая рабочая полоса частот, которая составляет около 2,5% [4].

Применяя многослойные структуры, можно существенно расширить рабочую полосу частот печатной антенны, при этом, сохраняя симметрию конструкции, можно добиться излучения поля в двух ортогональных поляризациях. Применяя такие излучатели в составе зеркальной антенны или антенной решетки, можно добиться высокого коэффициента усиления [4,5].

1. Sauter M. From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G / M. Sauter. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. – 537 p.

2. Wei Hung-Yu. Wi-Fi, WiMAX, and LTE multi-hop mesh networks: basic communication protocols and application areas / Hung-Yu Wei. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. – 280 p.
3. Кукк К. И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее / К. И. Кукк – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 256 с.
4. Chen Zhi Ning. Handbook of Antenna Technologies / Zhi Ning Chen, Duixian Liu, Hisamatsu Nakano. – Singapore: Springer, 2016. – 3470 p.
5. Shishkin Mikhail S. Wideband High-Gain Dual-Polarized Antenna for 5G Communications / Mikhail S. Shishkin // XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). – Novosibirsk, Russian Federation, 2021.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕХНИКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОТОКА

Сидельников М.С.¹, Вещунов И.С.², Винников Л.Я.¹

¹) Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН, Черноголовка, Россия

²) Токийский университет, Токио, Япония

E-mail: m.s.sidelnikov@mail.ru

HIGH-RESOLUTION BITTER DECORATION TECHNIQUE FOR LOW TEMPERATURES

Sidelnikov M.S.¹, Veshchunov I.S.², Vinnikov L.Ya.¹

¹) Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka, Russia

²) The University of Tokyo, Japan

We present the high-resolution technique to visualize magnetic flux structure of superconductors and magnets at low temperatures. The method is based on magnetic nanoparticles preparation in situ low-temperature experiment by magnetic matter evaporation over sample surface in helium atmosphere.

Структура магнитного потока представляет как научный интерес при исследовании веществ с магнитными неоднородностями, так и практический (например, для контроля качества или восстановления данных с жёстких дисков и прочих магнитных носителей). Для визуализации микроструктуры магнитного потока применяются такие техники, как магнито-силовая зондовая микроскопия (MFM); оптическая микроскопия с использованием магнитооптического эффекта Керра; методики электронной микроскопии, чувствительные к спиновой поляризации электронов (SEMPA); а также метод Биттера, который заключается в притяжении намагниченных частиц к областям магнитной неоднородности. Метод Биттера, в котором изначально использовались коллоидные магнитные частицы в жидкой среде, к настоящему времени претерпел существенные изменения.

В данной работе представлена установка для декорирования поверхности образца магнитными наночастицами железа (приготовленными in situ) в разреженной атмосфере гелия при криогенных температурах в магнитном поле. Установка представляет собой заливной гелиевый криостат и вставку с камерой декорирования. В камере декорирования (Рис. 1А) располагаются вольфрамовый испаритель, экран от теплового излучения испарителя, образец на столике с нагревателем и термометр. В процессе эксперимента вакуумируемая вставка заполняется газообразным гелием и охлаждается в криостате. Испаритель разогревается электрическим током, в результате этого железо испаряется. Атомы железа, соударяясь друг с другом и с атомами газа, слипаются в кластеры нанометровых размеров и оседают на поверхность образца (Рис. 1В). В зависимости от наличия внешнего магнитного поля, подмагничивающего частицы, осаждение происходит преимущественно либо в областях образца с намагниченностью, сонаправленной

подмагничиванию, либо в областях максимального градиента магнитного поля при отсутствии внешнего подмагничивания.

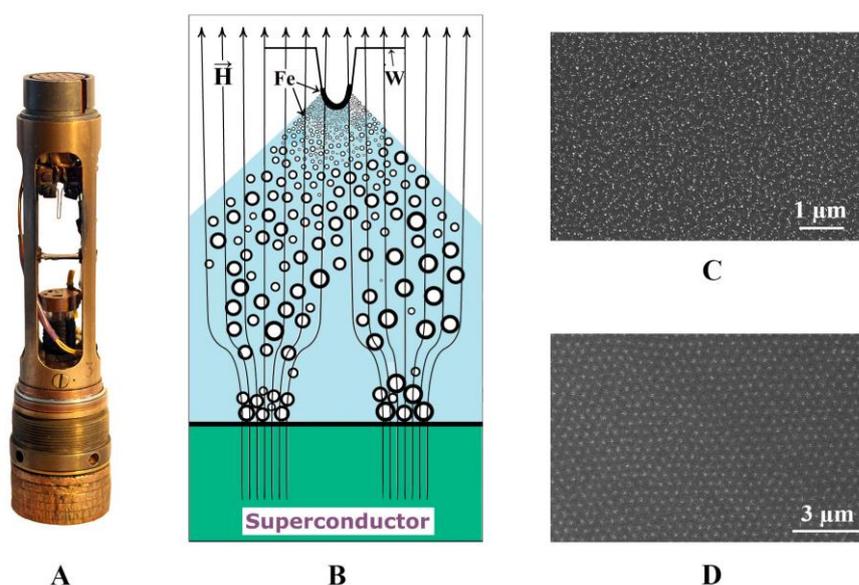


Рис. 1. Техника декорирования. А - внешний вид камеры декорирования, В - схема эксперимента, С - визуализация ферромагнитных доменов в тонкой плёнке CuNi, D - визуализация вихрей Абрикосова в ВТСП-монокристалле BSCCO.

После декорирования частицы достаточно прочно задерживаются на образце Ван-дер-Ваальсовыми силами, что позволяет сохранить картину магнитной структуры при отогреве образца до комнатной температуры и исследовать её с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Типичный пример картины декорирования - визуализация доменной структуры тонкой ферромагнитной плёнки $\text{Cu}_{0.49}\text{Ni}_{0.51}$ (Рис. С) и вихрей Абрикосова в кристалле ВТСП (Рис. D). В настоящее время методика успешно применяется в исследованиях магнитной структуры нового класса веществ – железо-арсенидных ферромагнитных сверхпроводников, в том числе в узкой области сосуществования сверхпроводимости и ферромагнетизма [1].

Основные характеристики методики:

- разрешение неоднородностей магнитного потока - ≤ 100 нм,
- температура декорирования - от ~ 2 К до 30 К и выше,
- индукция постоянного магнитного поля - $\leq 0,3$ Тл (определяется внешним съёмным соленоидом).

1. Винников Л.Я., Вещунов И.С., Сидельников М.С., Столяров В.С., Егоров С.В., Скрябина О.В., Джао В., Цао Г., Тамегай Т. Письма в ЖЭТФ 109 (2019), 530–534. DOI 10.1134/S0370274X19080071. English version: JETP Letters 109 (2019), 521–524. DOI 10.1134/S0021364019080137.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Симонов Н.А.¹, Моисейкин Е.В.¹, Устьянцев Ю.Г.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
E-mail: nykytas@rambler.ru

STAND FOR RESEARCH OF FUNCTIONING AND TESTING OF ELECTRONIC CIRCUITS

Simonov N.A.¹, Moiseykin, E.V.¹, Ustiantsev U. G¹

¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin»

Stand for research of functioning and testing of electronic circuits has been developed. The device consists of microcontroller, electrical signal generator, current source, LCD and keyboard.

Современный уровень развития программного обеспечения позволяет решать задачи моделирования функционирования электронных схем на очень высоком уровне. Существуют коммерческие и бесплатные программные продукты, реализованные как в виде приложений для различных операционных систем, так и в виде веб-приложений. Однако для глубокого понимания функционирования электронных схем студентам, обучающимся по специальностям, ориентированным на разработку электронных устройств, необходимо проходить лабораторный практикум с использованием реальных электронных элементов. В связи с чем, целью данной работы являлась разработка универсального стенда для исследования функционирования электронных схем, с возможностью быстрой замены исследуемой схемы. Функциональная схема разработанного устройства показана на рисунке 1.

Обеспечение требования быстрой замены исследуемой схемы осуществляется разделением устройства на две части: базового блока и сменных модулей. Базовый блок обеспечивает формирование и генерацию электрических сигналов для проведения исследования и измерение отклика электронной схемы. Сменный модуль содержит исследуемую схему. Базовый блок позволяет выполнять следующие функции:

1) генерацию 2 независимых сигналов синусоидальной, треугольной или прямоугольной форм с регулировкой частоты (1 Гц – 1 МГц), амплитуды (± 5 В) и смещения сигнала (± 5 В);

2) формирование постоянного тока с возможностью его регулировки в диапазоне ± 24 мА;

3) генерацию сигнала с помощью ЦАП с амплитудой ± 12 В;

- 4) формирование сигнала ШИМ с заданными параметрами;
- 5) генерацию цифровой последовательности (до 8 бит);
- 6) управление несколькими SPI-устройствами на сменном модуле;
- 7) измерение напряжения в 8 контрольных точках исследуемой схемы в диапазоне ± 12 В;
- 8) измерение напряжения в любой точке исследуемой схемы в диапазоне ± 12 В с помощью внешних щупов.

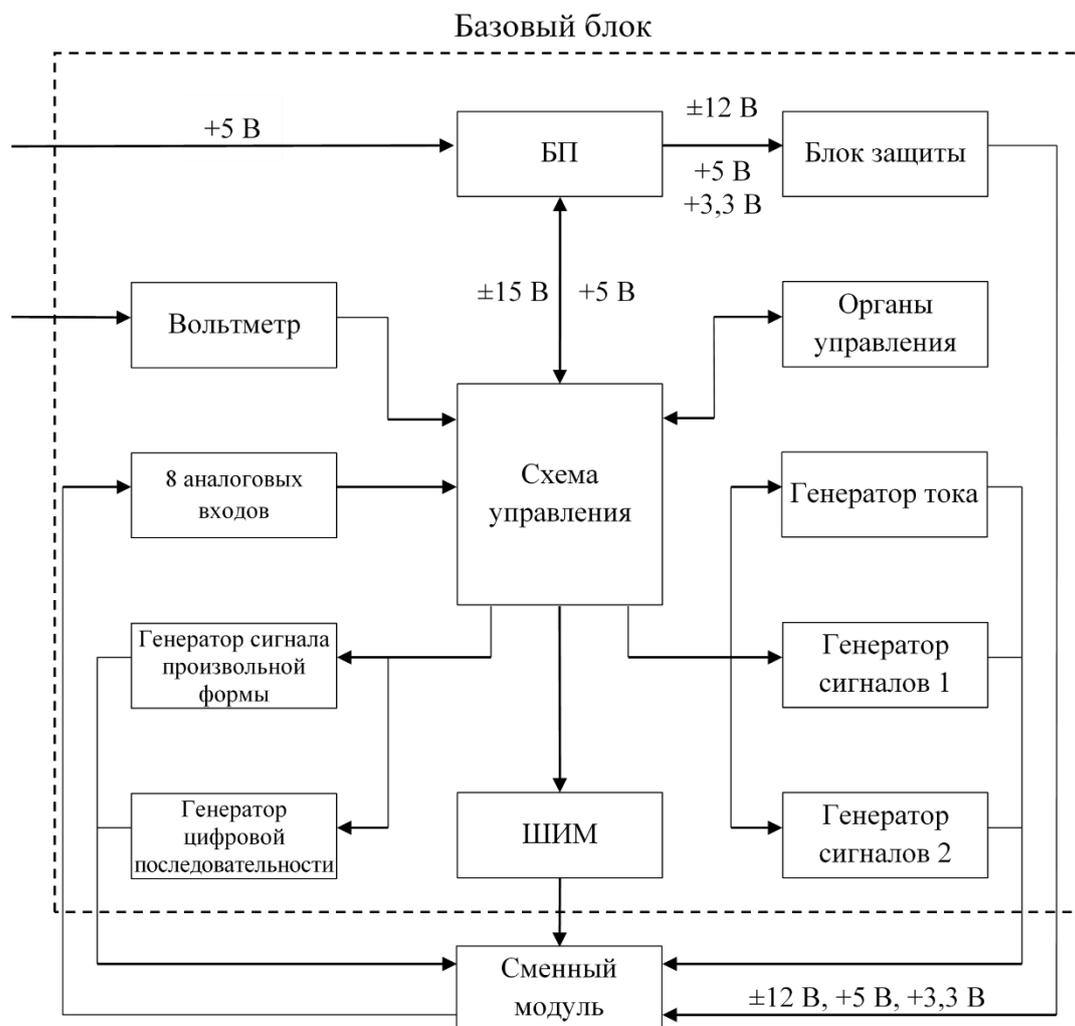


Рис. 1. Функциональная схема стенда для исследования функционирования и проведения тестирования электронных схем

С учетом функциональных возможностей базового блока студенты могут подавать требуемые сигналы на вход исследуемых схем, контролировать напряжения в заданных узлах схемы, что безусловно повысит глубину и уровень понимания функционирования электронных элементов и схем.

Кроме того, базовый блок может быть использован для проведения функционального тестирования малых электронных устройств. Для этого, при трассировке печатной платы тестируемого устройства необходимо сформировать

контрольные точки, для которых в сменном модуле предусмотреть контактные площадки, подключаемые к требуемым генераторам и аналоговым входам. Подавая необходимую последовательность сигналов на тестируемое устройство, фиксируют значения напряжения в контрольных точках и, сравнивая их с эталонными, можно сделать вывод о корректности его функционирования.

В настоящее время ведется разработка нескольких сменных модулей предназначенных для исследования схем с дискретными полупроводниковыми приборами, в том числе с управлением и контролем температуры, схем на операционных усилителях, цифровых элементах.

1. Раннев Г. Г., Суругина В. А., Калашников В. И. и др., Информационно-измерительная техника и электроника. М.: Академия, 2006.
2. Шеин А.Б., Лазарева Н.М., Методы проектирования электронных устройств, Инфра-Инженерия (2011).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ГРУППЫ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ НЕЗНАКОМОГО ОБЪЕКТА ТИПА ЛАБИРИНТ

Субботин Н.В.¹, Чудинова К.В.¹

¹) Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС ВВА), г. Воронеж, Россия
E-mail: tiger1511@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A NAVIGATION SYSTEM FOR A GROUP OF ROBOTS TO PASS AN UNFAMILIAR OBJECT SUCH AS A LABYRINTH

Subbotin N.V.¹, Chudinova K.V.¹

¹) Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia

The paper considers the features of the implementation of the interaction of robots for passing an unfamiliar object such as a labyrinth based on a navigation system for reference beacons.

Одним из актуальных направлений в области робототехники является групповая робототехника, суть которого состоит в разработке и координации систем группы роботов. Коллективное поведение возникает в процессе деятельности роботов в группе и их взаимодействия с окружающим миром. Сложное организованное поведение всех членов группы может сформироваться в том числе за счет правил поведения индивида. Однако главным фактором является деятельность, возникающая между членами группы, которая, в свою очередь, создаёт систему постоянного обмена данными в условиях обратной связи, имеющая целью сделать поведение всей группы адекватным в определенных условиях [1].

Актуальной задачей робототехники является обеспечение навигации роботов в пространстве, то есть анализ обстановки и выбор маршрута движения без участия человека. В работах [2] и [3] представлены результаты по разработке робота, способного проходить односвязные лабиринты. Целью данной работы является разработка роботов, способных проходить лабиринт в группе. Без пересмотра уже имеющегося результаты групповое прохождение лабиринта не представляется возможным: роботы принимают друг друга за препятствие, в следствие чего начинают двигаться хаотично, отставая от группы или уходя в противоположную сторону от выхода. Для перемещения роботов группой необходимо, чтобы каждый член группы знал положение в пространстве не только свое, но и любого другого члена группы и держался на определенном расстоянии от них, в то же время двигаясь к выбранной цели. Рассмотрены наиболее распространенные варианты определения положения робота в пространстве, а именно: 1) одометрия; 2) инерциальные системы; 3) лидар; 4) оптическая система позиционирования; 5) система навигации по опорным маякам. Обобщены их достоинства и недостатки

в ракурсе решения поставленной задачи. В итоге предлагается использовать навигационную систему, имеющую в своем составе три опорных маяка, расположенных на некотором возвышении от стенок лабиринта. При выборе метода учитывались возможность использовать недорогое и распространённое оборудование, а также возможность произвольного размещения маяков. Анализ позиции робота осуществляется по методу «angle of arrival» (АОА). Определяются углы прихода сигналов от маяков, координаты которых известны, а затем вычисляются координаты положения робота [4,5].

Вращающийся ультразвуковой приемник, расположенный на оси сервопривода позволяет определить углы на маяки, с которых приходит сигнал, относительно своей оси. В процессе прохода лабиринта роботы поочередно обмениваются текущими координатами своего положения, в результате чего при приближении к препятствию задача определения «свой-чужой» будет решена и будет возможно движение группой без столкновений между собой.

В работе рассматриваются особенности реализации взаимодействия роботов для прохождения незнакомого объекта типа лабиринт на основе выбранных методов.

1. Карпов В.Э. Коллективное поведение. Желанное и действительное. // Современная мехатроника: Сб. научных трудов Всероссийской научной школы. - Орехово-Зуево, 2011. - С.35-51.
2. Субботин Н.В. Разработка мобильного робота для самостоятельного прохождения объекта типа лабиринт //Гагаринские чтения - 2021: Сборник тезисов докладов. - М.: Перо, 2021. - С. 739-740.
3. Субботин Н.В., Чудинова К.В. Конструктивные особенности мобильного робота на базе Arduino для самостоятельного прохождения односвязного лабиринта //Современные проблемы естествознания. Инженерный анализ объектов обеспечения авиации: Сборник статей по материалам VIII научно-практической конференции "Молодежные чтения, посвященные памяти Ю.А.Гагарина" 18-20 мая 2021 г. - Воронеж: ВУНЦ ВВС "ВВА", 2021. - С. 130-133.
4. Богомолова Е.С. Инженерная геодезия. Часть 1: Учебное пособие / Е.С. Богомолова и др. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2006.
5. Большаков В.Д. Справочник геодезиста. Книга 2 / В.Д. Большаков и др. - М.: Недра, 1985.

ИЗМЕРЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ В СТАЛИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ИТС С УЧЕТОМ ПОЛУЧЕННОГО ОПЫТА

Суханов А.Ю.¹

¹) ООО "ХитачиЭнерджи"

E-mail: aleksey.sukhanov@hitachienergy.com

REAL POWER TRANSFORMER LOSSES IN THE CORE. PROPOSAL FOR TCI OPTIMIZATION, BASED ON EXPERIENCE

Sukhanov A.Yu.¹

¹) Hitachi Energy Ltd.

There is not enough experience at present time to assess the real core steel losses of power transformers during tests at customer side, when nominal level test voltage is not available. Autor has spent steel losses assessment using test nominal voltage and low level test voltage.

Проведен комплекс измерений потерь в стали пяти силовых трансформаторов 125 МВА после 7 полных лет их эксплуатации. В результате проведенных работ заводом-изготовителем подтвержден заявленный уровень реальных потерь в режиме ХХ трансформатора после его эксплуатации в течение 8 лет, несмотря на динамику роста расчетных потерь по результатам измерений при малом напряжении.

Критерии оценки состояния магнитопровода трансформаторов по результатам измерения потерь ХХ при малом напряжении, разработанные для трансформаторов, изготовленных 30-50 лет назад не применимы для современных трансформаторов, изготовленных из электротехнической стали по современным интенсивным технологиям. Внести предложение по доработке критериев оценки ИТС в автоматизированной программе БИНГ-4.

Для оценки ИТС узла "магнитопровод" предложить внести изменения с целью учета результатов хроматографического анализа масла с целью выявления нагретых элементов конструкций, в том числе магнитопровода, и содержания фурановых производных в масле. Внести предложение считать нецелесообразным содержащиеся в ГОСТ 3484.1-88 критерии оценки реальных потерь в стали трансформатора по увеличению на 30% расчетных потерь относительно результатов подобных измерений в прошлый оценочный период. Установить четкие критерии оценки соответствия состояния магнитопровода с целью обеспечения нормальной эксплуатации силового трансформатора.



Рис. 1. Опыт потер в режиме Холостого Хода

*Осотову Вадиму Никифоровичу
Давиденко Ирине Васильевне*

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
2. ГОСТ 3484.1-88. Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний.
3. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования. Раздел 2. Методы контроля состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих и дугогасящих реакторов. – М.: ОРГРЭС, 1997 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Баранова А.А.¹, Суворова О.И.¹, Хохлов К.О.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: hausting0@gmail.com

LABORATORY MAGNETOTHERAPY UNIT

Baranova A.A.¹, Suvorova O.I.¹, Khokhlov K.O.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Mobile laboratory stand for the analysis of processes induced by a magnetic field at the cellular level. The stand control unit is an industrial product based on the AVR series microcontroller manufactured by Atmel, Arduino NANO. The parameters are controlled by a personal computer.

Магнитное поле определенных частот запускает такие физико-биологические процессы в опухолевых клетках, которые приводят к их гибели. Известно множество терапевтической магнитоимпульсной аппаратуры, которая используется в онкологии, физиотерапии и научных исследованиях. Одним из таких является стационарное магнитотерапевтическое устройство для воздействия низкочастотным магнитным полем на медикобиологические объекты, которое осуществляет эффективное локальное воздействие на биообъекты импульсным низкочастотным магнитным полем с регулируемыми в широком диапазоне параметрами [1]. Данное устройство имеет большие габариты, что делает его неудобным для анализа процессов, индуцируемых магнитным полем на клеточном уровне. В связи с этим на основе этой установки был разработан переносной малогабаритный лабораторный стенд, который позволяет проводить подобные исследования.

Данный стенд обладает рядом существенных недостатков, связанных с невозможностью задания параметров магнитного поля оператором, не обладающим навыками программирования, а также использованием макетной платы, вместо печатной, поэтому возникла необходимость его доработки [2]. Целью работы стала модернизация лабораторного стенда магнитотерапевтической установки. Для этого реализованы следующие задачи: разработка печатной платы лабораторного стенда, разработка программы и интерфейса для удобного задания параметров магнитного поля оператором.

Стенд содержит два соленоида, в пространство между которыми помещается исследуемый объект, блок управления, который выполняет функцию формирования импульсов тока в соленоидах, и, соответственно, импульсов магнитного поля в пространстве между катушками индуктивности, блока питания и подключается к ПК, с помощью которого выполняется выбор режима работы. В качестве блока управления выступает промышленное изделие на базе микроконтроллера серии

AVR, производства компании Atmel, Arduino NANO. В качестве питания используется промышленное стандартное напряжение сети 220 В 50 Гц, которое понижается при помощи трансформатора. Предусмотрен выпрямитель с фильтром для сглаживания пульсации напряжения, подаваемого на схему. Напряжение питания соленоидов составляет 80 В, что достаточно для формирования резкого фронта тока и позволяет использовать низковольтные ключевые элементы с приемлемыми характеристиками. Кроме того, трансформатор обеспечивает гальваническую развязку в установке, что делает ее безопасной для работы в лабораторных условиях.

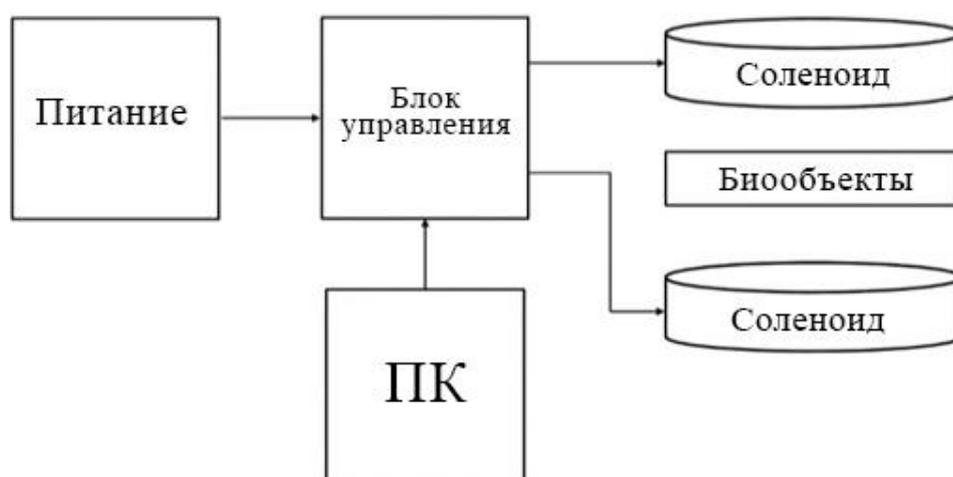


Рис. 1. Блок-схема станда МТУ

В данном лабораторном стенде магнитотерапевтического устройства формируемые в индукторах импульсы тока могут быть различной полярности и, за счет высокочастотного способа формирования импульсов, обладают коротким временем фронта и спада.

С использованием лабораторного станда магнитотерапевтического устройства будут получены, обобщены и систематизированы данные о влиянии постоянного и переменного импульсного магнитного поля заданных характеристик на клеточные культуры.

1. Пат. 2653638 Российская Федерация, МПК А61N 2/00. Стационарное устройство для воздействия низкочастотным магнитным полем на медико-биологические объекты, система управления и формирования импульсов, индуктор магнитного поля и система механического привода стационарного устройства / Волобуев А. П., Волобуев П. В., Новоселов В. П. и др.; заявитель и патентообладатель Волобуев А. П., Усков Е. Д. – № 2017120087; заявл. 30.05.17; опубл. 11.05.2018, Бюл. №14. – 22 с.
2. Силина Е.С. Влияние постоянного и переменного магнитного поля на клеточную культуру: магистерская диссертация. Екатеринбург: УрФУ, кафедра ЭФ 2021, 46 с.

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЗАПУСКА ГАЗОРАЗРЯДНОГО ГЕНЕРАТОРА ПОТОКА ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ

Торопов Ф.А.^{1,2}, Щербинин С.В.^{1,2}, Бекетов И.В.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: Fedor.Toropov@urfu.me

HIGH-VOLTAGE PULSE GENERATOR FOR STARTING A GAS-DISCHARGE GENERATOR OF METAL PARTICLE FLOW

Toropov F.A.^{1,2}, Shcherbinin S.V.^{1,2}, Beketov I.V.²

¹⁾ Ural Federal University, Russia, Yekaterinburg

²⁾ Institute of Electrophysics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The report presents the operation of the generator based on a single-stage asymmetrical half-bridge converter. The features of the circuitry of a pulse generator of microsecond duration with an amplitude of up to 20 kV, following with a frequency of up to 5 kHz, are considered.

Метод получения наночастиц с помощью электрических разрядов в газовой камере является довольно новым и перспективным, поскольку позволяет работать на частотах вплоть до десятков килогерц. Формирование высоковольтных разрядов на высокой частоте требует не только применения мощных импульсных устройств, но и обеспечения высокой надежности формирователя, подключенного к разрядному промежутку. В докладе рассмотрена работа формирователя на основе одноктного асимметричного полумостового преобразователя. Приведены преимущества полумостового преобразователя по сравнению с другими одноктактными схемами. Расчетные параметры схемы сравниваются с данными схемотехнического моделирования, произведенного в программе Micro-Cap, а также с результатами измерений и осциллограммами токов и напряжений, полученными в результате работы формирователя. Рассмотрены особенности конструкции выходного высоковольтного трансформатора и обостряющего разрядника, позволяющих формировать импульсы микросекундной длительности амплитудой до 20 кВ, следующих с частотой до 5 кГц.

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. / М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 416 с.
2. Высокопроизводительное получение наноразмерных частиц в импульсно-периодическом многоазорном газоразрядном генераторе / В.В. Иванов, А.А. Ефимов, Д.А. Мыльников, А.А. Лизунова, А.В. Багазеев, И.В. Бекетов, С.В. Щербинин // Письма в ЖТФ. — 2016. — № 16. — С. 95-101.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМАЯ НАГРУЗКА

Унгвицкий Г.И.¹, Моисейкин Е.В.¹, Устьянцев Ю.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: u2012gleba@gmail.com

THE PROGRAM CONTROLLED ELECTRONIC LOAD

Ungvitskii G.I.¹, Moiseykin E.V.¹, Ustiantsev U.G.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The Program controlled electronic load has been developed. The device consists of the load parameter stabilizer, the control unit, the load parameter meter, the temperature control unit and an LCD with a keyboard.

Радиоэлектронная аппаратура не может работать без источника электропитания. Перед использованием источника питания важно позаботиться о том, чтобы заявленные параметры соответствовали действительности и характеристики блока питания при различных параметрах нагрузки удовлетворяли необходимым требованиям. Для решения таких задач применяют устройства, называемые электронной нагрузкой.

Электронная нагрузка – это прибор, предназначенный для имитации различных режимов работы реальной электрической нагрузки. При этом электронная нагрузка может работать в нескольких режимах потребления, таких как режим постоянного сопротивления, тока, мощности или напряжения. Также большинство моделей электронных нагрузок поддерживают режим изменения характеристик по закону, заданному пользователем, что позволяет реализовать сложные алгоритмы тестов, максимально соответствующие работе проверяемых устройств в реальных условиях.

В результате анализа современного состояния и тенденций развития электрических источников электропитания, с учетом параметров оборудования, для которого предполагается использовать электронную нагрузку, была поставлена задача выполнить проектирование и изготовление электронной программно-управляемой нагрузки со следующими характеристиками: для постоянного напряжения $\pm 50\text{В}$ и $\pm 50\text{А}$, для переменного – амплитудой до 50В и 50А . Кроме того, необходимо было реализовать возможность выбора режима работы и задание значений параметров нагрузки.

В результате проделанной работы был изготовлен экспериментальный образец программно-управляемой нагрузки, в составе которого присутствуют стабилизатор, измеритель параметров протекающего тока и напряжения, а также ряд других вспомогательных узлов (рисунок 1). Измеритель тока и напряжения предназначен для определения текущих значений тока, напряжения и, соответственно,

мощности и сопротивления. Информация о состоянии нагрузки отображается на индикаторе, а также может быть передана в компьютер.

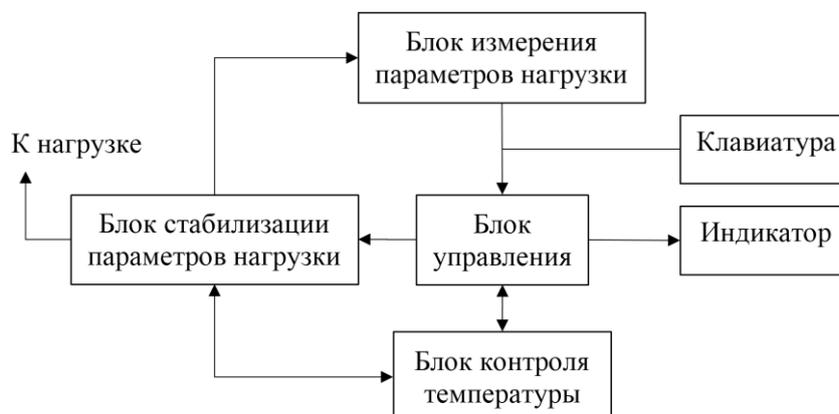


Рис. 1. Рисунок 1 – Структурная схема модульного многодиапазонного источника питания с защитой по току

Принцип работы электронной программно-управляемой нагрузки следующий: оператор с помощью клавиатуры и индикатора вводит желаемые параметры работы устройства, в результате чего микроконтроллер (МК) формирует команду блоку управления, который устанавливает заданный режим работы и величину контролируемого параметра на блоке стабилизации параметров нагрузки. Блок измерения параметров нагрузки формирует величины, пропорциональные напряжению и току в цепи нагрузки и передает их в встроенный аналогово-цифровой преобразователь МК. Датчик температуры измеряет и передает информацию о текущем состоянии блока стабилизации параметров нагрузки и, в случае его нагрева, МК включает охлаждение, при критических температурах нагрузка отключается.

Созданный экспериментальный образец программно-управляемой нагрузки реализует режимы стабилизации тока, напряжения, сопротивления или мощности, с указанными в техническом задании диапазонами напряжения и тока.

1. Кофлин Р., Дрисколл Ф. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. -: Мир, 1979
2. Хоровиц П., Хилл У., Искусство схемотехники: В 3 тома: Т.1. Пер. с англ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Мир (1993).
3. Дедюхин А.А., Современные электронные нагрузки и особенности их использования для тестирования источников питания, Мир измерений. 2008. № 5. С. 52-53.
4. Гусев В.Г., Нефедьев А.И. Современные устройства для тестирования импульсных блоков питания, Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2020. № 2 (31). С. 50-53.

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОНЦЕНТРАЦИЕЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И МЕТЕОПАРАМЕТРАМИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА

Васильева Д.Е.¹, Гуляев Е.А.^{1,2}, Маркелов Ю.И.^{1,2}, Поддубный В.А.^{1,2},
Щелканов А.А.^{1,2}, Гадельшин В.М.¹

¹) Кафедра технической физики, Физико-технологический институт УрФУ,
Екатеринбург, Россия

²) Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
E-mail: daria_v00@mail.ru

DEVELOPMENT OF A MEASURING COMPLEX TO MONITOR THE CONCENTRATION OF ATMOSPHERIC AEROSOL AND METEOROLOGICAL PARAMETERS IN THE SURFACE AIR

Vasileva D.E.¹, Gulyaev E.A.^{1,2}, Markelov Y.I.^{1,2}, Poddubny V.A.^{1,2},
Shchelkanov A.A.^{1,2}, Gadelshin V.M.¹

¹) Dept. Technical Physics, Institute of Physics and Technology UrFU, Yekaterinburg,
Russia

²) Institute of Industrial Ecology UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The development of a measuring complex to monitor the concentration of atmospheric aerosol PM_{2.5} and meteorological parameters of the surface air is presented. The main components of the complex are discussed, the concept of a network for environmental studies is introduced. Some results of aerosol.

Циклические измерения содержания аэрозольных микрочастиц в приземном слое воздуха населённых пунктов являются важной задачей, поскольку аэрозоли способны оказывать пагубное влияние на здоровье живых организмов. Особое внимание уделяется взвешенным частицам с характерным аэродинамическим диаметром до 2,5 мкм – PM_{2.5} [1]. Частицы такого размера легко проникают в органы дыхания, преодолевают тканевый барьер и распространяются с кровью по телу, что может снизить качество жизни организма и вызвать различные, порой неизлечимые, заболевания [2]. По этой причине во всём мире ведутся наблюдения за качеством воздуха в населённых пунктах, чтобы обеспечить безопасность жителей путём контроля за концентрацией аэрозолей в атмосфере.

Одним из основных направлений деятельности Института пром. экологии УрО РАН является наблюдение за атмосферными примесями в г. Екатеринбурге. Проводятся круглогодичные измерения содержания аэрозоля PM_{2.5} в приземном слое воздуха по принципу «город-фон»: на территории Института в Екатеринбурге («город») и на площадке Коуровской астрономической обсерватории («фон») [3]. Однако, результаты измерения в единственном городском пункте дают приблизительную оценку качества воздуха и представляют ценность только

в сравнении с результатами фоновых измерений, так как не представляется возможным детализировать имеющуюся информацию на конкретный район города.

Для изменения данной ситуации решено создать новые пункты измерения в различных районах города, позволяющие расширить область атмосферных наблюдений. Предпринята разработка информационной системы на основе сенсоров Panasonic PM2.5 [4], результаты измерения которых будут собраны в единую базу данных для дальнейшей обработки и визуализации. В основе новых пунктов измерения находится микрокомпьютер Raspberry Pi 3B+, позволяющий сделать конечное устройство компактным и автономным. Кроме того, планируется использовать датчики метеопараметров, необходимые для углубленного анализа концентрации мелкодисперсного аэрозоля в зависимости от характеристик окружающей среды. [5]. В обозримом будущем будет опробован метод измерения содержания аэрозольных микрочастиц на различных высотах с помощью беспилотного летательного аппарата, что также необходимо для создания более совершенных моделей распределения аэрозоля в пространстве.

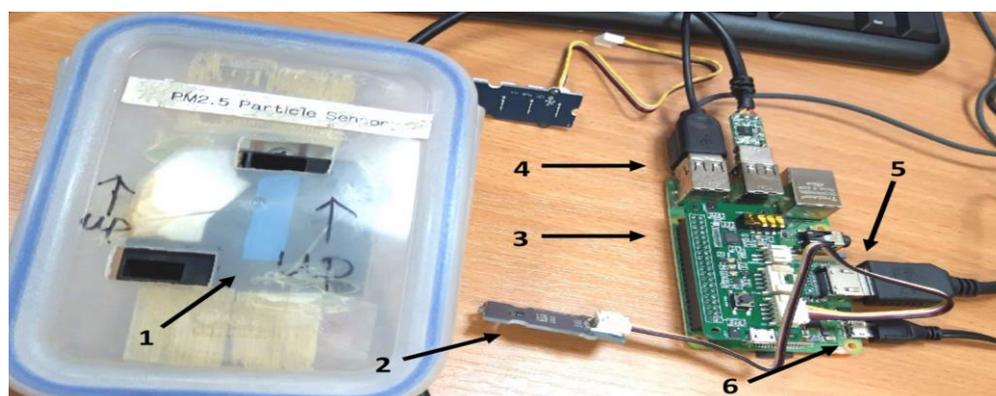


Рис. 1. Готовый прототип устройства. Цифрами обозначены: 1 – сенсор PM2.5; 2 – датчик температуры/влажности; 3 – микрокомпьютер Raspberry pi 3B+; 4,5 – порты периферийной аппаратуры; 6 – порт питания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50138.

1. Сафронов А. С., Диссертация д.т.н. 05.11.13. Барнаул (2011)
2. Дудорова Н. В. и др., Сборник тезисов 28-ой конф. «Аэрозоли Сибири», 48 (2021)
3. Щелканов А. А. и др., Сборник статей 7-ой межд. конф. «Физика. Технологии. Инновации», 268 (2020)
4. Nakayama T. et al., Aerosol science and technology, 52, 2 (2018)
5. Luzhetskaya A. P. et al., Proc. SPIE 11916, 119164A (2021)

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СТЫКОВЫХ ШВОВ В ТОНКИХ ПЛАСТИНАХ ВОЛНАМИ ЛЭМБА

Васильев А.В.¹, Бирюков Д.Ю.^{1,2}, Зацепин А.Ф.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: klokova.m.09@mail.ru

CONTROLLING METHOD OF BUTT WELDS IN THIN PLATES BY LAMB WAVES

Vasiliev A.V.¹, Biryukov D.Yu.^{1,2}, Zatsepin A.F.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

Studies of the speed dependence of ultrasonic waves on the profiles of welded joints. Development of a reproducible technique for controlling thin plates with Lamb waves. The results showed that the speed of sound significantly deviates in the area of the defective weld.

Актуальность совершенствования контроля качества тонких сварных соединений определяется их меньшей прочностью по сравнению с толстыми изделиями и сложностью возбуждения бегущих волн, на которые рассчитано большинство методов ультразвукового контроля. Для контроля тонких изделий в большей степени подходят волны Лэмба. Такие волны связаны с волноводным механизмом распространения ультразвуковых колебаний и могут существовать в пластинах толщиной от 0,15 до 3,5 мм [1].

Скорость волн Лэмба зависит от множества факторов: скорости звука в материале пластины, частоты колебаний, толщины слоя, в том числе и от дефектности материала, в котором такие волны распространяются [2]. В этой связи целью данной работы стала отработка методики контроля стыковых швов в тонких пластинах с помощью параметров волн Лэмба таких как скорость и амплитуда. Суть методики состоит в измерении времени прохождения волн Лэмба через сварной шов для определения зависимости их фазовых скоростей от координаты ультразвукового преобразователя и последующего выявления дефектных областей сварного шва.

Для проведения исследований были использованы два образца пластин со стыковыми швами различной дефектности. Толщина пластин составляла 0.7 мм, а линейные размеры 93 на 99 мм. Область термического изменения материала вблизи дефектного сварного шва имела ширину 23 мм.

Для определения угла призмы и рабочей частоты пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) были использованы дисперсионные зависимости волн Лэмба для стали [3]. Исходя из дисперсионных кривых по методике, описанной в [2, 4]

были выбраны частота (1.25 МГц) и угол ввода (37°) ультразвуковых колебаний, при которых в пластине толщиной 0.7 мм возникает нулевая симметричная мода волны Лэмба [4]. По данным расчётов наилучшим датчиком для возбуждения волн Лэмба стал наклонный пьезоэлектрический преобразователь П121-1.25-30.

При помощи данного преобразователя были проведены измерения на образцах с качественным и дефектным сварными швами и получены зависимости скорости звука и амплитуды волн Лэмба в различных направлениях сварного шва. Как видно из рис. 1а фазовая скорость волн Лэмба, прошедших поперёк дефектного шва, заметно снижается относительно скорости волн в качественном стыковом соединении.

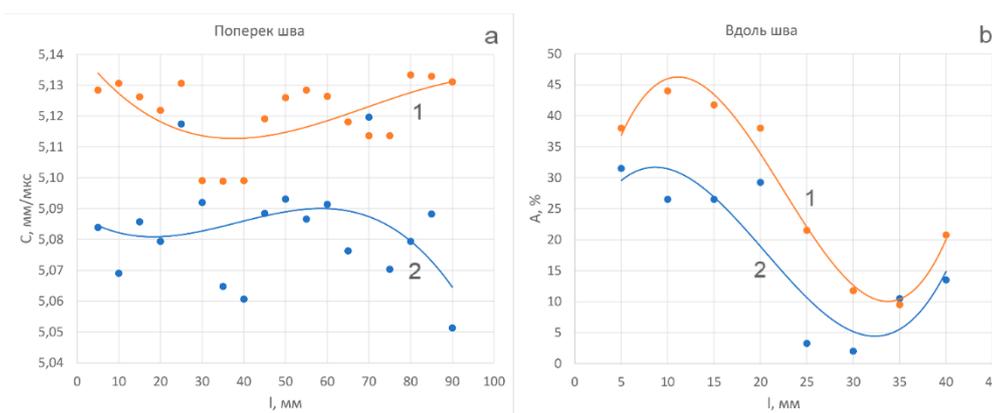


Рис. 1. Графики зависимости фазовой скорости (а) и амплитуды (б) волн Лэмба, измеренных с шагом в 5 мм при прохождении поперёк (а) и вдоль (б) качественного (1) и дефектного (2) сварного соединения.

Профиль распределения амплитуды волн Лэмба, прошедших вдоль сварных швов (рис. 1б), показывает, что как в качественном, так и в дефектном сварных швах амплитуда снижается. Однако в дефектном сварном соединении снижается заметно больше. Области термического искажения материала вблизи дефектного шва также отличаются заниженными значениями амплитуды.

Таким образом выполненные исследования показывают, что скорость и амплитуда волн Лэмба являются параметрами чувствительными к состоянию сварных швов и могут быть использованы для контроля их дефектности.

1. Гуревич С. Ю., Петров Ю. В., Божко В. Ф., Вестник ЮУрГУ, №7, 86, (2006)
2. Зацепин А. Ф., Акустический контроль. В 2 ч. Ч 1. Введение в физику акустического контроля, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, (2005)
3. Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Потапов А. И., Акустические методы контроля. Книга 2, "Высшая школа", (1991)
4. Вайншток И. С., Герасимов В. Г., Гурвич А. К., Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х кн., "Машиностроение", (1976).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Артамонов Е.В.¹, Костив В.М.¹, Воронин В.В.¹

¹) Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
E-mail: vladislavalbus@gmail.com

RESEARCH ON VIBRATION PARAMETERS IN STAINLESS STEEL TURNING

Artamonov E.V.¹, Kostiv V.M.¹, Voronin V.V.¹

¹) Tyumen Industrial University, Tyumen

The paper presents the results of experiments to find the relationship between the parameters of the main component of vibration acceleration in turning stainless steel 12X18H10T in order to determine the optimal cutting speed without the use of time-consuming classic resistance tests.

При точении различных материалов необходимо учитывать их рабочий диапазон температур. При разработке сталей и сплавов рассчитывается температура максимальной стойкости материала, например, жаропрочные стали созданы выдерживать высокие температуры, и применяться они будут, очевидно, при высоких температурах, следовательно, стойкость при низких температурах для них не является важной характеристикой. Высокая устойчивость материала в одних условиях и низкая – в других, подсказывает, что эксплуатировать материал необходимо в первом случае, а обрабатывать во втором. Процесс формообразования резанием следует проводить при температуре минимальной стойкости материала и максимальной работоспособности инструмента. При выполнении условия равенства температур максимальной обрабатываемости материала и максимальной работоспособности режущего инструмента ожидается наибольший непрерывный путь резания. Поиск оптимальных температур осложнен рядом факторов, в том числе, трудоёмкостью экспериментов и необходимостью модернизации оборудования для измерения и контроля температуры в зоне контакта режущего инструмента и заготовки в процессе резания.

Поиск косвенных методов контроля температуры в первую очередь приводит к тому, что наибольшее влияние на величину нагрева в зоне резания оказывает скорость резания, в меньшей степени, подача и еще меньше – глубина резания. [1]

Однако, прямое измерение скорости резания невозможно, ее величина рассчитывается косвенно, исходя из оборотной частоты и геометрических параметров заготовки. В области экспериментального исследования процесса резания наиболее распространено измерение силы резания, которое осуществляется чаще всего электрическими динамометрами. Однако, для установки

динамометра необходимо внести существенные конструктивные изменения в технологическую систему станка, а в случаях станков с ЧПУ установка динамометра невозможна из-за конструкции барабана резцедержателя.

Получение оперативных данных о процессе резания возможно посредством анализа спектра виброускорения – параметра, прямо связанного с силой резания, как причина и следствие. Метод, основанный на анализе вибрации лишен недостатков стойкостных испытаний и динамометрии. Адекватность полученных данных подтверждается сравнением с оптимальной температурой резания по данным Е.В. Артамонова – 780 °С [2] и оптимальной скоростью резания по данным А.Д. Макарова – свыше 140 м/мин [1].

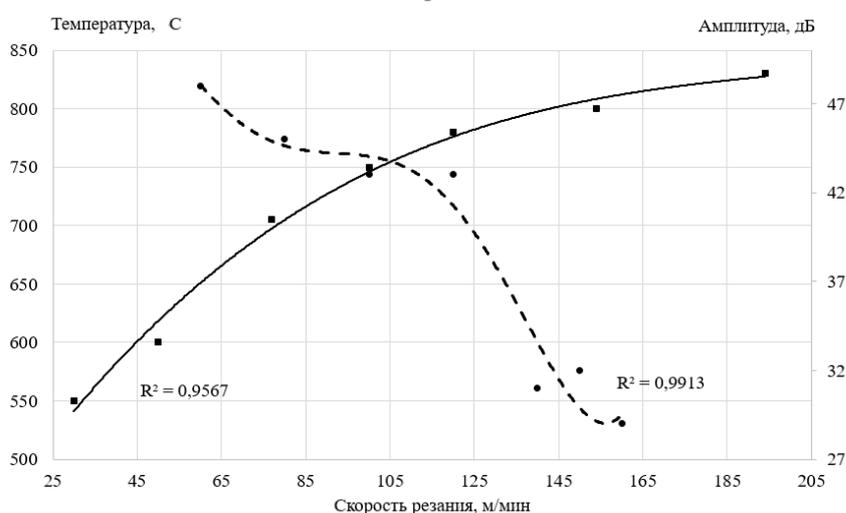


Рис. 1. Зависимость температуры в зоне резания и амплитуды спектра вибрации от скорости резания для стали 12X18H10T.

На рисунке показаны зависимости температуры в зоне резания и амплитуды спектра вибрации от скорости резания, где видно значительное снижение амплитуды виброускорения и достижения ей минимального значения при скоростях выше 140 м/мин. Таким образом, экспериментально подтверждена возможность установления оптимальной скорости резания по вибрации режущего инструмента на примере стали 12X18H10T.

1. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. Москва: Машиностроение, 1976. 278 с.
2. Артамонов Е. В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. Тюмень: Вектор Бук, 2003. 190 с. ISBN 5-88465-416-2.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Зиядиев Р.Р.¹, Масленникова Ю.С.¹, Шерстюков О.Н.¹

¹Казанский федеральный университет
E-mail: Ziyadiev96@mail.ru

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR INCREASING THE THROUGHPUT OF A GEOPHYSICAL CABLE

Ziyadiev R.R.¹, Maslennikova Y.S.¹, Sherstyukov O.N.¹

¹Kazan Federal University

Intensive development of downhole tools requires higher data rates to communicate with the surface. High cable resistance and harsh environmental conditions prevent the use of standard transceivers. This project is devoted to the development of a data transmission system over a geophysical cable.

Каротажный кабель вот уже много десятилетий широко применяется при геофизических исследованиях скважин, так как позволяет в режиме реального времени осуществлять контроль за скважинной измерительной аппаратурой и производить оперативный анализ регистрируемых данных. Однако развитие геофизических технологий, в частности, широкое применение метода спектральной шумометрии, требует существенного увеличения пропускной способности каротажного кабеля и высокой помехоустойчивости при сохранении возможности использования в скважинных условиях (при температуре окружающей среды до 150°C). Высокое сопротивление кабеля и жесткие внешние условия создают ограничивающую проблему для стандартных приемопередатчиков. Целью данной работы является увеличение скорости передачи данных по одножильному геофизическому кабелю, при помощи QAM модуляции (скорость передачи по данному кабелю составляет около 30 кбит/с).

В ходе выполнения работы проведен анализ электрических характеристик геофизического кабеля, определена теоретически достижимая скорость передачи данных. По теореме Шеннона-Хартли максимальная скорость, с которой информация может быть передана по 8-километровому, одножильному геофизическому кабелю, с полосой пропускания 3.5кГц, равна 40 кбит/с. Для увеличения скорости передачи данных необходимо при достаточно высоком отношении сигнал/шум компенсировать амплитудные искажения в кабеле. Имея заранее известную АЧХ кабеля, можно предсказать сигнал таким образом, что полоса пропускания системы будет увеличена. В нашем случае удалось расширить полосу пропускания до 70 кГц, что в свою очередь позволило сдвинуть теоретическую максимальную скорость до 370 кбит/с.

Таким образом, схему передачи данных по проводному кабелю с использованием QAM модуляции, можно представить в следующем порядке. Данные, получаемые с датчиков скважинных приборов кодируются в соответствии с порядком QAM в модуляторе, затем QAM символы проходят через фильтр приподнятого косинуса, отфильтрованные данные подвергаются процедуре предискажения для компенсации амплитудных искажений, после этого данные через цифро-аналоговый преобразователь поступают в кабель. На обратной стороне кабеля данные оцифровываются и проходят через согласованный фильтр приподнятого косинуса и после декодирования QAM мы получаем исходные данные.

Достижение поставленной цели потребовало решение задачи по разработке алгоритма определения и компенсации амплитудных искажений в кабеле, выполнен ряд тестов для проверки корректности его работы. Алгоритм успешно протестирован на реальном геофизическом кабеле. Показано, что скорость передачи данных увеличена в 9 раз и составила 280 кбит/с. При этом вся аппаратная часть комплекса полностью удовлетворяет всем требованиям для ее эксплуатации в скважинных условиях.

1. Hongwei Zhao, Kezhu Song, Kehan Li, Chuan Wu, Zhuo Chen. 2021. “A High-Speed Well Logging Telemetry System Based on Low-Power FPGA” DOI 10.1109/ACCESS.2021.3049799
2. Qian Cui, Kai Shuang. 2017. “Optimal Design Methodology for Frequency Compensation Circuits in Logging Cable Transmission Channel” DOI: 10.1142/S0218126618501037
3. А.Б. Сергиенко Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко — СПб.: Питер, 2002. - 608 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.

СЕКЦИЯ 4
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВАЛИДАЦИЯ CFD-МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ БАРБОТАЖНОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ CO₂

Кирьянов В.А.¹, Абаимов Н.А.¹, Рыжков А.Ф.¹

¹) Уральский Федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина
E-mail: n.a.abaimov@urfu.ru

NUMERICAL MODELING AND VALIDATION OF THE CFD MODEL OF BUBBLE COLUMN HYDRODYNAMICS FOR CO₂ MINERALIZATION

Kiryaynov V.A.¹, Abaimov N.A.¹, Ryzhkov A.F.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

The CFD-model of a bubble column (water-air) was validated using published experimental data obtained on a cylindrical installation. The results of the validation showed the satisfactory applicability of the model for engineering calculations.

На сегодняшний день Свердловская область является крупным индустриальным регионом, производящим большое количество промышленных отходов. Кроме того, наличие большого числа тепловых электрических станций на органическом топливе приводит к существенным выбросам CO₂, на борьбу с которым направлены современные экологические нормы. Обе эти проблемы способны решить перспективные химические технологии, одной из которых является ускоренная карбонизация щелочных отходов. Данная технология позволяет в рамках одного комплексного технологического процесса уловить CO₂ из газообразных продуктов сгорания органического топлива (дымовых газов) и утилизировать твёрдые и жидкие щелочные отходы (золшлаки металлургии, энергетики, сточные воды промышленных предприятий) с получением товарной продукции.

Технически реализовать такой процесс возможно в колонне, наполненной суспензией из твёрдых и жидких щелочных отходов, через которую барботируют дымовые газы, содержащие CO₂.

Из-за малоизученности процесса минерализации CO₂ в барботажных колоннах существует необходимость в создании численной модели подобных установок. Метод вычислительной гидродинамики (computational fluid dynamics, CFD) позволяет моделировать не только гидродинамику, но и термохимические процессы в барботажных колоннах. Разработка любой CFD-модели связана с поочерёдной валидацией отдельных её элементов (подмоделей), начиная с гидродинамики.

В качестве экспериментальных данных для валидации использованы результаты эксперимента из работы [1]. Колонна представляет из себя цилиндр с высотой слоя воды 1 м и диаметром 0,26 м. Снизу цилиндра через газовый

распределитель подаётся воздух, который затем барботирует через слой воды, а после этого выходит из верхнего торца установки.

Для ускорения расчёта в данной работе сетка установки представляется псевдодвухмерной, то есть одно из поперечных измерений не учитывается. Такое упрощение возможно благодаря осесимметричности геометрии установки. Псевдодвухмерная сетка имеет толщину в 1 расчётный элемент по одной из поперечных координат. Сетка структурированная, состоит из гексаэдров одного размера, построена с помощью утилиты blockMesh. Такой подход часто встречается в литературе и неплохо себя зарекомендовал у исследователей [2].

Моделирование выполнено в программе OpenFOAM 8 с помощью решателя multiphaseEulerFoam. Используемая модель основана на Эйлерово-Эйлеровом подходе, то есть для описания поведения обеих жидкостей (фаз) применяются уравнения Эйлера. Обе фазы непрерывны и взаимопроникаемы, что описывается осреднёнными уравнениями.

Результаты валидации показали удовлетворительную применимость модели для инженерных расчётов. Проведён анализ распределений скоростей воздуха, воды и давления в продольном сечении барботажной колонны.

1. Kumar S.B., Moslemian D., Dudukovic M.P., AIChE J, 43, 1414–1425, (1997)
2. Askari E. Proulx P., Passalacqua A., ChemEngineering, 2, 8, (2018)

**КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
«ОДНОСТЕННАЯ УГЛЕРОДНАЯ НАНОТРУБКА – НЕОРГАНИЧЕСКИЙ
ИНТЕРКАЛЯНТ»**

Анучин Н.М.¹, Еняшин А.Н.¹

¹) ИХТТ УрО РАН

E-mail: niko-anuchin@yandex.ru

**QUANTUM CHEMISTRY INVESTIGATION OF THE MECHANICAL
PROPERTIES OF COMPOSITES OF SINGLE-WALLED CARBON
NANOTUBES WITH INORGANIC INTERCALANTS**

Anuchin N.M.¹, Enyashin A.N.¹

¹) ISSC UB RAS

Mechanical properties of composites MX@SWCNT (MX = NaI, KCl, KI) – Young's and shear moduli, tensile strength - were studied using two levels of the density functional theory.

Свойства углеродных наноструктур вызывают значительный интерес. Сравнительно новым классом подобных материалов являются эндоэдральные комплексы «углеродная нанотрубка – неорганический интеркалянт». Несмотря на значительный прогресс в понимании механизмов образования, электронных и структурных свойств подобных композитов с ионными соединениями, как теоретические, так и экспериментальные сведения о модуляции механических свойств нанотрубок в составе таких комплексов отсутствуют. В настоящей работе теоретически рассмотрено деформационное поведение представительного класса эндоэдральных комплексов одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) с галогенидами KI, KCl, NaI. С использованием метода функционала электронной плотности в зонном варианте делается прогноз величин модуля Юнга наноструктур, как функции хиральности ОУНТ и наличия точечных дефектов в решётке интеркалянта. В кластерном варианте методом теории функционала плотности в приближении сильной связи на примере композитов NaI@ОУНТ(14,0), NaI@ОУНТ(15,0) и NaI@ОУНТ(8,8) рассмотрены деформации растяжения, изгиба, кручения: рассчитаны модули Юнга, модули сдвига и пределы прочности.

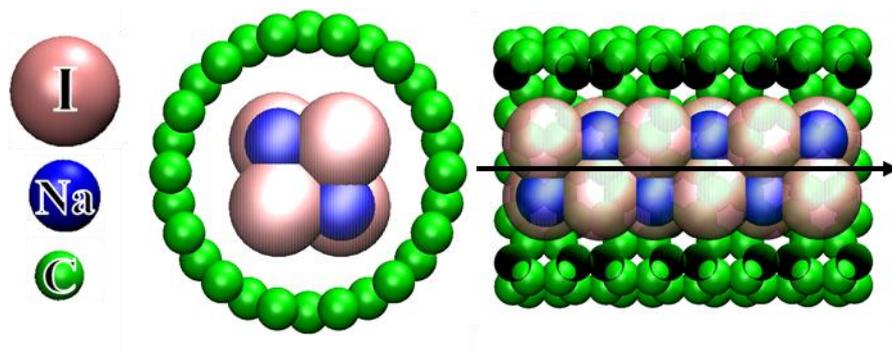


Рис. 1. Исследуемая система на примере композита NaI@ОУНТ(14;0)

ICP-OES ELEMENTAL VARIATION ON BOTTLED DRINKING WATER

Awad H. A.¹, Zakaly H. M.^{1,2}, El-Taher A.¹

¹) Faculty of Sciences Al-Azher University, Egypt

²) Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, Yekaterinburg

E-mail: hamdiawaad@gmail.com

The work describes ICP-OES elemental variation (Be, B, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Sn, and Pb) in bottled drinking water.

The concentration of several inorganic metals is a limiting factor for drinking water quality, owing to their negative health consequences. Chronic diseases and the geologic environment have a connection. The geochemical environment is, without a doubt, a substantial contributor to serious health problems. Many people have suffered disease because of these heavy elements that are concentrated in drinking water in the past 20 years, which has prompted extensive research on the link between drinking water and chronic disease. The chemistry of drinking water is often identified as a contributing factor to a variety of diseases. This fact necessitates its supervision and oversight. In Saudi Arabia's Al Qassim province, the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) facility is being utilized to quantify nineteen components in commercially bottled drinking water. A fully quantitative method was applied to check the concentration of nineteen elements (Be, B, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Sn, and Pb) on the bottled water samples. The aim of the work is to check the quality of the samples under investigation.

Special thanks for stuff in Faculty of Sciences , Al-azhar university.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ Ce И Sn МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРЕХМАРШРУТНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Бакшеев Е.О.^{1,2}, Аликин Е.А.¹, Денисов С.П.¹, Машковцев М.А.²

¹) ООО Экоальянс

²) Уральский Федеральный Университет

E-mail: baksheev@eco-nu.ru

SYNTHESIS AND STUDY OF COMPLEX OXIDE SYSTEMS BASED ON Ce AND Sn MODIFIED WITH TRANSITION METALS FOR APPLICATION IN THREE-WAY CATALYSTS

Baksheev E.O.^{1,2}, Alikin E.A.¹, Denisov S.P.¹, Mashkovtsev M.A.²

¹) Ecoalliance LLC

²) Ural Federal University

The work is devoted to the study of promising oxide systems with oxygen capacity. The possibility of partial replacement of platinum group metals by these oxide systems without loss of exhaust gas purification efficiency was investigated.

Задача снижения содержания платиновых металлов (ПМ) в составе покрытий катализаторов очистки выхлопных газов автомобилей не теряет своей актуальности. Одним из перспективных решений является частичное замещение ПМ на сложные оксидные системы, обладающие способностью высвобождать и поглощать кислород (Oxygen Storage Capacity - OSC), на основе церия, циркония и переходных металлов, таких как Cu и Mn. [1] Также в работах [2, 3, 4] сообщается, что при введении Sn в состав OSC-материалов оказывает положительное влияние на характеристики катализаторов.

Целью работы являлось исследование перспективных оксидных систем на основе Ce и Sn, обладающих кислородной емкостью, а также проверка возможности частичной замены ПМ без потери эффективности очистки выхлопных газов. Были синтезированы образцы сложных оксидов на основе Ce и Sn модифицированные Cu или Mn методом контролируемого двухструйного осаждения с применением гидротермальной обработки. Проведено исследование физико-химических свойств полученных образцов твердых растворов, а также проведены сравнительные испытания образцов блочных катализаторов с традиционным покрытием, содержащим полноценную загрузку ПМ и покрытием с частичной заменой ПМ на сложные оксидные системы.

В ходе работы показано, что материал на основе Ce и Sn обладает приемлемой термостабильностью (23,4 м²/г после старения при 900 °С в течение 4-х часов), однако поверхностное модифицирование Cu или Mn привело к существенному

снижению удельной поверхности. При замещении в трехмаршрутном катализаторе Pd-содержащего компонента на оксидную систему на основе Ce и Sn, в том числе модифицированную Cu и Mn параметры каталитической активности в свежем состоянии практически не отличаются, однако в ходе старения Pd-содержащий катализатор оказался существенно активнее в реакции окисления углеводородов. Стоит отметить, что эффективность всех образцов катализаторов в реакциях окисления CO и восстановления NO_x сохраняется на высоком уровне. Таким образом, ввиду низкой термической стабильности систем на основе переходных металлов, целесообразно использовать данные системы только в составе покрытий, располагающихся в подпольных катализаторах.

1. Kaplin I.Y., Lokteva E.S., et.al. // Efficiency of manganese modified CTAB-templated ceria-zirconia catalysts in total CO oxidation // *App.Surf.Sci.* V. 485, pp 432-440., 2019// <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.206>
2. Gupta A., Hegde M. S., et.al. // Structural investigation of activated lattice oxygen in Ce_{1-x}Sn_xO₂ and Ce_{1-x-y}Sn_xPd_yO_{2-δ} by EXAFS and DFT calculation // *Chem. Mater.* V. 21, pp 5836-5847, 2009// DOI:10.1021/cm902466p
3. A.P. Maciel, P.N. Lisboa-Filho, et.al. // Microstructural and morphological analysis of pure and Ce-doped tin dioxide nanoparticles // *Ceram. Soc.* V. 23, pp 707-713, 2003 // DOI: 10.1016/S0955-2219(02)00190-5
4. E.M.Slavinskaya, A.V.Zadesenets et.al. // Thermal activation of Pd/CeO₂-SnO₂ catalysts for low-temperature CO oxidation // *App.Catal.Env.B* V. 277, p. 119275, 2020 // <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.119275>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СУСПЕНЗИИ НА СВОЙСТВА ЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ХОДЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Баженова Е.С.¹, Машковцев М.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: elizbag@mail.ru

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SUSPENSION STIRRING RATE ON THE PROPERTIES OF ZIRCONIUM DIOXIDE PARTICLES BY CONTROLLED DOUBLE-JET PRECIPITATION

Bazhenova E.S.¹, Mashkovtsev M.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work is aimed at studying the effect of the suspension stirring rate on the properties of zirconium dioxide particles. It was shown that the stirring rate affects the morphology and particle size distribution of the obtained oxides.

В настоящее время материалы на основе диоксида циркония широко применяются для создания термобарьерных покрытий (ТБП). Такие покрытия должны обладать следующими свойствами: тугоплавкость, химическая устойчивость, хорошая механическая прочность, термическая стабильность, низкий коэффициент теплопроводности, антикоррозийная способность [1]. ТБП в основном формируются методом газотермического напыления, поэтому очень важно, чтобы порошок имел сферическую форму, узкое распределение по размерам, высокую насыпную плотность и текучесть. Благодаря этому порошки равномерно подаются в газоплазменную струю, равномерно оплавляются и переносятся на подложку, что обеспечивает однородность покрытий. Целью работы является исследование влияния скорости перемешивания на размер, форму, насыпную плотность и текучесть диоксида циркония в ходе контролируемого двухструйного осаждения (КДО).

Образцы были синтезированы методом КДО. В качестве прекурсоров использовали растворы нитратов цирконила и иттрия. Осаждение проводили в течение 200 мин при постоянном значении pH=5. В качестве осадителя использовали 10% раствор аммиака. Перемешивание суспензии осуществляли при помощи верхнеприводной мешалки, скорость перемешивания составляла 150, 300 или 600 об/мин. После осаждения суспензии фильтровали на вакуумном нутч-филт্রে, сушили при 40 °С в течение 12 часов и затем обжигали при 950 °С. Свойства образцов исследовали при помощи оптического микроскопа и лазерного анализатора частиц.

На рисунке 1 представлены зависимости среднего диаметра и дисперсии частиц от длительности осаждения и оптические изображения частиц на финальной стадии осаждения.

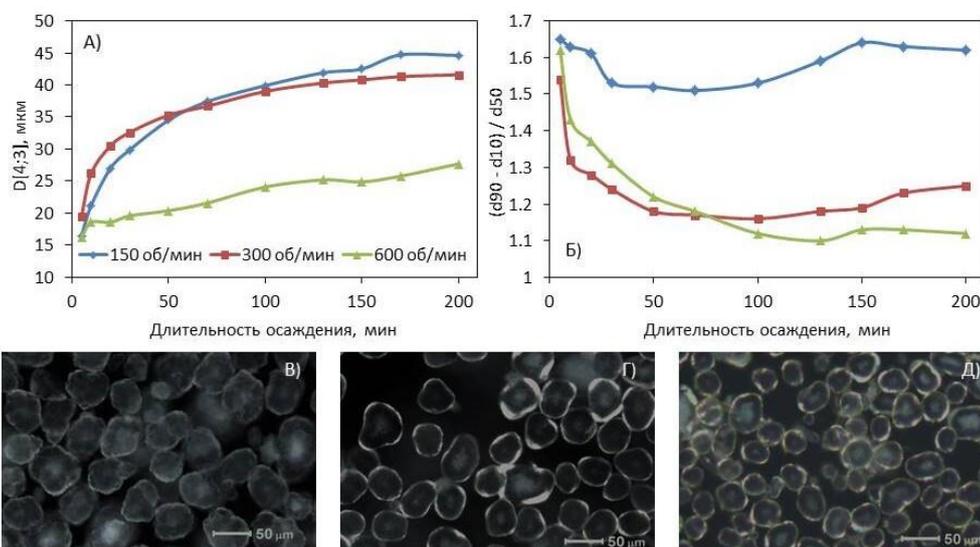


Рис. 1. Изменения среднего диаметра частиц (А) и дисперсии частиц по размерам (Б). Оптические изображения частиц в конце осаждения для образцов: 7YZr-150 (В); 7YZr-300 (Г); 7YZr-600 (Д)

Показано, что скорость перемешивания существенно влияет на размер и форму частиц. Для всех образцов характерно увеличение среднего диаметра частиц на всех этапах осаждения. Для образца 7YZr-600 об/мин средний диаметр частиц существенно ниже, чем для остальных (рис. 1. А). Для образцов 7YZr-300 и 7YZr-600 об/мин дисперсия снижается и к концу осаждения составляет 1,25 и 1,12 соответственно, тогда как для образца 7YZr-150 об/мин дисперсия существенно выше и составляет 1,62 (рис. 1. Б). Для всех образцов характерна сфероидальная форма частиц, однако для образца 7YZr-150 об/мин наблюдается шероховатая поверхность, тогда как для образцов 7YZr-300 и 7YZr-600 об/мин – гладкая.

После обжига средний диаметр частиц уменьшается, дисперсия размеров находится на уровне 1,06 - 1,19. Частицы сохраняют сфероидальную форму и не разрушаются. Насыпная плотность порошков после обжига составляет: 2,08, 2,78 и 2,50 г/см³ для образцов 7YZr-150, 7YZr-300 и 7YZr-600 об/мин соответственно. Образцы 7YZr-150 и 7YZr-300 об/мин обладают высокой текучестью: 48 и 34 с соответственно. Образец 7YZr-600 об/мин текучестью не обладает. Таким образом, варьирование скорости перемешивания в ходе КДО позволяет получать порошки с различными свойствами: размер, форма, насыпная плотность и текучесть.

1. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония / Д. С. Рутман, Ю. С. Торопов, С.Ю. Плинер и др. М. : Металлургия (1985)

АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВА LiF-BeF₂ В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ

Бекмансурова Л.И.¹, Домбровская М.А.¹, Лисиенко Д.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: l-bekmansurova@mail.ru

ATOMIC EMISSION ANALYSIS OF A COMPOSITION BASED ON A LiF-BeF₂ MELT IN AN ARC DISCHARGE

Bekmansurova L.I.¹, Dombrovskaya M.A.¹, Lisienko D.G.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A method for analyzing the fuel composition based on LiF-BeF₂ were developed. The excitation conditions of the spectra are optimized: alternating current arc discharge of 12 A, exposure time of 20 s, shot glass electrode. Metrological characteristics of the technique were evaluated.

В настоящее время является актуальной разработка технологии повторного использования отходов ядерной энергетики. Растворение U, Pu и продуктов их деления в расплавах фторидов лития и бериллия (FLiBe) – перспективный вариант реализации замкнутого ядерного топливного цикла [1]. FLiBe имеет двойное назначение: чистый расплав является теплоносителем, при растворении в расплаве UF₄ и/или PuF₄ – топливом реактора [2].

Состав расплава по основным компонентам – эвтектическая смесь LiF - BeF₂ с молярной долей солей 73 и 27 %. Контролируемыми примесями являются Al, B, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb, Si, и Zn с максимально допускаемой концентрации от 5 (для B) до 150 ppm (для Al). Работа посвящена разработке методики эмиссионного спектрального анализа с дуговым возбуждением топливной соли, содержащей UF₄ (массовая доля 5 %), и теплоносителя на основе расплава LiF-BeF₂. Метод позволяет определять примеси без дополнительных химических операций и длительной подготовки материалов.

В качестве базовых для установления состава FLiBe использованы действующие на предприятиях «Росатом» методики анализа Be и Li [3, 4]. Для возбуждения, регистрации спектров и обработки результатов использовали комплекс спектрального оборудования: спектрометр PGS-2 с многоканальным твердотельным детектором МАЭС, работающим в программном обеспечении (ПО) «Атом», и дуговой генератор «Везувий».

При регистрации излучения FLiBe и FLiBe + UF₄ в спектрах установлено наличие интенсивных молекулярных полос в области 282 – 330 нм. С использованием рентгенофазового анализа остатков проб из электродов на дифрактометре URD 6 в медном K_α излучении установлено, что источником молекулярных полос

является фторбериллат лития. Выбраны линии аналитов, свободные от наложений.

Характеризацию динамики испарения пробы выполнили по кривым выгорания при регистрации в режиме временной развертки спектра. Сравнивая временное распределение интенсивности линий для разных форм электродов и навески пробы, установили, что лучшие условия испарения обеспечивает электрод рюмка. Методом планирования на основе полного факторного эксперимента 2^3 выбраны оптимальные условия анализа. Изучено влияние следующих факторов: навеска пробы в кратере электрода, род и сила тока разряда. Параметры оптимизации – интенсивность линий аналитов (должна быть максимальной) и интенсивность молекулярных полос (должна быть низкой). Рекомендованы следующие условия возбуждения: дуговой разряд переменного тока 12 А, навеска 30 мг. Оценены метрологические характеристики методики для реальных проб в рекомендованных условиях: повторяемость, промежуточная прецизионность результатов и пределы обнаружения элементов. Алгоритм обработки результатов измерений соответствовал рекомендациям [5]. Хорошее согласование значений относительных показателей прецизионности разработанной и стандартизованных методик позволяет рекомендовать предложенную методику анализа в качестве рабочей для контроля примесного состава FLiBe.

1. Новиков В.М., Игнатъев В.В., Федулов В.И. и др. Жидкосолевые ЯЭУ: перспективы и проблемы / Атомная энергия. 2006. Т. 101. Вып. 4. С. 278-285.
2. Serrano-López R., Fradera J., Cuesta-López S. Molten salts database for energy applications. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. V. 73, November 2013, P. 87-102.
3. ОСТ 95.505. Бериллий и его соединения. Методы спектрального анализа. – 1982.
4. И 25000.00946. Литий и литий хлористый. Спектральный метод измерения массовой доли примесей с переводом проб в углекислый литий. – Новосибирск, НЗХК. 2004.
5. РМГ 61-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. М.: Стандартинформ, 2012.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГ Sr-90 В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Белоконова Н.В.¹, Воронина А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: nadyusha.ru2@gmail.com

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINATION AND MONITORING OF Sr-90 IN NATURAL WATERS

Belokonova N.V.¹, Voronina A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A method has been developed for the determination of Sr-90 in natural waters with the concentration of Sr-90 on the T-3K sorbent. The monitoring of the content of Sr-90 in samples of natural waters on the territory of the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions was carried out.

Большая часть населения на Среднем Урале живет в неблагоприятных условиях и страдает от повышенной химической и радиационной нагрузки. Авария на Чернобыльской АЭС, Восточно-Уральский радиоактивный след, а так же штатная деятельность предприятий ГК «Росатом» вносят значительный вклад в радиоактивное загрязнение окружающей среды [1].

Одним из радионуклидов, обуславливающих долговременное загрязнение, является ^{90}Sr с периодом полураспада 29,12 года, что вызывает необходимость контроля за его поступлением в природные воды. Для мониторинга Sr-90 необходима разработка простых методов определения с низким пределом обнаружения.

Для разработки метода определения Sr-90 и выбора оптимальных условий концентрирования стронция из природных вод исследовали сорбцию и десорбцию стронция в динамических условиях на неорганическом сорбенте Т-3К. Исследованы зависимости выхода стронция в концентрат от массы сорбента, объёма пробы, скорости пропускания воды, объёма десорбирующего раствора и условий десорбции. При выбранных условиях концентрирования выход стронция в концентрат составил $91 \pm 1\%$, что при определении Sr-90 из проб слабоминерализованных вод объёмом 1 л позволяет достичь минимально определяемой активности 0,05 Бк/л. Из проб объёмом 2 л без увеличения массы сорбента выход в концентрат составил 86%.

Для мониторинга Sr-90 были отобраны пробы природных вод из 16 источников на территории Свердловской и Челябинской областей. Концентрирование Sr-90 проводили из проб воды объёмом 1-2 литра, пропуская пробу через колонку, заполненную сорбентом Т-3К. Десорбировали Sr-90 раствором HCl, высушивали

элюат на кювете и измеряли в условиях равновесия Sr-90 с дочерним радионуклидом Y-90 на УМФ-2000 в течение 10000 с.

Проведён анализ содержания Sr-90 в пробах поверхностных природных вод на территории Свердловской и Челябинской областей, а также пробах вод, отобранных в санитарно-защитной зоне ПХРО Свердловского отделения филиала «Уральский территориальный округ» ФГУП «Федеральный экологический оператор».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках проекта № 20-43-660055.

1. Voronina A.V., Betenekov N.D., Semenishchev V.S. Water Decontamination at Radioactively Contaminated Lands. D. K. Gupta, A. Voronina (eds.), Remediation Measures for Radioactively Contaminated Areas. Springer International Publishing AG. 2018. P. 223-243

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ РУТИЛ И ЕГО СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ As(III)

Белозерова А.А.¹, Печищева Н. В.¹, Валеева А.А.², Сушникова А.А.¹,
Петрова С.А.¹, Шуняев К.Ю.¹, Ремпель А.А.¹

¹ Института металлургии Уральского отделения РАН

² Институт химии твердого тела Уральского отделения РАН

E-mail: aa_belozerova@mail.ru

As(III) SORPTION ON NANOSTRUCTURED RUTILE, PREPARED BY HIGH-ENERGY MILLING

Belozerova A.A.¹, Pechishcheva N.V.¹, Valeeva A.A.², Sushnikova, A. A.¹,
Petrova S.A.¹, Shunyaev K.Yu.¹, Rempel A.A.¹

¹ Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

² Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

In this work, we studied the sorption properties of nanostructured TiO₂ of rutile modification before and after high-energy milling with respect to As(III) ions without irradiation and under the action of UV radiation.

Мышьяк является опасным загрязнителем окружающей среды, обладающим канцерогенным действием. В зависимости от степени окисления мышьяк проявляет различную токсичность. Наиболее токсичными являются неорганические соединения мышьяка, где он проявляет степень окисления +3 [1].

Одним из эффективных и доступных способов очистки водных растворов от ионов As(III) на сегодняшний день является сорбция. Диоксид титана - сорбент, который нашел широкое применение для очистки водных растворов от As(III), поскольку отличается химической стабильностью, низкой стоимостью и безопасностью для окружающей среды, а также способностью действовать как фотосорбент при облучении ультрафиолетом (УФ) или видимым светом [2].

Одним из доступных методов получения наноструктурированного TiO₂ является высокоэнергетический размол крупнокристаллического диоксида титана.

В данной работе были изучены сорбционные свойства наноструктурированного TiO₂ модификации рутил (ООО «Компонент-реактив») до и после высокоэнергетического размола по отношению к ионам As(III) без освещения и под действием УФ-излучения.

Высокоэнергетический размол диоксида титана проведен в планетарной шаровой мельнице Retsch PM 200 с использованием стаканов и шаров для размола из высокопрочной керамики (ZrO₂, стабилизированный оксидом иттрия Y₂O₃) при следующих условиях: размол в изопропиловом спирте, массовое отношение шаров к порошку 10:1, скорость вращения опорного диска 500 об/мин при продолжительности размола 4, 8 и 16 ч с реверсом направления каждые 15 мин и

паузой 5 сек. Оценены изменения структуры, морфологии, размера частиц, произошедшие под действием высокоэнергетического размола.

Установлено, что высокоэнергетический размол значительно улучшил способность диоксида титана удалять As(III) из водных растворов, вероятно, в первую очередь по причине увеличения удельной площади поверхности. Так, при pH = 3 степень сорбции As(III) – 19.5%, а после 8 часов размола она составила более 90 %. Максимальная адсорбция As(III) наблюдается при pH = 2 – 3. На основании сопоставления зависимостей сорбции от pH и диаграмм состояния мышьяка в водных растворах можно предположить, что без освещения As(III) предварительно окисляется растворенным кислородом и сорбируется в виде As(V) (в виде иона $H_2AsO_4^-$). Под действием освещения жестким УФ сорбция As(III) на размолотом диоксиде титана становится еще более полной (более 99 % при pH = 2 у образцов, размолотых в течение 8 часов).

Исследование поддержано проектом РНФ 21-73-20039.

1. Rajakovic B. L., Rajakovic-Ognjanovic V. Arsenic in Water: Determination and Removal. In book: Arsenic - Analytical and Toxicological Studies. Chapter 2. (2018).
2. Guan X., Du J., Meng X.et. al. Application of titanium dioxide in arsenic removal from water: A review // Journal of Hazardous Materials. V. 215-216. P.1-16. (2012).

ЛЕГИРОВАНИЕ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА СВИНЦА МАРГАНЦЕМ Mn^{2+}

Бельцева А.В.¹, Маскаева Л.Н.^{1,2}, Марков В.Ф.^{1,2}, Поздин А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, Екатеринбург
E-mail: avbeltseva@mail.ru

DOPING OF LEAD SULFIDE FILMS WITH MANGANESE Mn^{2+}

Beltseva A.V.¹, Maskaeva L.N.^{1,2}, Markov V. F.^{1,2}, Pozdin A.V.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

An analysis of the literature showed that lead sulfide has found great application in technology due to its unique properties. Doping with manganese PbS during chemical deposition ensures the production of films formed from more uniform, well-faceted crystallites with a dopant content of 0.3 at.%.

Тонкопленочный сульфид свинца имеет сочетание электрофизических и фотоэлектрических характеристик, используется в фотоприемниках, солнечных батареях, химических сенсорах. Фоточувствительные пленки сульфида свинца получают с методами: термического вакуумного испарения, молекулярной эпитаксии, сплавления свинца и серы, химического осаждения из водных растворов. Технологически простым и легко управляемым является химическое осаждение из водных растворов. Обеспечение получения требуемых фотоэлектрических свойств пленок сульфида свинца идет через введение в раствор оксидантов или других кислородсодержащих соединений, а также использование различных допантов в виде солей металлов и оксидов. Добавка легирующей примеси в реакционный состав вносит изменения фоточувствительных свойств чистого сульфида свинца и изменение спектрального диапазона. Легирующая добавка марганца влияет на фотолюминесценцию, температурную зависимость фотолюминесценции и магнитных свойств. Включение Mn^{2+} приводит к сглаживанию пика излучения фотолюминесценции, делая излучение фотолюминесценции настраиваемым в диапазоне длин волн ближнего ИК-диапазона (850-1200 нм) и свидетельствуя об образовании легированных наночастиц $(PbMn)S$. Легирование ионами Mn^{2+} представляет огромный интерес, поскольку в литературных источниках недостаточно сведений о свойствах сульфида свинца, легированного ионами марганца. Средний размер кристаллов сульфида свинца уменьшается с увеличением концентрации марганца примерно от 21 до 11 нм [1]. Эту тенденцию связывают с заменой ионов свинца с большим радиусом (0.126 нм) на ионы Mn^{2+} с меньшим радиусом (0.091 нм) и образованием твердых растворов на основе сульфидов свинца и марганца. Термодинамическим анализом ионных

равновесий в системе « $\text{PbAc}_2 - \text{MnCl}_2 - \text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2 - \text{Na}_3\text{Cit} - \text{N}_2\text{H}_4\text{CS}$ » нами показано, что при стандартной температуре 298 К невозможно получить твердую фазу, содержащую одновременно сульфиды свинца и марганца. На предварительно обезжиренной ситалловой подложке из реакционной смеси, содержащей постоянные концентрации солей ацетата свинца и цитрата натрия, водного раствора аммиака, тиомочевины при варьировании хлорида марганца от 0.05 до 0.15 моль/л. проведено химическое осаждение PbS при температуре 353 К. Для изучения морфологии синтезированных соединений были проведены электронно-микроскопические исследования (рис.1), а их элементный состав определен с привлечением энергодисперсионного анализа. Поверхность сульфида свинца, легированного марганцем, имеет однородную структуру, состоящую из хорошо ограненных кристаллитов, размер которых несущественно отличается, лишь незначительно меняется их форма. Проведенный локальный элементный анализ показал, что в легированной пленке PbS наблюдается незначительное отклонение от стехиометрии при содержании 50.6 ± 5.1 ат% свинца и 49.4 ± 5.0 ат% серы, а концентрация легирующего элемента (Mn) не превышает 0.3 ат%.

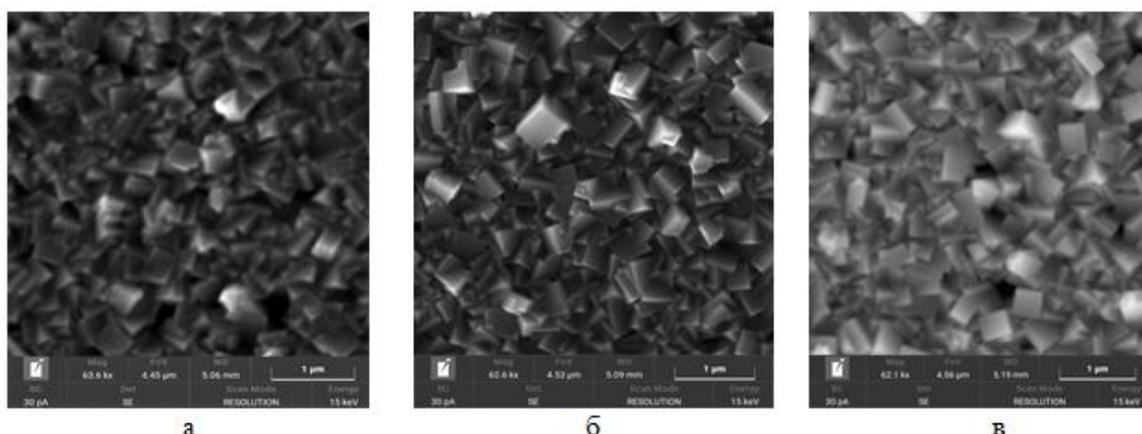


Рис. 1. Микроизображения пленок PbS (Mn), полученных химическим осаждением из реакционной смеси, содержащей хлорид марганца MnCl_2 , моль/л: 0.05 (а), 0.1 (б), 0.15 (в)

1. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Иванов П.Н. Гидрохимическое осаждение пленок сульфидов металлов: моделирование и эксперимент. Екатеринбург: УрО РАН (2006).

ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ СЕРЕБРА В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ NaCl–KCl–CsCl

Бессонова Д.А.¹, Иванов А.Б.¹, Волкович В.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: chivasch@yandex.ru

ELECTRODE POTENTIALS OF SILVER IN NaCl–KCl–CsCl EUTECTIC MELT

Bessonova D.A.¹, Ivanov A.B.¹, Volkovich V.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The electromotive force measurements method was applied for determining electrode potentials of silver in the ternary NaCl–KCl–CsCl eutectic mixture based melts at 823–1073 K.

В ранних работах [1–4] рассмотрено влияние температуры на стандартный электродный потенциал серебра в хлоридных расплавах. В качестве электролитов были использованы смеси солей LiCl–KCl, NaCl–KCl, NaCl.

В данной работе были определены электродные потенциалы серебра в расплавах на основе тройной эвтектической смеси NaCl–KCl–CsCl (30–24.5–45.5 мол. %). Измерения выполняли с методом потенциометрии нулевого тока с использованием гальванического элемента, состоящего из хлорного и серебряного электродов:



ЭДС гальванического элемента определяли в интервале температур от 823 до 1073 К. Концентрацию серебра в расплаве варьировали от 0.1 до 4.0 мас. %. Для измерений использовали потенциостат-гальваностат AUTOLAB PGSTAT 12/30/302.

Электролит на основе тройной эвтектической смеси NaCl–KCl–CsCl (30–24.5–45.5 мол. %) находился в тигле из стеклоуглерода. Методика подготовки исходных солей описана ранее [5]. Тигель с электролитом находился в кварцевой ячейке, заполненной высокочистым аргоном (марки ВЧ, чистотой 99.998%). Серебряным электродом служила пластинка из серебра (99.95%), закреплённая на молибденовом токоподводе.

На рисунке 1 приведен пример зависимости электродного потенциала.

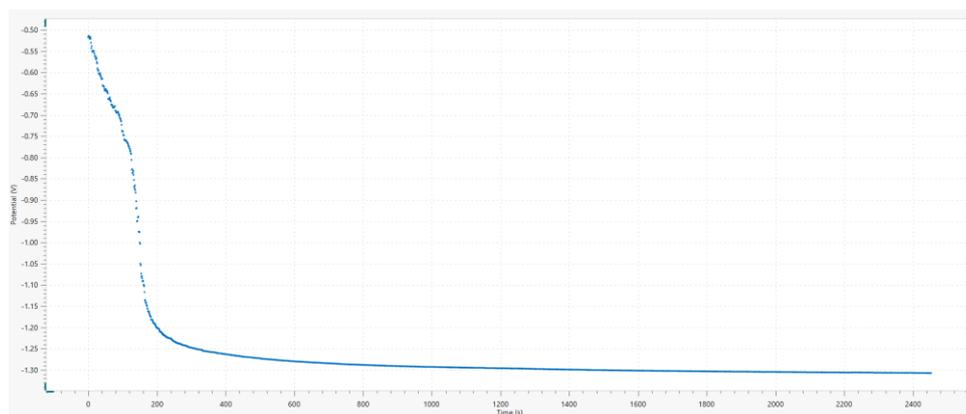


Рис. 1. Зависимость электродного потенциала между хлорным и серебряным электродами, полученная при температуре 823 К в расплаве NaCl–KCl–CsCl (AgCl – 5%).

По завершении эксперимента производили отбор пробы электролита для определения содержания ионов серебра.

1. Labrie R.J., Lamb V. A. A porcelain reference electrode conductive to sodium ions for use in molten salt systems. - J. Electrochem. Soc., 1959, 106, p. 895-899.
2. Yang L., Hudson R.G. Some investigations of the Ag/AgCl in LiCl-KCl eutectic reference electrode - J. Electrochem. Soc., 1959, 106, № 11, p. 986-990.
3. Littlewood R. A reference electrode for electrochemical studies in fused alkali chlorides at high temperatures. - Electrochim. Acta, 1961, 3, p. 270-278.
4. Shirai O., Nagai T., Uehara A., Yamana H. Electrochemical properties of the Ag⁺|Ag and other reference electrodes in the LiCl-KCl eutectic melts. - J. Alloys Comp., 2008, 456, p. 498-502.
5. Волкович В.А., Данилов Д.А., Васин Б.Д., Хохряков А.А. Спектроскопическое исследование рения в расплавах галогенидов щелочных металлов. – Расплавы, 2006, No 4, с. 21–28

ВОДОРОДНЫЕ ИНИЦИАТИВЫ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Бичевина Е.А.¹

¹) Студент, Тюменский Индустриальный университет
E-mail: katyabichevina@mail.ru

HYDROGEN INITIATIVES IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

Bichevina E.A.¹

¹) student, Tyumen Industrial University

The concept of sustainable development emerged from the combination of three main elements: economic, social and environmental. This concept is a process of development, where the consumption of the planet's resources, the direction of scientific and technological developments and investment changes.

Увеличение интереса к всемирным экологическим и гуманитарным проблемам со стороны человечества и аппарата управления способствует расширению контроля за деятельностью компаний и предприятий, значит критерии оценки эффективности в рассматриваемой области с каждым годом начнут принимать более жесткие рамки [1].

Проведенные исследования крупнейших банков, таких как (Морган Стэнли, Уэлс Фарго, TDBank), рейтинговых агентств в области рационального инвестирования подтверждают особую связь доходов производств и компаний и их инициативность в рамках устойчивого развития с акцентом на экономические и экологические практики.

Так исследование SAM AlfafromSustainability указывает на то, что в течение 2011 г. компании, наиболее ориентированные на устойчивое развитие, превосходили компании, уделяющие меньше внимания факторам устойчивого развития, в том числе и по финансовым показателям.

Таким образом, социальные и экологические аспекты деятельности, а также практика корпоративного управления влияют на рыночную стоимость торгующихся на бирже компаний.

Популяризируют концепцию устойчивого развития, принятые национальные стандарты и руководства в данной области, а также рост количества публикаций отчетов об устойчивом развитии, которые с 2012 г. стали обязательными для российских государственных компаний.

Осознавая необходимость перехода к новой концепции управления, компании испытывают недостаток инструментов и методов реализации концепции устойчивого развития на практике. В силу того, что основные изменения в компаниях реализуются посредством проектов, учет принципов устойчивого развития в

управлении проектами является одним из основных сценариев развития для компаний, стремящихся обеспечить свою стабильность и инвестиционную привлекательность в будущем.

Научная проблема исследования заключается в разработке методологии принятия решений и координации деятельности в области реализации концепции устойчивого развития в компании с использованием комплексной оценки социально-экологической устойчивости проектов и процессов управления проектами.

В рамках изучения проведенного исследования были изучены технологии производства водорода. Проведен сравнительный анализ по критериям: источника энергии, КПД (%) процесса, температуры, стоимости. Наибольшей стоимостью отмечен децентрализованный электролиз получения водорода, наименьшей стоимостью – централизованное реформирование газа. Доступность метода конверсии природного газа показала применимость в разных отраслях промышленности.

Изученные технологии в ходе исследования:

1) SMR (Steam methane reforming) – паровой риформинг, когда чистый водяной пар используется как окислитель. Реакция требует введение тепла («эндотермический»);

2) HTCR (Steam methane reforming) – конвекционный риформинг, происходит с высокой степенью утилизации тепла за счёт особой конструкции реактора;

3) POX (Partial oxidation) – частичное окисление, в этом методе используется кислород или воздух. В процессе выделяется тепло («экзотермический»).

1. Акимова Т.А.. Экономика устойчивого развития, ЗАО «Издательство «Экономика» (2009).

ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЯ pH НА СВОЙСТВА ГИДРОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ХОДЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ

Буйначев С.В.¹, Поливода Д.О.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
E-mail: iammaggot55@yandex.ru

INFLUENCE OF THE pH VALUE ON THE PROPERTIES OF ZIRCONIUM HYDROXIDE DURING CONTROLLED DOUBLE-JET PRECIPITATION FROM CHLORIDE SOLUTIONS

Buinachev S.V.¹, Polivoda D.O.¹

¹⁾ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

In this work, precipitates of zirconium hydroxide were obtained from zirconium chloride by the controlled double-jet precipitation method. A comparison was made with precipitation from nitric acid solutions at constant pH values.

Метод контролируемого двухструйного осаждения (КДО) нашел широкое применение для синтеза кристаллических осадков с контролируемыми свойствами. Метод нашел применение для производства галогенидов серебра [1], комплексных и смешанных гидроксидов [2], а также слоистых гидроксонитратов РЗЭ [3]. В основе метода - контролируемое смешение реагентов при постоянном значении pH и концентрации компонентов в реакционной зоне. За счет этого возможно контролировать распределение размеров частиц, форму, фазовый состав, что позволяет получать материалы с различными свойствами. Целью данной работы является исследование влияния значения pH на свойства частиц гидроксида циркония при контролируемом двухструйном осаждении из хлоридных растворов.

Осаждение проводили в 3-х литровом реакторе, в качестве прекурсора использовали раствор хлорида циркониила с концентрацией 1 моль/л. Дозирование раствора осуществляли перистальтическим насосом со скоростью 5 мл/мин. Перемешивание осуществляли верхнеприводной мешалкой, в качестве осадителя использовали 10% аммиак. Осаждение проводили при постоянных значениях pH=3, 5 и 8 (далее образцы Zr-pH3, Zr-pH5 и Zr-pH8 соответственно). В ходе осаждения отбирали пробы суспензии для анализа гранулометрического состава и формы частиц методами лазерной дифракции и оптической микроскопией соответственно.

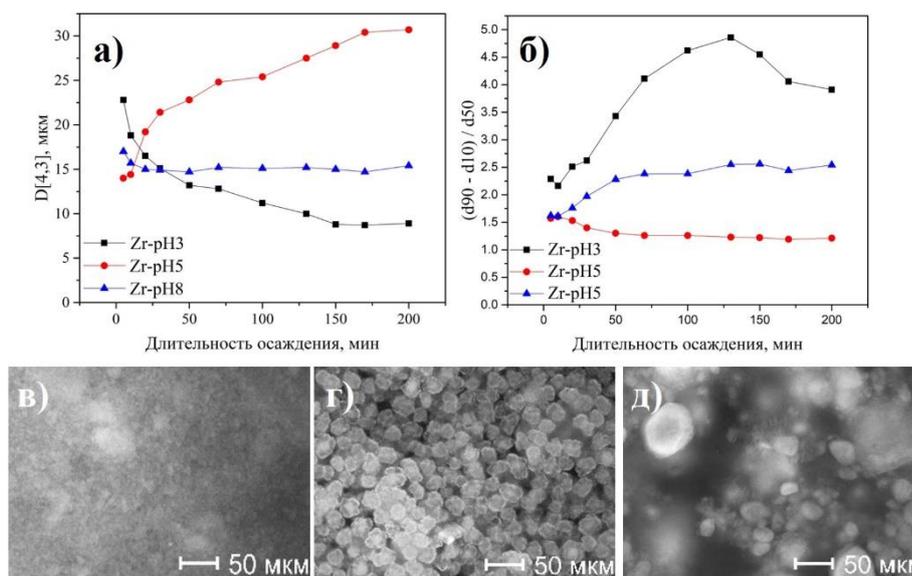


Рис. 1. Изменение среднего диаметра частиц в ходе КДО – а); изменение дисперсии размеров в ходе КДО – б); оптические изображения частиц на финальном этапе КДО для образцов Zr-pH3, Zr-pH5 и Zr-pH8 – в), г) и д) соответственно.

На рисунке 1-а показано, что для образца Zr-pH3 характерно постоянное снижение среднего диаметра частиц, для образца Zr-pH5 наблюдается постоянное увеличение среднего диаметра частиц, тогда как для образца Zr-pH8 изменение среднего диаметра практически не происходит. Для образца Zr-pH5 характерно получение однородных узкодисперсных сфероидальных частиц, как видно на рисунке 1-б, г. С начальных минут осаждения происходит формирования первичных агрегатов, которые увеличиваются в размерах за счет послойной агрегации. Образцы, полученные при значениях pH=3 и 8 характеризуются образованием частиц с широким распределением размеров, которые отличаются неоднородной формой (рис. 1-б, в, д). Для этих образцов наблюдается увеличение дисперсии размеров на всем протяжении осаждения. В работе [4] было показано влияние значения pH на свойства частиц гидроксида циркония в ходе КДО из нитратного раствора. В рамках этой работы показано, что использование в качестве прекурсора солянокислого раствора циркония существенно не оказывает влияние на свойства частиц. Таким образом, при формировании частиц гидроксида циркония методом КДО самым важным параметром в первую очередь является значение pH осаждения.

1. H. Muhr, R. David, J. Villiermaux, P.H. Jezequel, *Chemical Engineering Science* 50(2), 345–355, (1995).
2. Gareth R Williams, Dermot O'Hare, *Journal of Materials Chemistry* 16, 3065–3074 (2006).
3. D.K. Aleshin, M.A. Mashkovtsev, Y.A. Kuznetsova, V.N. Rychkov, A.F. Zatsepin, E.V. Gordeev, *Journal of Alloys and Compounds* 805, 258–266, (2019).
4. S. Buinachev, M. Mashkovtsev, N. Zhirenkina, D. Aleshin, A. Dankova, *International Journal of Hydrogen Energy* 46(32), 16878–16887 (2021).

КАТИОННАЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЯ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА $\text{Eu}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

Черепанова Л.А.¹, Эстемирова С.Х.^{1,2}, Митрофанов В.Я.^{1,2}, Упоров С.А.¹

¹) Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: freefly88@mail.ru

CATION NONSTICHIOMETRY, CRYSTAL STRUCTURE, AND MAGNETIC PROPERTIES OF $\text{Eu}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

Cherepanova L.A.¹, Estemirova S.Kh.^{1,2}, Mitrofanov V.Ya.^{1,2}, Uporov S.A.¹

¹) Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The features of the formation of crystalline and magnetic subsystems in $\text{Eu}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ magnetite were studied by X-ray diffraction and magnetometry. The nature of the magnetic ordering has been established, the temperatures of magnetic phase transitions have been determined as a function of the Eu/Mn.

Наличие протяженных областей гомогенности по катионам в составах LnMnO_3 объясняется высокой растворимостью марганца, как в перовскитоподобных, так и в гексагональных манганитах [1]. Причиной этого может быть образование ионов марганца с различными степенями окисления по реакции: $2\text{Mn}^{3+} = \text{Mn}^{2+} + \text{Mn}^{4+}$, и последующее заселение несвойственных им позиций Ln. Магнитная подсистема таких твердых растворов оказывается чувствительной не только к наличию разновалентных ионов Mn, но и к их концентрации.

Однофазные образцы $\text{Eu}_x\text{Mn}_{2-x}\text{O}_3$ ($x=0.00, 0.98, 0.94, 0.86$) были синтезированы по керамической технологии при $T=1300^\circ\text{C}$ из оксидов Eu_2O_3 и Mn_2O_3 . Рентгеноструктурный анализ показал (рис. 1а), что с увеличением концентрации марганца объем элементарной ячейки (V) уменьшается. Закономерное уменьшение V может быть объяснено на основе правила Вегарда с учетом реакции диспропорционирования марганца следующим образом. Во-первых, в позиции Eu встраиваются ионы Mn^{2+} , эффективный радиус которого меньше иона Eu^{3+} , следовательно, средний радиус катиона в позиции Eu понижается. Во-вторых, узлы марганцевой подрешетки содержат не только Mn^{3+} , но и Mn^{4+} , что также приводит к понижению среднего радиуса катиона в позиции Mn.

Магнитные измерения соединений $\text{Eu}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($x=0.98, 0.94, 0.86$) были выполнены в интервале температур 5-300 К во внешнем магнитном поле $M_0H=0.1$ Т. Температуры магнитных фазовых превращений определялись из экстремумов dM/dT или $d(1/x)/dT$, где x - магнитная восприимчивость соединений в магнитном поле $M_0H=0.1$ Т. Соответствующие значения температур магнитных

превращений парамагнетик – антиферромагнетик (ферримагнетик) редуцируются с ростом содержания ионов европия и принимают значения 78.7, 71.5, 50.5 К. Подобная тенденция обусловлена снижением роли ферромагнитного двойного обмена в парах $Mn^{3+}-Mn^{4+}$ с ростом x . Следует отметить, что исходное соединение $EuMnO_3$ демонстрирует несоизмеримое антиферромагнитное упорядочение спинов Mn при $T_N \approx 53$ К, которое сопровождается переходом в антиферромагнитное упорядочение А-типа при $T_1 \approx 48$ К [2]. Температурные зависимости намагниченности в FC и ZFC модах в соединении $Eu_{0.94}Mn_{1.06}O_3$ демонстрирует интересное и необычное поведение, связанное с инверсией намагниченности при низких температурах. Различные сценарии подобного явления анализируются в обзорной работе [3].

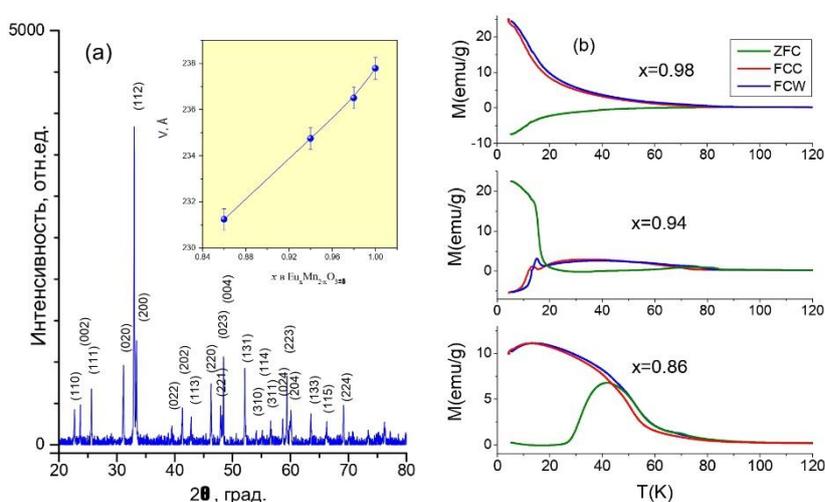


Рис. 1. Дифрактограмма $EuMnO_3$ и концентрационная зависимость объема элементарной ячейки от x в $Eu_{2-x}Mn_xO_3$ (a); температурные зависимости намагниченности в ZFC, FCC, FCW модах во внешнем магнитном поле $M_{0H}=1$ Т (b).

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН в рамках Программы фундаментальных исследований государственных академий по теме 0369-2019-0001 с использованием оборудования ЦКП «Урал-М».

1. О.М. Федорова, В.Ф. Балакирев, Ю.В. Голиков, Неорган. материалы. Т. 43. № 9. С. 1109-1112. (2007).
2. A.A. Mukhin, V.Yu. Ivanov, V.D. Travkin, A.S. Prokhorov, A.M. Balbashov, J. Hemberger, A. Loidl. J. Magn. Magn. Mater. V. 272–276, 96-97 (2004).
3. A. Kumar, S.M. Yusuf. Physics Reports, V. 556. P. 1-34. (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ИОНОВ ВАНАДИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВАХ МЕТОДАМИ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

Чернышов М.В.¹, Ребрин О.И.¹, Половов И.Б.¹

¹⁾ Кафедра РМиН, ФТИ, УрФУ
E-mail: mvchernyshov@gmail.com

STUDY OF THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF VANADIUM IONS IN CHLORIDE MELTS USING VOLTAMMETRY METHODS

Chernyshov M.V.¹, Rebrin O.I.¹, Polovov I.B.¹

¹⁾ Department of Rare Metals and Nanomaterials, Ural Federal University (Russia)

The electrode processes involving vanadium species were studied at 690-860 oC in NaCl-KCl-based melts employing various electrochemical methods. Analysis of the red-ox processes in chloride melts showed that V(II) and V(III) complex chloride ions are stable in these media.

Электродные реакции с участием ионов ванадия были изучены в расплавах на основе NaCl-KCl с использованием различных электрохимических методов в широком диапазоне температур и концентраций.

Анодное растворения металлического ванадия при плотностях тока менее 1 А/см² приводит к образованию ионов ванадия (II), кинетика реакции контролируется диффузией образующихся продуктов реакции. При более высоких плотностях тока анодный процесс сопровождается различными видами солевой пассивации. Комплексы V (II) могут обратимо окисляться на стеклоуглеродном аноде до V (III). Эта реакция также контролируется массопереносом.

Катодное восстановление ванадия в расплавах VCl₃-NaCl-KCl состоит из двух этапов: одноэлектронного восстановления $V^{3+} \rightarrow V^{2+}$ и двухэлектронного процесса $V^{2+} \rightarrow V$. При постоянно приложенном токе обе стадии диффузионно-контролируемы. В ходе вольтамперометрических измерений механизм электродных реакций остается неизменным при скоростях поляризации ниже 200 мВ/с. Коэффициенты диффузии ионов V (II) и V (III) определяли по результатам измерений циклических вольтамперограмм. Также было установлено, что вольфрам реагирует с ионами V (III) и, следовательно, не может быть использован в качестве материала электрода для изучения электрохимической реакции $V^{3+} \leftrightarrow V^{2+}$.

Катодное восстановление ванадия в расплавах VCl₂-NaCl-KCl протекает в одну двухэлектронную стадию, контролируемую массопереносом. Было показано, что при высоких катодных плотностях тока образование щелочного металла может повлиять на вольтамперометрические измерения.[1]

1. I. B. Polovov, M. E. Tray, M. V. Chernyshov, V. A. Volkovich, B. D. Vasin, O. I. Rebrin, "Electrode processes in vanadium-containing chloride melts", in Molten Salts

Chemistry and Technology, M. Gaune-Escard and G.M. Haarberg, Editors, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, 2014, p. 257-281.

ПЕРЕРАБОТКА УРАНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КОНВЕРСИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ

Демидов Р.М.¹, Титова С.М.¹, Наливайко К.А.¹, Скрипченко С.Ю.¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: pomazaha@yandex.ru

RECYCLING OF URANIUM-CONTAINING WASTES FROM CONVERSION PRODUCTION BY EXTRACTION METHOD

Demidov R.M.¹, Titova S.M.¹, Nalivaiko K.A.¹, Skripchenko S.Yu.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The way to recycle uranium-containing wastes from conversion production was found during presented work. This method included uranium leach by nitric acid solutions from sludge at the first stage and the uranium extraction from pregnant solution by 10% TBP + 90% Shellsol D 90 at the second stage.

Тенденция перехода к «зеленой» энергетике прослеживается по всему миру. Все больше стран отдают предпочтение добыче электроэнергии путем использования АЭС. Основным топливом для реакторов является уран-235, и в настоящее время месторождения природного урана понемногу исчерпывают себя. В то же время техногенные месторождения элемента становятся если не достаточным, то хотя бы экономически выгодным источником урана-235 (содержание ~0,15 мас. %), и проблема извлечения его из шламов и прочих отходов производства стоит как никогда остро.

Существует еще одна проблема – радиоактивные отходы хранятся на поверхности, и с течением времени уран и продукты его распада могут попасть в грунтовые воды, что может вызвать радиационное отравление окружающей среды [1]. Дренажи и укрепления хвостохранилищ не решают проблему хранения отходов в полной мере, и самым эффективным методом остается удаление отходов с поверхности путем их переработки методами гидрометаллургии.

Комбинирование таких методов, как выщелачивание и экстракция, позволяет извлечь целевой компонент из отходов с необходимой степенью очистки. Обычно в качестве выщелачивающего агента применяют серную кислоту либо карбонатные растворы, однако, в представленной работе для извлечения урана из шлама была использована азотная кислота. Полученные азотнокислые продуктивные растворы затем направляли на переработку методом жидкостной экстракции с применением нейтрального экстрагента трибутилфосфата (ТБФ).

На первом этапе осуществляли выщелачивание урана из шлама следующим образом. Навеску шлама массой 500 г приводили в контакт с раствором азотной кислоты с массовой концентрацией 150 г/л. Выщелачивание проводилось при 80

°С в течение 3 часов. В результате был наработан продуктивный раствор с рН 0,21 и содержанием урана 245 мг/л.

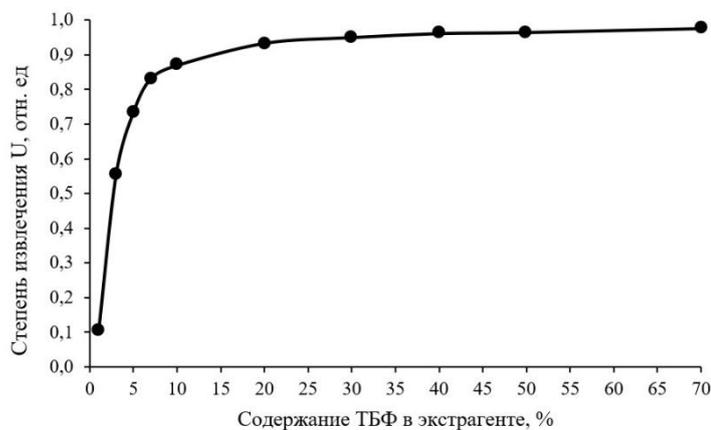


Рис. 1. Зависимость степени извлечения урана от содержания ТБФ в экстракционной смеси

Экстракция урана из полученного продуктивного раствора вели смесью ТБФ и инертного растворителя Shellsol D60, варьируя долю трибутилфосфата в экстракционной смеси в интервале от 1% до 70%. Соотношение органической и водной фаз составило 1:1. Время контакта фаз при постоянном перемешивании – 15 мин. По окончании эксперимента фазы разделяли и анализировали рафинаты на содержание урана методом ICP-AES. На рис. 1 приведена зависимость степени извлечения урана из продуктивного раствора от содержания ТБФ в экстракционной смеси. Применение экстракционной смеси 10% ТБФ + 90% Shellsol D60 позволяет извлечь уран из азотнокислого продуктивного раствора на 87%. При этом концентрация урана в органической фазе составила 215 мг/л. Дальнейшее увеличение содержания ТБФ нецелесообразно, так как приводит к незначительному увеличению как степени извлечения урана, так и концентрации металла в органической фазе.

Таким образом, азотнокислое выщелачивание и последующая экстракция урана ТБФ являются эффективным способом переработки шламов конверсионного производства.

1. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: Учебное пособие для вузов. – Москва: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 407 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ МОДЕЛЬНОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ НА ОТРАБОТАННОМ КАТАЛИЗАТОРЕ ГИДРООЧИСТКИ

Докучаев И. С.¹, Максимов Н. М.¹

¹ Самарский государственный технический университет
E-mail: e2.71@mail.ru

INVESTIGATION OF TRANSFORMATIONS OF MODEL PETROLEUM RAW MATERIALS ON A SPENT HYDROTREATING CATALYST

Dokuchaev I. S.¹, Maximov N. M.¹

¹ Samara State Technical University

Experiments were carried out to investigate the physicochemical properties and catalytic activity of the regenerated spent catalyst on model mixtures and conclusions were drawn about the prospects of using catalysts of this type in the process of thermal cracking in the presence of a catalyst.

Сокращение запасов традиционных легких нефтей все больше подталкивает нефтяную промышленность к переработке более тяжелых нефтей и остатков. Актуально создание альтернативных дорогостоящим процессам каталитического крекинга и гидрокрекинга технологий по переработке вакуумного газойля и нефтяных остатков [1].

Одним из перспективных направлений переработки нефтяных остатков являются термокаталитические процессы с использованием высокодисперсных систем. Главной задачей технологов является подбор оптимального катализатора, который бы способствовал благоприятному протеканию реакции крекинга, при этом он должен быть относительно дешевым и иметь большую сырьевую базу [2].

В данной работе было предложено использование отработанного алюмокобальтмолибденового катализатора гидроочистки в процессе термического крекинга с суспендированным слоем катализатора.

Целью исследований является изучение роли данного образца катализатора и доноров водорода в процессе крекинга.

В качестве реактивов для модельных соединений использовались следующие углеводороды: н-додекан (х.ч.), декалин (х.ч.), изопропилбензол (х.ч.), толуол (х.ч.).

Испытания проводились на установке с микропроточным реактором под давлением 1,6 МПа в интервале температур 400-440 °С, объемная скорость подачи сырья в интервале 1-3 ч⁻¹, а кратность циркуляции водорода составляла 300 нм³/м³. В реактор загружали отработанный катализатор гидроочистки после прокаливания при 470 °С в количестве 4,0 см³, носителем в котором является оксид

алюминия, активной фазой – оксиды кобальта (4,31 % масс.) и молибдена (20,52 % масс.). Количество десорбируемого аммиака по результатам ТПД – 802 мкмоль/г.

На основании анализа продуктов реакции, для превращений системы «н-додекан – толуол» на катализаторе наиболее выраженными были реакции изомеризации, крекинга и образования ароматических углеводородов.

Для превращений системы «декалин – толуол» на катализаторе гидроочистки наиболее выраженными были реакции дегидрирования с образованием нафталина и его производных.

Были рассчитаны константы скорости реакции образования нафталина в системе «декалин – толуол». По константам скорости реакции образования нафталина при различных температурах на исследуемом катализаторе была рассчитана энергия активации, которая составила 136,1 кДж.

Нафтеновые углеводороды могут выступать в роли донора водорода и создавать парциальное давление водорода в зоне реакций, что подавляет реакции крекинга, но с другой стороны становится возможным прохождение полезной реакции гидродесульфуризации при наличии серы в сырье.

Возможность исследуемого катализатора в процессе крекинга нефтяных остатков в присутствии донора водорода способствовать реакциям переноса водорода при подавлении реакций коксообразования с увеличением селективности процесса, делает вариант использования данного катализатора в процессе термического крекинга с суспендированным слоем катализатора технологически перспективным.

1. Dehkissia S., Larachi F., Chornet E. Catalytic (Mo) upgrading of Athabasca bitumen vacuum bottoms via two-step hydrocracking and enhancement of Mo-heavy oil interaction. *Fuel*. 2004. № 83. P. 1323-1331.
2. Хаджиев С.Н. Наногетерогенный катализ новый сектор нанотехнологий в химии и нефтехимии (обзор). *Нефтехимия*. 2011. №1. С. 3-16.

СИНТЕЗ КТ ДОПИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Дуйсенбай Б.А.¹, Дауренбеков Д.Х.¹, Мыктыбаева М.Б.¹, Акжалбекова А.Е.¹

¹ Евразийский Национальный Университет им.Л.Н.Гумилева
E-mail: b.duisenbay@mail.ru

SYNTHESIS OF QDS DOPED WITH RARE-EARTH IONS

Duisenbay B.A.¹, Daurenbekov D.Kh.¹, Myktybayeva M.B.¹, Akzhalbekova A.E.¹

¹L.N.Gumilev Eurasian National University

The synthesis of AIBVI quantum dots is one of the important problems in science today. As they are very important for the world of microelectronics, because they can bring a big breakthrough in this field. Studying the synthesis as well as testing new synthesis methods is very important.

Для применения квантовых точек из групп AIBVI имеется ряд проблем. Так как квантовый выход люминесценции таких КТ будет изменяться при изменении свойств окружающей среды. Также существенной проблемой является стабильность «ядер» в водных растворах. Нестабильность связана с поверхностными «состояниями», которые выступают в виде безызлучательных центров рекомбинации или же в виде «ловушек» для e-h пар.

Для того, чтобы улучшить состояние солнечной энергетики и сопровождающих их технику, солнечные элементы, необходимо получить качественные КТ с допированными редкоземельными ионами.

Широко известным методом для таких работ является метод синтеза коллоидных КТ в неполярных средах. В таком виде синтеза выделяют три главных этапа: 1) нуклеация; 2) рост зародышей; 3) этап созревания Освальда;

Здесь проблему вызывает именно третий этап. Так как именно в этом этапе большие частицы продолжают расти за счет растворения более мелких частиц. За счет этого наблюдается дефокусировка. Но если реакцию быстро остановить на этом этапе, частицы будут разных размеров. По этой причине на стадии созревания Освальда невозможно получить монодисперсные частицы. Размер оставшихся после полного исчезновения пересыщения частиц может достигать микрометров, поэтому нанокристаллы с хорошим распределением по размерам можно получить лишь при взрывной нуклеации и остановке реакции быстро после ее окончания и до начала созревания Освальда. Поэтому это является проблемой для получения монодисперсных КТ.

Для решения данной проблемы, мы рассчитываем провести последовательно координированный комплекс исследований.

Работа выполнена в рамках научного проекта IRN AP08856436 «Синтез и исследование люминесцентных квантовых точек допированных редкоземельными ионами для

эффективного преобразования солнечной энергии» комитета науки МОН РК за 2020-2022 гг.

1. Synthesis of narrow blue emission gradient ZnSeS quantum dots and their quantum dot light-emitting diode device performance
2. Protocol on synthesis and characterization of copper-doped InP/ZnSe quantum dots as ecofriendly luminescent solar concentrators with high performance and large area.

СОСТАВ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ ПЛЕНОК CdPbS

Селянина А.Д.¹, Дёмина Д.А.¹, Поздин А.В.¹, Маскаева Л.Н.^{1,2},
Марков В.Ф.^{1,2}

¹) Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Россия, Екатеринбург

²) Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, Екатеринбург
E-mail: dyominadar@mail.ru

COMPOSITION OF CHEMICALLY DEPOSITED CdPbS FILMS

Selyanina A.D.¹, Dyomina D.A.¹, Pozdin A.V.¹, Maskaeva L.N.^{1,2}, Markov V.F.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

In this work, we studied the composition of CdPbS thin films obtained by chemical deposition for 15–120 min and at varying from 0.01 to 0.1 mol/l CdCl₂. At the initial stages of the process (up to 30 minutes), cadmium is actively included in the CdPbS layers.

Пленки твердых растворов в системе CdS - PbS – известные полупроводниковые соединения, нашедшие применение как в опто- и наноэлектронике, так и в сенсорике и гелиоэнергетике [1-2]. Функциональные свойства этих полупроводниковых соединений зависят от соотношения кадмия и свинца в составе пленочных образцов. Одним из перспективных методов синтеза трехкомпонентных слоев CdPbS является химическое осаждение из водных сред, но этот процесс осложнен протеканием двух конкурирующих реакций – образованием CdS и PbS. Еще одной особенностью обсуждаемого процесса является конденсация твердой фазы CdPbS не только на подложке в виде пленки, но и порошкообразного осадка в объеме реакционной смеси. Перераспределение сульфидов свинца и кадмия между осадком и пленкой зависит от состава реакционной ванны и условий химического осаждения. Поэтому представляло интерес исследовать содержание кадмия в пленочном слое CdPbS в зависимости от содержания CdCl₂ в реакционной смеси и длительности химического осаждения.

Трехкомпонентные слои CdPbS получены из реакционных ванн, содержащих фиксированные концентрации PbAc₂ (0.04 моль/л), Na₃Cit (0.35 моль/л), NH₄OH (4.0 моль/л) и N₂H₄CS (0.06 моль/л) при варьировании хлорида кадмия от 0.01 до 0.1 моль/л. Синтез проводили при 353 К в интервале от 15 до 120 мин. Исследование элементного состава осажденных слоев проводили с использованием растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом EDX.

Изменение содержания кадмия в составе пленок CdPbS от концентрации соли кадмия в реакционной ванне и длительности процесса химического осаждения демонстрирует рис. 1. При концентрациях 0.01 и 0.02 моль/л CdCl₂ кадмий в

составе пленок CdPbS обнаруживается только спустя 60 мин от начала процесса. Однако при концентрациях CdCl_2 в диапазоне 0.04 – 0.1 моль/л и длительности синтеза, равного 15 минут, слои достаточно обогащены кадмием, содержание которого варьируется от 5.8 (0.04 моль/л) до 22.4 ат. % (0.1 моль/л). С ростом концентрации хлористого кадмия в реакционной ванне при проведении осаждения в течение 30, 45 и 60 минут наблюдается монотонное увеличение доли кадмия в образцах CdPbS. При равном содержании солей CdCl_2 и PbAc_2 в реакционной ванне установлено максимальное количество кадмия 9.4 и 13.7 ат. %, соответствующие 90 и 120 минут.

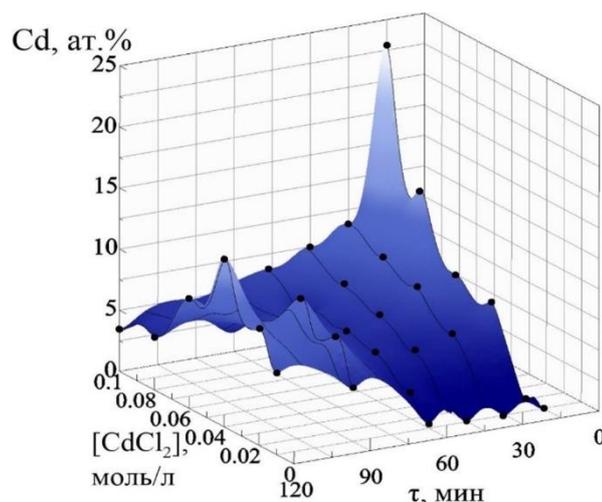


Рис. 1. Зависимость содержания кадмия в трехкомпонентных соединениях CdPbS от концентрации CdCl_2 в реакционной смеси и длительности химического осаждения

Полученные результаты исследования состава слоев CdPbS позволяют сделать заключение о том, что на начальных стадиях синтеза (до 30 минут) и начальной концентрации ионов Cd^{2+} , равной или превышающей концентрацию Pb^{2+} , кадмий более активно входит в состав пленок. При таких же концентрациях спустя 90 и 120 минут сульфид кадмия осаждается в объеме реактора в виде осадка, не закрепляясь на поверхности пленок, вследствие чего содержание кадмия в пленках снижается. Результаты, полученные в приведенном исследовании, позволяют проводить контролируемый синтез полупроводниковых слоев CdPbS с требуемыми характеристиками.

1. Hernandez-Borja J., Vorobiev Y.V., Ramirez-Bon R. Thin film solar cells of CdS/PbS chemically deposited by an ammonia-free process. *Sol. Energy Mater. and Sol. Cells*. 2011. Vol.95. No.7. P.1882-1888.
2. Ahmada S. M., Kasima S. J., Latif L.A. Effects of thermal annealing on structural and optical properties of nanocrystalline $\text{Cd}_x\text{Pb}_{1-x}\text{S}$ thin films prepared by CBD. *Jordan J. of Physics*. 2016. Vol.9. No.2. P.113-122.

ADAPT AND MAKE ACCESSIBLE THE TRI-N-OCTYLPHOSPHINE-ASSISTED SILAR METHOD

Eralieva A.A.¹, Ospanova A.K.¹, Abdillaeva A.¹, Kagazbek A.¹, Kainarbay A.Z.¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian national university
E-mail: aygerime62@gmail.com

To meet the needs of light-emitting equipment and related technology, LEDs, fluorescent solar concentrators, it is necessary to prepare high-quality quantum dots of semiconductors of the core-shell type. We conducted a set of sequential studies, testing existing QD synthesis techniques.

Semiconductor nanocrystals, or QD with a multilayer shell, have great potential. However, their use is severely limited due to the large value of FWHM (determines the purity of the color), the inaccurate controlled wavelength of radiation λ (determines the position of the radiation band) and the decrease in the quantum yield of luminescence QY (determines the brightness of the radiation) as the number of shell layers increases. Thus, there is still a big problem to improve the photoluminescent properties of QD. This provision determines the relevance of the topic of this study. The obtained research results will be used in the production of QLED prototypes.

Research methodology. The most widely used method for performing such work is the SILAR method. However, internal dislocation deformations, shell defects cannot be completely eliminated by this technique. To get a core-shell QD with a high QY, you have to sacrifice FWHM. Thus, the synthesis of core-multi-shell QD with an improved FWHM value is still a big problem. To solve this problem, we conducted a set of sequential studies, testing existing QD synthesis techniques to obtain the desired quality of QD.

Experimental research. In this work, the method (1) based on tri-n-octylphosphine was used to obtain CdSe/3ZnS QD with a narrow FWHM, strictly regulated position of the radiation band, the influence of experimental conditions on the photoluminescent properties of QD with several zinc sulfide shells was investigated.

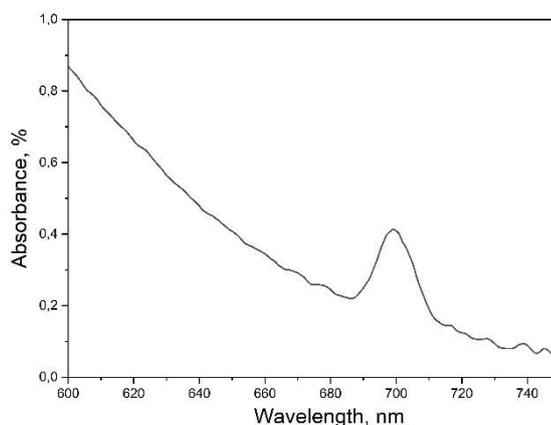


Fig. 1. An effective method for obtaining QD with multiple ZnS shells with pure color radiation (FWHM less than 20 nm, even after coating with 3 monolayers)

Preliminary data of experimental research. Experimental results with a modification of the authors' methodology (1) showed the following: injection of TOP between the stages of the introduction of molecular precursors acts as an activator of successful shell buildup, allows you to build up a layer of more than three, without building up an intermediate layer from CDs; injection of shell precursors of 100 $\mu\text{l}/\text{min}$, allows you to get a high QY value, as well as an exposure of 10 minutes between injections of precursors, etc. It is shown that this is an effective method for obtaining QD with multiple ZnS shells with pure color radiation (FWHM less than 20 nm, even after coating with 3 monolayers), figure 1, precisely controlled radiation and high QY (>50%). The wavelength of radiation λ can be continuously adjusted by simply changing the radiation of nanocrystals by changing the d nuclei and h shells. In addition, the knowledge gained in the course of this study allowed us to better form a proposal for measuring the PV measurement QD at the next stage, it became possible to obtain a synthesis of QD for LED technology with high color saturation.

1. Cuiling Ren, Junjie Hao, Hongli Chen, Kai Wang, Dan Wu, Prepare core–multishell CdSe/ZnS nanocrystals with pure color and controlled emission by tri-n-octylphosphine-assisted method // *Applied Surface Science* 353 (2015) 480-488.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОНКОСЛОЙНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Ермолаева В.Д.¹, Семенищев В.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
E-mail: Lera4kaae@yandex.ru

SYNTHESIS AND STUDY OF SORPTION PROPERTIES OF THIN- LAYER SORBENTS BASED ON CADMIUM SULFIDE

Ermolaeva V.D.¹, Semenishchev V.S.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg

A method for synthesis of cadmium sulfide using for the sorption process has been developed. The concentration of the precipitated component on the films after synthesis was calculated. Sorption of polonium and uranium on these sorbents was evaluated.

Тонкослойные сорбенты (ТС) на плоских носителях используются в практике анализа альфа-излучающих изотопов для совмещения в одну операцию селективного выделения радионуклида и приготовления тонкослойного источника для спектрометрии. Объектом исследования в данной работе являлись тонкие пленки сульфида кадмия, полученные путем химического жидкофазного осаждения на полиэтилен, полиэтилентерефталат и триацетатцеллюлозу. Результат с наибольшим значением CdS был получен на полиэтилене (ПЭ): содержание CdS в сорбенте CdS-ПЭ составило 13,4 мкг/см².

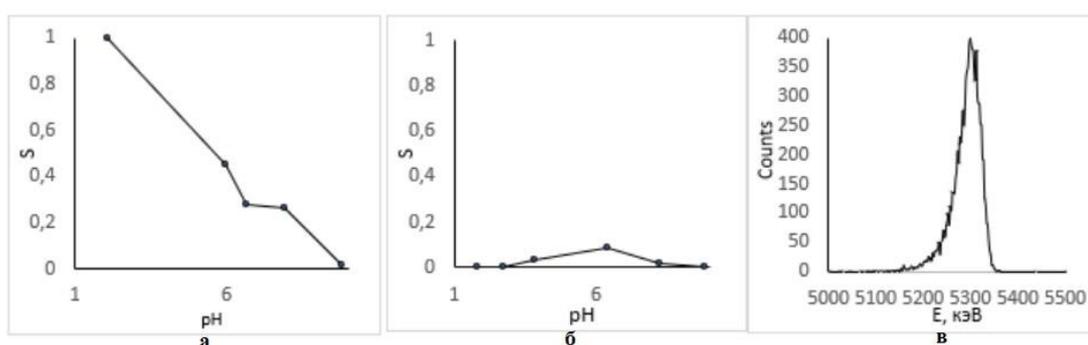


Рис. 1. Зависимость сорбции Po-210 (а) и U-233 (б) от pH и пример альфа-спектра Po-210 (в) на сорбенте CdS-ПЭ

Для сорбента CdS-ПЭ была изучена зависимость сорбции Po-210 и U-233 от pH раствора для системы 20 мл раствора – 4 см² сорбента. Было определено, что сорбция урана незначительна в интервале pH от 1,8 до 9,8, тогда как сорбция

полония эффективно протекает при $\text{pH} = 2$ (рис. 1 а, б). Альфа-спектр Po-210 на сорбенте CdS-ПЭ (рис. 1в) имел энергетическое разрешение близкое к идеальному (53 кэВ) за счет малой толщины сорбционного слоя. Таким образом, сорбент CdS-ПЭ перспективен для разработки метода анализа полония в природных пробах.

СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА И ПЛАТИНЫ В ШЛАКЕ ПРИ ПЛАВКЕ СУЛЬФИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Амдур А.М.¹, Федоров С.А.^{1,2}

¹) Уральский государственный горный университет

²) Институт металлургии УрО РАН

E-mail: saf13d@mail.ru

REDUCTION OF GOLD AND PLATINUM CONTENT INTO SLAG DURING THE MELTING OF SULFIDE MATERIALS

Amdur A.M.¹, Fedorov S.A.^{1,2}

¹) Ural State Mining University

²) Institute of Metallurgy UrB RAS

Based on the experiments performed, it was shown that slag blowing with an inert gas and the addition of fluorite to the initial charge can reduce the content of gold, platinum and non-ferrous metals in the slag by 1.1-5.5 times during the melting sulfide materials.

При плавлении сульфидных материалов на штейн часть золота и платины переходят в шлак. Это приводит к потерям металлов. Известно [1], что благородные металлы в шлаках находятся в сульфидных каплях. Одной из причин наличия этих капель в шлаке является их флотация газовыми пузырьками вследствие разложения сульфидов и других минералов при нагреве и плавлении исходного материала [2]. Однако, флотация служит и одним из основных механизмов укрупнения дисперсных сульфидных капель: пузырек, пройдя от границы шлак-штейн до поверхности шлака, захватит на своем пути тысячи сульфидных микрокапелек, объединив их в одну крупную (рис. 1).

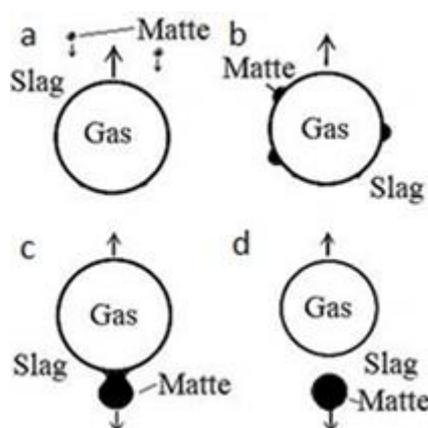


Рис. 1. Схема движения сульфидных капель (Matte) и пузырька (Gas) в шлаке (Slag): а – движение пузырька и капелек навстречу друг к другу; б – собирание пузырьком капелек; в – объединение капелек в одну крупную и ее отрыв от пузырька; д – движение укрупненной капли в сторону штейна и всплывание пузырька.

Таким образом, возможным вариантом снижения содержания сульфидных капель в шлаках при плавке сульфидных материалов – это продувка шлака газом и уменьшение его вязкости путем добавления флюса в исходную шихту.

Для проведения опытов выбрано два флюса – кальцит и флюорит. Кальцит при нагреве диссоциирует с образованием газа CO_2 . Этот газ не будет окислять сульфидные капельки и будет осуществлять продувку шлака. Шлаки с флюоритом имеют невысокие значения поверхностного натяжения, температуры плавления и вязкости [3]. Благодаря понижению вязкости расплава, скорость осаждения сульфидных капель в нем увеличится.

В качестве опытного образца для установления влияния кальцита на изменения содержания золота, платины и цветных металлов (Cu, Ni, Co) в шлаке после плавления сульфидного материала выбрана Cu-Ni сульфидная руда. Для изучения влияния флюса флюорита использовалась смесь Cu-Ni-Fe штейна и модельного шлака ($\text{CaO/SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 40/40/20$) в соотношении 5:3. Эксперименты проводились в печи сопротивления с графитовым нагревателем в корундовых тиглях, в атмосфере воздуха при температуре 1300°C , время выдержки 30 мин.

Результаты экспериментов показали, что после добавки кальцита в количестве 5-10 масс.% произошло существенное снижение содержания серы в шлаке в 4 раза. Это в свою очередь привело и к снижению золота в шлаке в 2 раза, цветных металлов в 3-5.5 раз. Содержание платины в шлаке упало с 2.15 до 2.06 г/т. Количество выделившегося при плавке газа соответствует его расходу более 0.2 л/мин. Добавка флюорита 10-12 масс.% заметно уменьшила содержание серы, цветных металлов в 1.5-2 раза. Золото в шлаке не обнаружено. Влияние флюорита на количество платины в шлаке не установлено, вероятно, из-за недостаточной точности ее определения применяемой методикой.

На основании данных опытов предложен способ по повышению извлечения золота и платины в штейн при плавке сульфидных материалов, который включает в себя применение разработанного устройства для продувки шлака инертным газом и добавлении в исходную шихту флюорита в количестве не более 12 масс.%. Это позволит снизить потери благородных и цветных металлов со шлаками в 1.1-5.5 раза.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-29-24081\20.

1. A. M. Amdur, S. A. Fedorov, V. V. Yurak. Metals 11 (10), 1-14. (2021).
2. A. Amdur, E. Selivanov, S. Fedorov, V. Pavlov, S. Krasikov. JMMB 57 (2), 209-215 (2021).
3. S.N. Zherebtsov, E.A. Chernyshov. Proceedings of the NSTU 1 (112), 228-235 (2016).

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3$ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАУРИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Галиаскарова М.Р.¹, Машковцев М.А.¹, Бакшеев Е.О.¹, Степанова М.Ю.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: Sherlocked221b69@mail.ru

SYNTHESIS OF SOLID SOLUTIONS $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3$ WITH THE USE OF LAURIC ACID

Galiaskarova M.R.¹, Mashkovtsev M.A.¹, Baksheev E.O.¹, Stepanova M.Y.¹

¹) Ural Federal University, 620002, Yekaterinburg, Russia

The work is devoted to the synthesis of a composition based on oxides of cerium, zirconium, yttrium and lanthanum with high thermal stability, using lauric acid as a structuring additive.

Проблема загрязнения окружающей среды токсичными соединениями в выхлопных газах автомобилей, количество которых с каждым годом лишь растет, остается актуальной. Одним из способов решения этой проблемы является создание высокоэффективных трехмаршрутных катализаторов. Важным компонентом таких катализаторов являются композиции на основе церия и циркония, обладающих высокой кислородной емкостью (OSC-материалы). На данный момент известна технология синтеза твердых растворов оксидов Ce, Zr, Y и La с применением изопропилового спирта (ИПС) для замещения влаги в синтезируемом порошке [1]. Однако, ИПС – легковоспламеняющаяся жидкость, его применение в технологическом процессе является нежелательным.

В патентах компании РОДИА ОПЕРАСЬОН [2 – 5], авторы добавляют к суспензии гидратированных оксидов структурирующую добавку, функцией которой является контроль пористости смешанного оксида. Структурирующая добавка содержит полярные химические группы, которые взаимодействуют с химическими группами на поверхности осадка. Позднее структурирующую добавку удаляют на стадии обжига. Помимо спиртов авторы также рассматривают различные карбоновые кислоты, в частности, лауриновую кислоту. Поэтому целью данной работы являлось исследование возможности синтеза композиции на основе оксидов церия, циркония, иттрия и лантана, обладающей высокой термической стабильностью, с применением лауриновой кислоты в качестве структурирующей добавки.

Образцы твердых растворов CeZrYLaO_x были синтезированы методом контролируемого двухструйного осаждения при различных условиях синтеза. В ходе работы были исследованы влияния условий гидротермальной обработки, отмывки осадков от сопутствующих солей, а также количества введенной

лауриновой кислоты на термическую стабильность твердых растворов. Были проведены сравнительные испытания образцов, синтезируемых по технологиям с применением ИПС, с добавлением лауриновой кислоты и без различных ПАВ.

Исследование показало, что композиция на основе Ce, Zr, Y и La с применением ИПС обладает высокой удельной поверхностью после старения при 1000 °С в течение 4-х часов на уровне 56 м²/г, с применением НЛ – 48 м²/г, без применения различных ПАВ – 22 м²/г. Таким образом, положительное воздействие различных ПАВ на значение удельной поверхности очевидно. Так, твердые растворы, синтезируемые с применением лауриновой кислоты, уступают по удельной поверхности порошкам, синтезируемых по технологии с ИПС, однако разница этих значений приемлема для оптимизации процесса на производстве.

1. Машковцев М.А. Синтез, физико-химические свойства и применение твёрдых растворов Zr_{0,5}Ce_{0,4}Ln_{0,1}O_x: диссертация кандидата химических наук: 05.17.02 – Екатеринбург, 2013. – 105 с.
2. Пат. 2610080 Российская Федерация, МПК С 01 G 25/02, С 01 F 17/00, В 01 J 21/06, В 01 J 23/10, В 01 D 53/94. Композиция на основе оксидов церия, циркония и другого редкоземельного металла с высокой восстановительной способностью, способ получения и применение в области катализатора/ Ифра С., Роар Э., Эрнандес Ж. и др.; заявитель и патентообладатель РОДИА ОПЕРАСЬОН (FR). - № 2014101338; заявл. 13.06.2012; опубл. 07.02.2017, Бюл. № 4 – 22 с.
3. Пат. 2753046 Российская Федерация, МПК С 01 G 25/00, С 01 F 17/32, В 01 D 53/94, В 01 J 21/06, В 01 J 23/10, В 01 J 35/10, В 01 J 37/04, F 01 N 3/10. Смешанный оксид на основе церия и циркония/ Жоржи Коэлью Маркеш Р., Ифра С., Шабер Б.; заявитель и патентообладатель РОДИА ОПЕРАСЬОН (FR). - № 2018141236; заявл. 25.04.2017; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 23 – 24 с.
4. Пат. 2746315 Российская Федерация, МПК С 01 F 17/235, В 01 D 53/94, В 01 J 23/10, В 01 J 35/10. Частицы оксида церия и способ их получения/ Охтаке Н., Окампо Ф., Жоржи Коэлью Маркеш Р.; заявитель и патентообладатель РОДИА ОПЕРАСЬОН (FR). - № 2018144616; заявл. 17.05.2017; опубл. 12.04.2021, Бюл. № 11 – 17 с.
5. Пат. 2407584 Российская Федерация, МПК В 01 D 53/94, С 01 G 25/02, В 01 J 23/10, В 01 J 37/03. Состав на основе оксида циркония и оксида церия с повышенной восстановительной способностью и стабильной удельной поверхностью, способ получения и использование для обработки выхлопных газов/ Вердье С., Лярше О., Роар Э.и др.; заявитель и патентообладатель РОДИА ОПЕРАСЬОН (FR). - № 2008141699/05; заявл. 19.03.2007; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36 – 15 с.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСАЖДЕНИЯ НА КРУПНОСТЬ ЧАСТИЦ ФТОРИДА НЕОДИМА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Гасимова А. Ф.¹, Щетинский А.В.¹, Дедюхин А.С.¹, Машковцев М.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: a.f.gasimova@gmail.com

INFLUENCE OF PRECIPITATION PARAMETERS ON PARTICLE SIZE OF NEODYMIUM FLUORIDE DURING CONTROLLED DOUBLE-JET PRECIPITATION

Gasimova A.F.¹, Shchetinskiy A.V.¹, Dedyukhin, A.S.¹, Mashkovtsev M.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Influence of equilibrium concentration of fluoride ions, concentration of ammonium chloride, stirring velocity, pH value and starting volume on forming process of neodymium fluoride was studied. Sedimentation size of neodymium fluoride particles was determined by laser diffraction.

В современной технике неодим находит все более широкое применение: использование в качестве легирующих добавок при изготовлении специальных конструкционных сплавов, производство специальных стекол и лазерных материалов и ключевая по важности область его использования – это производство высококоэрцитивных постоянных магнитов (ВкПМ).

Но кроме металлического неодима нашли свое применение в технике и его соединения, например, фторид неодима используются в изготовлении высококачественного оптоволокна для волоконной оптики.

В связи с вышеизложенным представляет интерес изучение процессов осаждения фторида неодима, и влияние на этот процесс различных параметров для определения их оптимальных значений и получения крупнодисперсного, хорошо фильтруемого осадка.

Целью данной работы является исследование влияния на процесс формирования и крупность осадков фторида неодима следующих факторов: равновесной концентрации ионов фтора, концентрации солевого фона, скорости перемешивания, значения pH исходного раствора хлорида неодима и стартового объема.

В качестве неодимсодержащего раствора был выбран раствор хлорида неодима, полученный путем растворения соответствующего оксида в соляной кислоте. Источником ионов фтора являлся раствор фторида аммония. Осаждение проводили путем одновременного дозирования растворов в общий объем реактора при постоянном значении pH. Свойства образцов исследовали при помощи

оптического микроскопа и лазерного анализатора частиц ANALYSETTE 22 NanoТес.

На рисунке 1 представлена зависимость диаметра наиболее представленной фракции частиц от длительности осаждения.

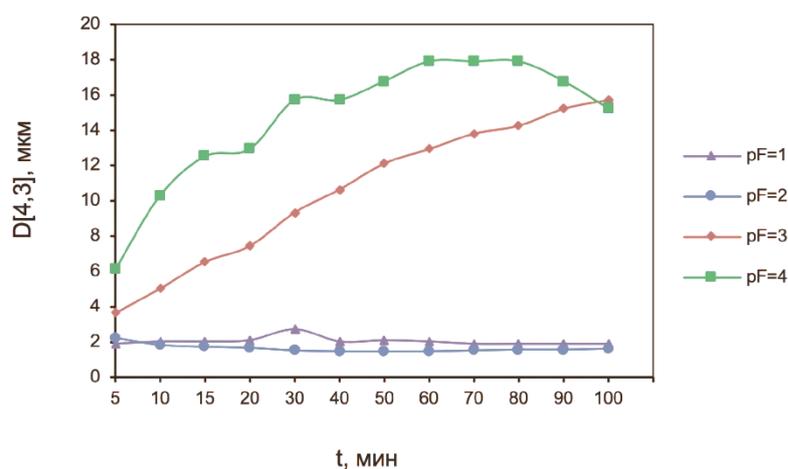


Рис. 1. Динамика изменения диаметра наиболее представленной фракции частиц фторида неодима в зависимости от pF осаждения

Показано, что образцы фторида неодима, полученные в ходе осаждения при концентрации фторид-ионов 10^{-1} моль/л и 10^{-2} моль/л, имеют неустойчивую гелеобразную структуру. Эти частицы при проведении анализа с ультразвуком распадаются на более мелкие фракции.

Максимального размера достигают частицы, полученные в ходе осаждения при равновесной концентрации фторид-ионов 10^{-3} моль/л и 10^{-4} моль/л. Диаметр наиболее представленной фракции частиц фторида неодима составляет 16 мкм.

Также были проведены серии опытов по осаждению фторида неодима при изменении следующих параметров: концентрации солевого фона (хлорида аммония), скорости перемешивания во время осаждения, значения pH исходного раствора хлорида неодима и стартового объема. В результате проведенных исследований были определены их оптимальные значения, получен крупнодисперсный хорошо фильтруемый осадок фторида неодима.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ СОЕДИНЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ НА ПРИМЕРЕ ВИТАМИНОВ С И Е

Газизуллина Е.Р.¹, Старчеусова В.А.¹, Герасимова Е.Л.¹, Иванова А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: e.r.gazizullina@urfu.ru

DETERMINATION OF THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF COMPOUNDS OF DIFFERENT HYDROPHILICITY IN THE COMBINED PRESENCE ON THE EXAMPLE OF VITAMINS C AND E

Gazizullina E.R.¹, Starcheusova V.A.¹, Gerasimova E.L.¹, Ivanova A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Determination of the antioxidant capacity of different hydrophilicity compounds (phytamines C and E) was carried out by the potentiometric method using mixed solvents with a surfactant. The Phosphate Buffer-Ethanol and Acetonitrile (3:2) with Triton X-100 selected as promising for analysis.

Антиоксиданты представляют большой класс соединений разной химической природы, обладающие разной растворимостью в воде. Кроме того, в организме человека антиоксиданты, обладающие разной гидрофильностью, могут являться синергистами, например, аскорбиновая кислота (АК) и α -токоферол (α -ток). Изучение антиоксидантных свойств подобных систем *in vivo* следует проводить совместно. Главной задачей при изучении антиоксидантных свойств соединений разной гидрофильности является выбор условий, позволяющих перевести в раствор гидрофильный и липофильный компоненты системы. Для решения подобных задач чаще всего используют различные поверхностно-активные вещества (ПАВ) для солюбилизации липофильного компонента в водный раствор. Еще одним вариантом является использование смеси растворителей, например, этанол-вода и др.

Ранее нами был предложен способ определения витаминов С и Е в совместном присутствии с использованием ПАВ Triton X-100 ($C_{\text{ПАВ}}=5$ мМ) и в смеси этанол – фосфатный буфер (ФБ) рН 7.4 (2:3). Антиоксидантную емкость (АОЕ) модельных растворов определяли потенциометрическим методом с использованием системы Fe(III)/Fe(II) [1]. Полученные данные достаточно воспроизводимы, правильность определения АОЕ подтверждена методом «введено-найдено». Однако диапазон определяемых концентраций составил ($C=0.05-0.1$) мМ, что недостаточно для изучения реальных объектов.

Для увеличения диапазона определяемых концентраций было предложено использование смешанных растворителей с добавлением ПАВ. В смеси с ФБ

использовали этанол, ацетон, ацетонитрил в соотношении 3:2. Соотношение растворителей выбрано экспериментально, исходя из растворимости обоих компонентов модельных растворов. В качестве ПАВ использовали СТАВ, Triton X-100, SDS, Brij-35 в концентрации, определенной ранее ($C_{\text{ПАВ}}=5$ мМ).

Введение СТАВ приводит к образованию осадка. При использовании SDS и Brij-35 наблюдалась низкая воспроизводимость результатов. Использование ацетона в качестве растворителя, вероятно, приводит к частичному осаждению комплексов железа, что выражается в длительном установлении равновесия системы и отсутствии стабильного потенциала. Системы ФБ-Этанол (3:2) и ФБ-Ацетонитрил (3:2) в присутствии Triton X-100 являются гомогенными, воспроизводимость результатов анализа достаточно высокая. При определении АОЕ АК линейная зависимость наблюдается в диапазоне концентраций (0.05-0.5) мМ в обеих средах, при определении АОЕ α -ток в смеси с этанолом - (0.05-0.5) мМ, в смеси с ацетонитрилом – (0.05–0.3) мМ. Значения АОЕ модельных смесей АК и α -ток в разных соотношениях в среде этанола и ацетонитрила соответствуют введенным концентрациям с учетом стехиометрических коэффициентов. Recovery составили (87.65-99.99)% в смеси с этанолом, (88.96-96.77)% в смеси с ацетонитрилом.

Таким образом, использование смешанных растворителей с добавлением ПАВ позволяет увеличить диапазон анализируемых концентраций, воспроизводимость результатов анализа, что является важным при определении АОЕ реальных объектов.

1. A.V. Ivanova, E.L. Gerasimova, Kh.Z. Brainina, Crit. Rev. Anal. Chem. 45, 311-322 (2015).

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ПРИ ПАРОВОМ РИФОРМИНГЕ МЕТАНА В ПРОГРАММЕ DWSIM

Голдобин Т.А.¹, Никитин А.Д.¹, Рыжков А.Ф.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: tifey.moget@gmail.com

SIMULATION OF A HYDROGEN PRODUCTION PLANT FOR METHANE STEAM REFORMING IN THE DWSIM PROGRAM

Goldobin T.A.¹, Nikitin A.D.¹, Ryzhkov A.F.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The plant for hydrogen production by methane steam reforming was calculate in the DWSIM program with varying steam/methane ratio at the inlet to the reformer. When this ratio is reduced to 2-2.5, the consumption of methane is reduced by 5-10%, the productivity of the plant is increased by 20-30%.

Основной целью, стоящей перед промышленностью и энергетикой, является снижение воздействия на климат, в частности замедление глобального потепления. Достижение поставленной цели предполагается за счет полной декарбонизации энергетики к 2050 г – переходу к водородной энергетике [1]. Переведенные на производство водорода возобновляемые источники энергии, несмотря на их бурное развитие, не смогут обеспечить потребности человечества в водороде из-за недостаточного энергетического потенциала. Для атомных электростанций остается открытой проблема утилизации ядерных отходов. Основным источником водорода, по-видимому, станет ископаемое топливо (природный газ) [2]. В настоящее время промышленно освоена технология производства водорода в результате парового риформинга природного газа. Однако требуется дальнейшее совершенствование технологии (повышение эффективности и производительности) и, главное, интеграция с системой улавливания и захоронения углерода.

В данной работе рассматривается технология парового риформинга природного газа фирмы Linde. Природный газ (метан) из газопровода сжимается газовым компрессором до давления около 2 МПа, подогревается в ходе регенерации теплоты синтез-газа, очищается от соединений серы, и смешивается с паром из котла-утилизатора. Смесь подогревается дымовыми газами и поступает в риформер, где осуществляется паровая конверсия метана на никелевом катализаторе при температуре 600-750°C с внешним нагревом от газовой горелки. Выходящий из риформера синтез-газ (H_2 , CO, CO_2 , CH_4 , H_2O) охлаждается в котле-утилизаторе и поступает в шифт-реактор для конверсии CO. Затем пар из синтез-газа конденсируется в аппарате воздушного охлаждения, а охлажденный синтез-газ

очищается от CO_2 и CH_4 в аппарате короткоциклового адсорбции (КЦА). На выходе из КЦА чистота водорода составляет 99,999%.

Технологическая схема установки для производства водорода смоделирована в программе DWSIM. Расчет парового риформинга метана выполнен по одномерной кинетической модели с заданием кинетики реакции по литературным данным. Расчет шифт-реактора проведен по термодинамическому равновесию методом минимизации энергии Гиббса. Параметры потоков в промежуточных точках схемы определены по материальному и тепловому балансу. Для расчета параметров состояния использовано уравнение Соаве-Редлиха-Квонга. Валидация модели выполнена по данным с действующей промышленной установки. Проведен расчет установки с варьированием соотношения природный газ/пар на входе в риформер. При снижении этого соотношения с текущих 3-3,5 до 2-2,5 потребление природного газа на выработку водорода уменьшается на 5-10% при увеличении производительности установки в 1,2-1,3 раза.

1. M. Jafari et al., *Renew. Sust. Energ. Rev.* 158, 112077 (2022).
2. R. Yukesh Kannah et al., *Bioresour. Technol.* 319, 124175 (2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАКЦИИ НА ПРОЦЕСС ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛАНТАНА И АКТИНИЯ ИЗ КОЛЛЕКТИВНОГО РАСТВОРА РЗЭ

Гордеева М.А.¹, Кириллов Е.В.¹, Кириллов С.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: maryanaberseneva@mail.ru

STUDY OF THE INFLUENCE OF EXTRACTION PARAMETERS ON THE PROCESS OF EXTRACTION OF LANTHANUM AND ACTINIUM FROM A COLLECTIVE REE SOLUTION

Gordeeva M.A.¹, Kirillov E.V.¹, Kirillov S.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Extraction of lanthanum and actinium from a model REE solution was carried out by extraction methods using a neutral tributyl phosphate extractant. The influence of extraction conditions on the process of extraction of lanthanum and actinium from a REE nitric acid solution has been studied.

Активный-227 является востребованным радионуклидом для ядерной медицины [1]. До недавнего времени считалось, что получение данного изотопа в необходимых количествах из урановых руд является малоперспективным процессом вследствие его очень низкого содержания [2]. Главной проблемой использования актиния-227, полученного из урановой руды, является сложность его полного отделения от редкоземельных элементов (РЗЭ) как макропримесей.

В настоящее время для получения соединений индивидуальных РЗЭ высокой степени чистоты применяют, в основном, жидкостную экстракцию, которая является наиболее распространенным, исключительно гибким и высокопроизводительным методом разделения близких по свойствам элементов. Широкое практическое применение для разделения лантаноидов получили нейтральные фосфорорганические экстрагенты, среди которых наиболее известным является – трибутилфосфат (ТБФ).

Данная работа нацелена на изучение экстракции ионов актиния и РЗЭ трибутилфосфатом, влияния условий экстракции: концентрации экстрагента, кислотности раствора и концентрации РЗЭ на степень извлечения и разделения данных элементов.

Для изучения экстракции готовили нитратный раствор лантаноидов с концентрацией от 50 до 400 г/дм³ по сумме РЗЭ. Для получения актиния был изготовлен генератор Ас-228 в соответствии с работой [3].

В результате работы были получены данные о влиянии на степень извлечения и разделения РЗЭ и актиния трибутилфосфатом концентрации азотной кислоты

на стадии насыщения экстрагента, концентрации ТБФ, кислотности исходного раствора РЗЭ, концентрации РЗЭ.

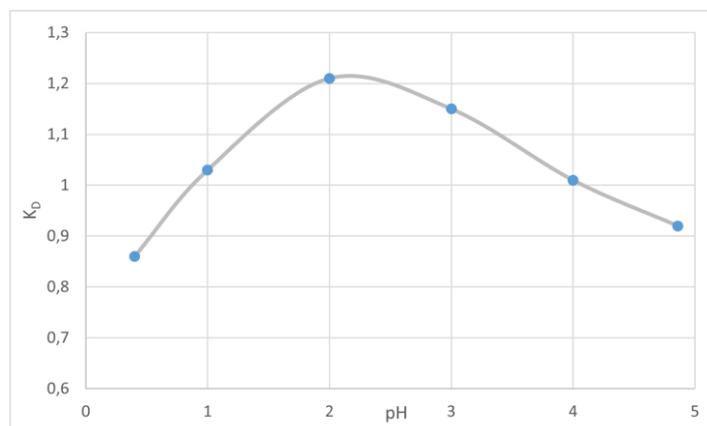


Рис. 1. Зависимость экстракции актиния трибутилфосфатом от pH нитратного раствора РЗЭ

На рисунке 1 представлен график зависимости коэффициентов распределения актиния от кислотности нитратного раствора РЗЭ с концентрацией 400 г/дм³.

График зависимости коэффициента распределения актиния от pH раствора имеет максимум при pH = 2. С повышением кислотности наблюдается понижение коэффициентов распределения актиния, что объясняется конкурентной экстракцией азотной кислоты экстрагентом.

1. Системная альфа-радиотерапия радием-223 (Ксофиго) пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы (мКРРПЖ). Клинический опыт применения препарата в ГАУЗ СО СООД, Екатеринбург / А. С. Кулакова, Д. Л. Бенцион, В. Г. Епишев, В. А. Ветров // Фарматека. – 2021. – Т. 28. – № 11. – С. 47-51. – DOI 10.18565/pharmateca.2021.11.47-51.
2. Kosynkin, V. D. Cleaning rare earth elements from actinium / V. D. Kosynkin, S. D. Moiseev, V. S. Vdovichev // Journal of Alloys and Compounds. – 1995. – Vol. 225. – No 1-2. – P. 320-323. – DOI 10.1016/0925-8388(94)07132-2
3. Патент № 2736600 С1 Российская Федерация, МПК G21G 4/08. Способ получения радионуклидного генератора актиния-228 : № 2019120525 : заявл. 02.07.2019 : опубл. 19.11.2020 / В. С. Семенищев, В. Н. Рычков, Е. В. Кириллов, И. В. Кириченко ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина".

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИСУЛЬФАТОВ И ГИБРИДОВ НА ОСНОВЕ Y-Eu

Гордеев Е.В.¹, Гордеева М.А.¹, Косых А.С.¹, Харисова К.А.¹, Поливода Д.О.¹,
Машковцев М.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: egorgrodeev1998@mail.ru

INVESTIGATION OF THE OPTICAL PROPERTIES OF OXYSULPHATES AND HYBRIDS BASED ON Y-Eu

Gordeev E.V.¹, Gordeeva M.A.¹, Kosykh A.S.¹, Kharisova K.A.¹, Polivoda D.O.¹,
Mashkovtsev M.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In the present work, powders based on yttrium-europium were synthesized: oxysulfate and hybrids based on terephthalic ions. Phosphors in the oxysulfate form emit light more intensely than hybrids.

Слоистые гидроксиды редкоземельных элементов – класс слоистых соединений, обладающий способностью к интеркаляции и эксфолиации. Благодаря этим свойствам, слоистые гидроксиды редкоземельных элементов используют для создания гибридных материалов в виде плёнок и порошков [1]. Гибриды на основе слоистых гидроксидов редкоземельных элементов являются относительно новыми материалами, что делает исследование их свойств актуальной задачей. Целью настоящей работы является исследование фотолюминисцентных свойств оксисульфатного и гибридного люминофора на основе иттрия-европия.

Синтез гибридов и оксисульфатов на основе иттрия-европия состоит из трёх этапов: осаждения слоистого гидроксида редкоземельного элемента, интеркаляции слоистого гидроксида редкоземельного элемента и термической обработки интеркалированного порошка. Слоистый гидроксид иттрия, с молярным содержанием европия 5 мол. %, синтезировали методом контролируемого двухструйного осаждения при pH=8 [2]. Полученные порошки подвергали интеркаляции: по 2 г порошка помещали в 0,5 дм³ раствора додецилсульфата натрия с концентрацией 0,011 моль/дм³, и в раствор натриевой соли терефталевой кислоты с концентрацией 0,002; 0,008 и 0,028 моль/дм³. Полученные суспензии выдерживали в автоклаве при температуре 90 °С в течение 9 часов. Суспензии после гидротермальной обработки фильтровали, а полученный осадок промывали последовательно водой и абсолютным изопропиловым спиртом. После промывки порошок интеркалированный додецилсульфатом натрия прокаливали при 600 °С в течение 2 часов, а порошки интеркалированные натриевой солью терефталевой кислоты сушили при 200 °С в течение 6 часов. В результате были получены следующие

материалы: оксисульфат иттрия-европия (LYH:Eu-DS) и гибридные люминофоры иттрия европия (LYH:Eu-TA-0,21; LYH:Eu-TA-0,71; LYH:Eu-TA-2,43; где цифра – это молярное отношение терефталат-иона к нитрат-ионам во время интеркаляции).

Полученные люминофоры были исследованы с помощью метода фотолюминесцентной спектроскопии. Спектры люминесценции были получены при возбуждении излучением с длиной волны 250 нм. Эти спектры представлены на рисунке 1.

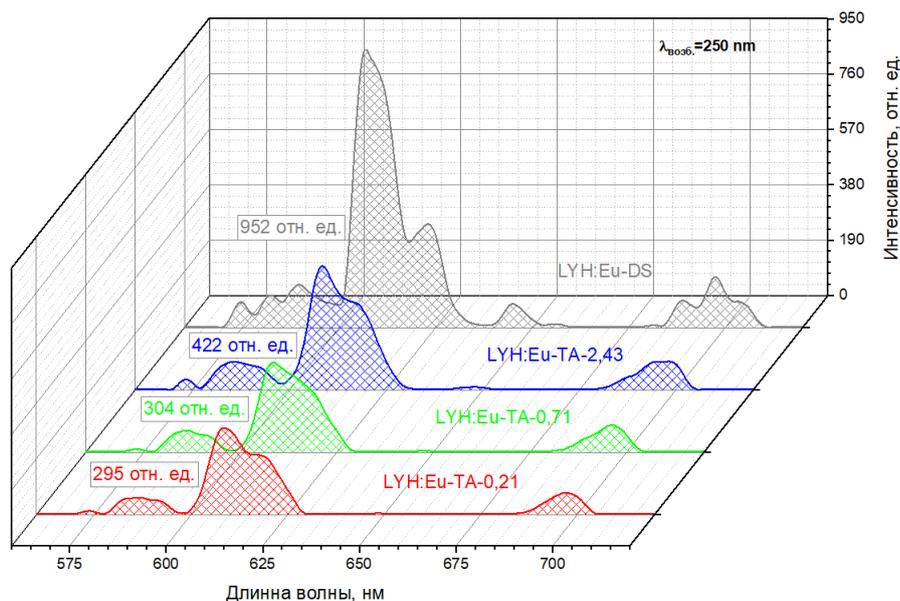


Рис. 1. Спектры люминесценции образцов: LYH:Eu-DS; LYH:Eu-TA-0,21; LYH:Eu-TA-0,71; LYH:Eu-TA-2,43

Наибольшей интенсивностью люминесценции обладает оксисульфат иттрия-европия. Это связано с высокой степенью кристалличности, которая была достигнута термообработкой при более высокой температуре, относительно гибридных образцов. Чем больше отношение терефталат-ионов к нитрат-ионам во время интеркаляции, тем больше интенсивность люминесценции у гибридных порошков. Это может быть связано с количеством терефталат-ионов в межслоевом пространстве. Дальнейшие исследования будут направлены на синтез прозрачных плёнок из полученных материалов и сравнение оптических свойств с аналогичными порошковыми материалами.

Работа частично поддержана проектом FEUZ-2020-0059 Минобрнауки РФ.

1. E. V. Gordeev, M. A. Mashkovtsev, M. A. Berseneva and D. O. Polivoda, AIP Conference Proceedings, Soc. 2280, Iss. 1, 040018 (2020).
2. D. K. Aleshin, M. A. Mashkovtsev, Y. A. Kuznetsova, V. N. Rychkov, A. F. Zatsepin and E. V. Gordeev, Journal of Alloys and Compounds, Soc. 805, 258–266 (2019).

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА ФЕРМЕНТИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАДРУПОЛЬНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Губина Е.В.¹, Чередникова А.А.², Зайцева А.Ю.², Титов Ю.А.², Кузьмин А.Г.²

¹) Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

²) Институт Аналитического приборостроения РАН
E-mail: gubina.z@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CONTROLLING THE GAS COMPOSITION OF FERMENTED PRODUCTS USING A QUADRUPOLE MASS-SPECTROMETER

Gubina E.V.¹, Cherednikova A.A.², Zaitceva A.Yu.², Titov Yu.A.², Kuzmin A.G.²

¹) Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russia

²) Institute for Analytical Instrumentation RAS

In this work, the samples of the gas composition of fermented products were investigated. The analysis of the sample gas composition was performed on a small-size quadrupole mass spectrometer MS7-200 with direct sample introduction at atmospheric pressure, developed at IAP RAS.

Качественный состав пищевых продуктов имеет первостепенное значение для полноценного развития глобальной экономики и формирования здорового человека и гражданина. Ферментированные молочные продукты и напитки имеют множество питательных и терапевтических свойств. Молочнокислые бактерии играют важную роль в определении положительного воздействия на здоровье человека [1]. Ранее был предложен способ предварительного анализа газового состава выдыхаемого воздуха путем масс-спектрометрического анализа [2]. В настоящей работе были исследованы пробы газового состава ферментированной молочной продукции. Анализ состава проб производился на малогабаритном квадрупольном масс-спектрометре MS7-200 с прямым вводом пробы при атмосферном давлении, разработанном в ИАП РАН. Отбор проб производился в специальном образом подготовленные медицинские шприцы емкостью 20 мл.

Были проведены экспериментальные исследования двух видов ферментированной молочной продукции. Первая группа была представлена йогуртами из коровьего и козьего молока, вторая группа кефирами из коровьего молока.

Было показано, что основными компонентами газового состава ферментированной молочной продукции являются ацетон и уксусная кислота [2]. Полученные в результате измерений масс-спектры имели существенные особенности. В обеих группах ферментированной продукции зафиксировано существенное повышение концентрации уксусной кислоты, а также были обнаружены некоторые дополнительные компоненты.

Таким образом показана перспективность использования масс-спектрометрических методов анализа в применении к пищевой промышленности в качестве универсальных технологий для анализа пищевых продуктов, напитков, а также материалов, контактирующих с пищевыми продуктами, с преимуществами высокой чувствительности, высокой селективности и наименьшего времени отклика.

1. Shiby V. K., Mishra H. N. Fermented milks and milk products as functional foods—A review //Critical reviews in food science and nutrition. – 2013. – Т. 53. – №. 5. – С. 482-496.
2. А.Г. Кузьмин, Е.И. Ткаченко, Л.С. Орешко, Ю.А. Титов, А.С. Балабанов. Метод масс-спектрометрической экспресс-диагностики по составу выдыхаемого воздуха.// Медицинский академический журнал, том 16, №4, 2016, с. 106-107.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЗНОЙ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР НА ИЗМЕНЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБКЕ ВЫПАРНОГО АППАРАТА ПЛЕНОЧНОГО ТИПА

Гушшамова В. Н.¹, Хомяков А. П.¹, Морданов С. В.¹, Хомякова Т. В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина
E-mail: 89126634949@yandex.ru

INVESTIGATION OF THE USEFUL TEMPERATURE DIFFERENCE EFFECT ON THE CHANGE IN ABSOLUTE PRESSURE IN THE HEAT EXCHANGE TUBE OF THE FALLING-FILM EVAPORATOR

Gushshamova V. N.¹, Khomyakov A. P.¹, Mordanov S. V.¹, Khomyakova T. V.¹

¹) Ural Federal University

The effect of the useful temperature difference on the absolute pressure change in the heat exchange tube of the falling-film evaporator is investigated. Distributions of local absolute pressure values along the length of the heat exchange tube are obtained.

Исследования гидродинамики двухфазного потока в теплообменных трубках выпарного аппарата пленочного типа являются актуальной задачей [1-5], поскольку полученные данные исследований целесообразно использовать при разработке новых и модернизации существующих вертикальных выпарных аппаратов пленочного типа.

В настоящее время нами проводится комплекс исследований по изучению изменений гидродинамических параметров двухфазного потока по длине теплообменной трубки методом численного математического моделирования [3-5].

Целью данной работы является исследование влияния полезной разности температур на изменения абсолютного давления в теплообменной трубке при движении двухфазного потока в трубном пространстве вертикального выпарного аппарата с падающей пленкой.

Исследование гидродинамики двухфазного потока при движении его сверху вниз по теплообменной трубке проводилось с помощью математического численного моделирования для вертикального выпарного аппарата пленочного типа, оснащенного теплообменной трубой диаметром $\varnothing 38 \times 2$ мм и длиной $L=7$ м. Данные были получены по длине теплообменной трубы с шагом $\Delta L=0,1$ м.

Для моделирования использовались следующие технологические параметры работы выпарного аппарата:

1. Полезная разность температур: $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$; $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$; $\Delta t=15^{\circ}\text{C}$; $\Delta t=20^{\circ}\text{C}$; $\Delta t=25^{\circ}\text{C}$.

2. Давление в верхней растворной камере 30400 Па;

3. Интенсивность орошения теплообменной трубки $3,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{с})$, что соответствует расходу исходного раствора 150 л/ч.

Получено распределение локальных значений абсолютного давления по длине теплообменной трубки для различных значений полезной разности температур (рис.1). Изменение абсолютного давления по длине трубки обусловлено общими потерями давления, которые определяются тремя составляющими: потери на трение жидкой пленки о стенку теплообменной трубки; потери на трение вторичного пара о поверхность жидкой пленки; потери на изменение скоростного напора двухфазного потока.

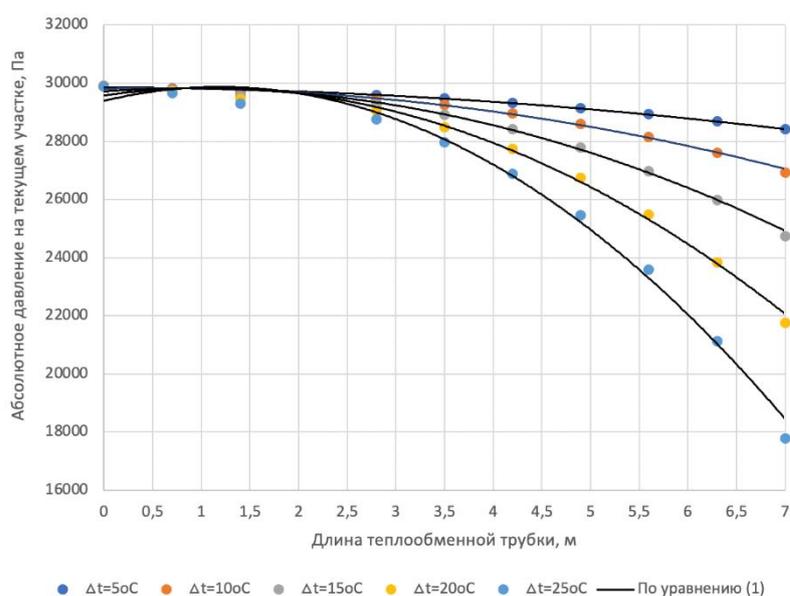


Рис. 1. Распределение локальных значений абсолютного давления в зависимости от значений полезной разности температур и длины теплообменной трубки

Получена аппроксимирующая функция для определения абсолютного давления в теплообменной трубке с учетом потерь давления в зависимости от значений полезной разности температур и длины трубки:

$$P = 29856 + (-0,52 \cdot \Delta t^2 + 0,022 \cdot \Delta t - 14,23) \cdot L^2 + (1,63 \cdot \Delta t^2 - 7,75 \cdot \Delta t - 17,49) \cdot L - 0,94 \cdot \Delta t^2 + 4,94 \cdot \Delta t \pm 1,5\%$$

Установлено, что абсолютное давление снижается по длине теплообменной трубки при всех рассматриваемых значениях полезной разности температур. Также, показано, что абсолютное давление снижается интенсивнее с увеличением значений полезной разности температур. Лимитирующим фактором снижения абсолютного давления являются потери давления на трение вторичного пара о поверхность жидкой пленки.

Снижение абсолютного давления в теплообменной трубке приводит к уменьшению температуры кипения раствора, и увеличению значений полезной разности температур по длине теплообменной трубки. Это положительным образом сказывается на эффективности выпаривания.

1. Hu Z. Hydrodynamics numerical simulation of a vertical falling film evaporator for ionic liquid systems / Z. Hu, Junnan Wang, H. Dong, S. Hussain, S. Zeng, Y. Nie, X. Zhang, S.Zhang // *Chemical Engineering Science*. Vol. 237. 2021. P. 1-8
2. Marangoni C. Falling film distillation column with heat transfer by means of a vapor chamber – part I: isothermal operation / C. Marangoni, A.P. Meneguelo, J.G. Teleken, L.O. Werle, K.W. Milanez, M.B.H. Mantelli, M.B. Quadri, A. Bolzan, M.C. dos Santos, L.C. Medina, R.A.F. Machado // *Chemical Engineering Communications*. 2019. № 206. P. 994-1005.
3. Khomyakov A.P. Investigation of two-phase flow hydrodynamics of heat exchange tube outlet falling film evaporator // Khomyakov A.P., Gushshamova V.N., Mordanov S.V. / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. № 864. DOI: 10.1063/5.0068409
4. Khomyakov A.P. Mathematical model of two-phase flow processes in heat exchange tubes of the falling film evaporator / Khomyakov A.P., Gushshamova V.N., Mordanov S.V., Khomyakova T.V. // *AIP Conference Proceedings*. 2021. № 2388. DOI: 10.1088/1755-1315/864/1/012037.
5. Khomyakov A.P. Investigation of hydrodynamic parameters distribution in heat exchange tubes of falling film evaporator / Khomyakov A.P., Gushshamova V.N., Mordanov S.V., Khomyakova T.V. // *AIP Conference Proceedings*. 2021. № 2388. DOI: 10.1063/5.0068408.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЯ pH ОСАЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Исмагулов Д.Б.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ismagulovdzafar@gmail.com

STUDY OF THE EFFECT OF VALUE pH PRECIPITATION ON THE PROPERTIES OF ZIRCONIUM DIOXIDE

Ismagulov D.B.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work is aimed at studying the influence of the pH value of precipitation of hydrated zirconia. It was shown that the precipitation pH affects the morphology and particle size distribution of the obtained oxides.

Материалы на основе диоксида циркония широко применяются в различных отраслях промышленности в качестве керамики, медицинских изделий, термобарьерных покрытий (ТБП). Это обусловлено такими свойствами, как тугоплавкость, химическая устойчивость, термальная стабильность, хорошая механическая прочность и так далее [1]. Так, например, в пределах керамического производства применяются такие методы, как измельчение материалов, приготовление масс различного типа и формование из них изделий. Свойства изделий из ZrO_2 зависят от свойств исходного порошка. Целью исследования является изучение влияния значения pH осаждения на свойства конечного порошка диоксида циркония.

В качестве прекурсора для синтеза диоксида циркония методом контролируемого двухструйного осаждения (КДО) использовали раствор нитрата цирконила, который получали растворением карбоната цирконила в азотной кислоте. Далее была установлена концентрация раствора нитрата цирконила, среднее значение концентрации 285,83 г/л. Полученный раствор разбавляли водой до установления концентрации 100 г/л. Осаждение проводили в стеклянном реакторе объемом 3 л при комнатной температуре в течение 400 мин при постоянных значениях pH=4 и pH=5 (далее образцы будут обозначаться как Zr-4 и Zr-5 соответственно), скорость перемешивания составляла 600 об/мин. В качестве осадителя использовали 10% раствор аммиака. Полученную суспензию фильтровали на вакуумном нутч-филт্রে, сушили при 40°C в течение 12 часов и затем прокаливали в муфельной печи при 950°C. Свойства образцов исследовали при помощи лазерного анализатора частиц и оптического микроскопа.

На рисунке 1 представлены изменение среднего диаметра частиц и изменение дисперсии размеров частиц в течение осаждения, оптические изображения

частиц на финальной стадии осаждения и распределение частиц по размерам после прокаливания при 950°C для образцов Zr-4 и Zr-5. Показано, что для образцов Zr-4 и Zr-5 в ходе осаждения средний диаметр частиц возрастает с 16,6 до 18,6 и с 20 до 30,2 мкм соответственно (рис. 1-а). Дисперсия размеров частиц всех образцов снижается в ходе осаждения и к концу осаждения составляет 1,21 для образца Zr-4 и 1,13 для образца Zr-5 (рис. 1-б). По оптическим изображениям видно, что частицы представляют собой агломераты околосферической формы небольших размеров с четкими границами. При этом частицы образца Zr-4 обладают наименее сглаженной поверхностью (рис. 1-в) по сравнению с частицами образца Zr-5 (рис. 1-г).

После прокаливания форма частиц всех образцов существенно не изменяется, при этом частицы уменьшаются в диаметре почти в 2 раза и для них характерно узкое распределение частиц по размерам (рис. 1-д). Таким образом, при изменении значения pH осаждения в ходе КДО можно получать порошок оксида циркония со сфероидальной формой частиц и узким распределением частиц по размеру.

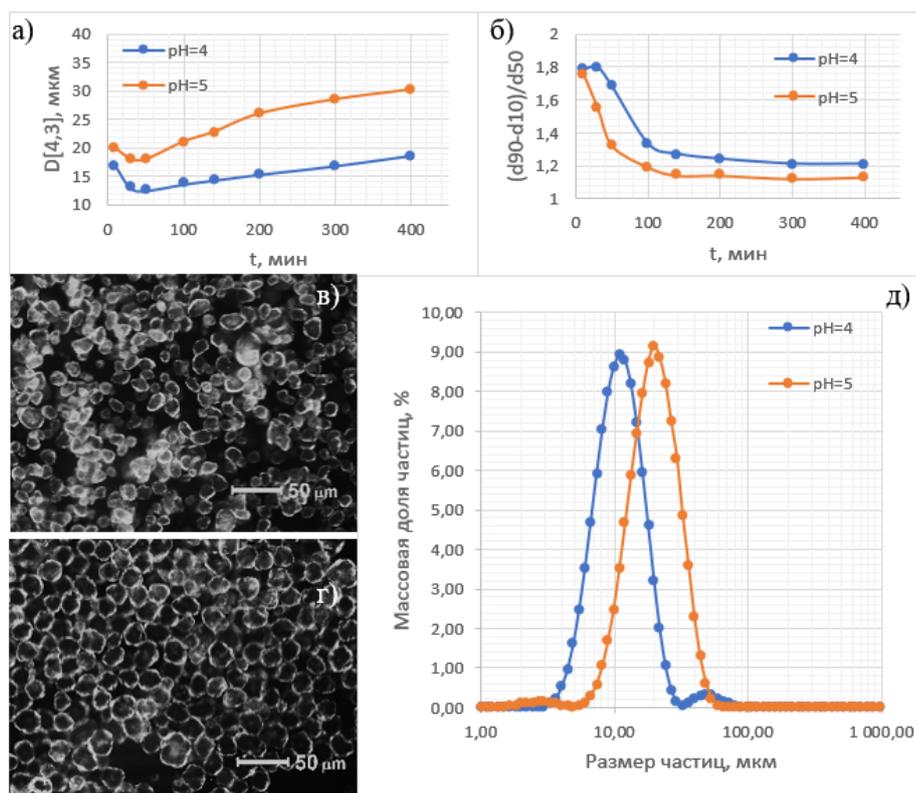


Рис. 1. Изменение среднего диаметра частиц в ходе осаждения - а); изменение дисперсии размеров частиц - б); оптические изображения частиц в конце осаждения при значениях pH 4 и 5 соответственно - в) и г); распределение частиц по размерам после прокаливания - д).

1. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония / Д. С. Рутман, Ю. С. Торопов, С.Ю. Плинер и др. М.: Металлургия (1985)

ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ

Иванцова М.Н.¹, Нейн Ю.И.¹

¹) Химико-технологический институт, Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: m.n.ivantsova@urfu.ru

HISTORICAL DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR THE INDUSTRIAL PRODUCTION OF POLYOLEFINS

Ivantsova M.N.¹, Nein Yu.I.¹

¹) Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University. Ekaterinburg, Russia

Various technologies for the industrial synthesis of polyolefins (PE) were considered, a comparative description of modern methods for the production of various PE and characteristic of the properties dependence of PE on the chosen production method were given in the course of this research work.

В настоящее время полиэтилен является самым используемым и крупнотоннажным полимером [1]. На долю полиэтилена (ПЭ) в общем числе выпускаемых в мире полимеров приходится более 31,5 %. Такая востребованность полиэтилена объясняется его физико-механическими характеристиками, универсальностью применения и простотой технологии изготовления изделий.

В зависимости от метода синтеза выделяют полиэтилен низкого давления (ПЭНД), или полиэтилен высокой плотности (ПВП); полиэтилен высокого давления (ПЭВД) или полиэтилен низкой плотности (ПНП), а также полиэтилен среднего давления (ПСД) или полиэтилен средней плотности.

За десятки лет производства полиэтилена разработано большое количество технологий с целью выпуска сотен марок ПЭ, а также добавок и красителей для придания продукции из него всевозможных потребительских качеств [2]. Долговечность изделий из ПЭ зависит как от свойств исходного полимера, так и от качества получаемых из него изделий и условий эксплуатации.

В результате работы были рассмотрены основные промышленные методы производства полиэтиленов разного давления [3]. Несмотря на разнообразие промышленных методов синтеза ПВП, технология INNOVENE™ S является наиболее перспективной. Это связано с тем, что технология имеет такие достоинства как: хорошо отработанная двухреакторная система; получение широкого ассортимента полиэтилена; гибкость технологии; эффективность реакторного контроля и управления процессом; высокая конверсия. Производство полиэтилена низкой плотности имеет существенно более низкие капитальные вложения и металлоемкость элементов установок, вследствие отсутствия необходимости использования реакторов высокого давления. Процесс получения ПНП в аппаратах

близок к процессам в реакторах идеального смешения. Использование катализаторов Циглера-Натта обеспечивает более высокий выход продукта.

Несмотря на то, что ПЭВД уступает по показателям прочности ПЭНД, изделия из него возможно изготовить с требуемым уровнем прочности за счет толщины материала. Эта особенность и привлекательный внешний вид изделий из ПЭВД обеспечивают его конкурентоспособность по сравнению с ПЭНД. В связи с этим потребность в нем растет с каждым годом.

Для России ПЭВД является традиционным видом полиэтилена. Основные мощности по производству гранул вводились во времена СССР, когда ПЭНД и ЛПЭНП еще не получили достаточного распространения, при этом доступ к зарубежным технологиям был ограничен.

Крупнотоннажный синтез ПЭНД производится практически всеми ведущими мировыми нефтяными и газовыми концернами. В России полиэтилен производится на нефтехимических заводах «Лукойла», СИБУРа, «Роснефти», «Газпрома», на «Казаньоргсинтезе» и «Нижнекамскнефтехиме». Сейчас в России существует пять крупных производителей ПЭВД: Томскнефтехим (СИБУР), Уфаоргсинтез, Казаньоргсинтез, Ангарский завод полимеров (Роснефть), Газпром Нефтехим Салават.

1. ЮНИТРЕЙД [Электронный ресурс]: История создания полиэтилена – URL: <http://unitreid-group.com/poleznoe/istoriya-sozdaniya-polietilena/> (дата обращения: 30.09.2021).
2. Волкова А.В. Рынок крупнотоннажных полимеров [Электронный ресурс] / А.В. Волкова. – электрон. текст. дан. – М.: ВШЭ, 2020. – 74 с.
3. ИТС 32-2017. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. – М.: Бюро НТД, 2017. – 401 с.

ПЕРЕРАБОТКА УРАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КОНВЕРСИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ АЗОТНОКИСЛОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Кабаков А.С.¹, Титова С.М.¹, Наливайко К.А.¹, Скрипченко С.Ю.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kavaev40@mail.ru

PROCESSING OF URANIUM-CONTAINING WASTE OF CONVERSION PRODUCTION BY METHOD OF NITRIC ACID LEACHING

Kabakov A.S.¹, Titova S.M.¹, Nalivaiko K.A.¹, Skripchenko S.Yu.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The possibility of extracting uranium by leaching with nitric acid solutions with different initial acid concentrations has been studied. The degrees of uranium leaching were determined, and the optimal concentration of nitric acid solution was chosen for further experiments.

В настоящее время атомная энергетика стремительно развивается, вместе с тем растет спрос на уран. Следует отметить, что кроме наличия природных месторождений урана, есть и техногенные источники, к которым и можно отнести шламы конверсионных урановых производств. В большинстве случаев, урана в таких отходах содержится не менее 0,15 %, следовательно, разумно ставить вопрос об их переработке. Основные методы переработки – гидрометаллургические, например, ионный обмен, экстракция, электролиз, извлечение из растворов, выщелачивание и др. Чаще всего используют комбинированные методы, сочетающие в себе пиро-, гидрометаллургию и флотацию, обеспечивающие более полное извлечение ценных компонентов.

Так как на начальном этапе переработки таких отходов необходимо извлечь уран из твердой фазы, то можно обратиться к методу выщелачивания [1]. Чаще всего в технологии выщелачивания урана используются минеральные кислоты. В наших экспериментах в качестве выщелачивающего агента опробована азотная кислота.

Выщелачивание урана вели в агитационном режиме. Для каждого эксперимента брали навеску шлама массой 100 г. Концентрацию азотной кислоты в выщелачивающих растворах варьировали в диапазоне 80 – 200 г/л.

Каждый из данной серии опыт проводился при идентичных условиях: скорость перемешивания 300 об/мин, температура 80 °С, при соотношении фаз Т:Ж = 1:3 и времени контакта фаз – 3 ч. После выщелачивания нерастворимый остаток промывали посредством распульковки, фильтровали и отправляли на сушку. Образцы высушенных кеков растворяли в царской водке и направляли пробы на анализ для дальнейших расчетов степени выщелачивания. Продуктивные

растворы (ПР) после выщелачивания направляли на количественный элементный анализ методом ICP-AES. Также все ПР направляли на измерение рН, определение остаточной концентрации кислоты после выщелачивания.

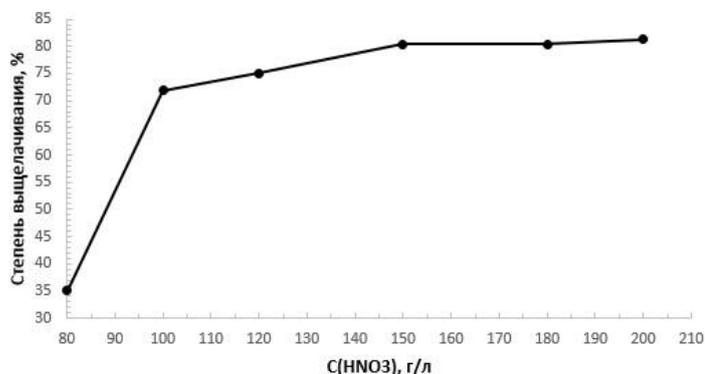


Рис. 1. Зависимость степени выщелачивания урана из шлама конверсионного производства от концентрации азотной кислоты в выщелачивающем растворе

По результатам экспериментов построили график зависимости степени выщелачивания от концентрации азотной кислоты в выщелачивающем растворе, приведенный на рис. 1.

Таким образом, оптимальной концентрацией азотной кислоты в выщелачивающем растворе было принято 150 г/л для данных условий выщелачивания и данного вида шлама, так как дальнейшее увеличение исходной концентрации кислоты не давало значительного прироста в степени выщелачивания урана. При этом остаточное содержание азотной кислоты в продуктивном растворе составило 43,67 г/л, величина рН продуктивного раствора равна 0,22; концентрация урана в ПР составила 349,27 мг/л, и степень выщелачивания урана равна 80,38 %.

Так, можно сделать вывод, что применение азотной кислоты для выщелачивания урана из шламов конверсионных производств достаточно эффективно. Дальнейшие исследования и выбор прочих технологических параметров позволят увеличить степень извлечения урана в ПР.

1. Галкин Н. П., Судариков Б.Н., Верятин У.Д. и др. Технология Урана. Учебное пособие для химикотехнологических вузов и факультетов. – Москва: «АТОМИЗДАТ», 1964. – 400 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СИНТЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ MoS₂ НА ПОВЕРХНОСТИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Калинина В.В.¹, Конопацкий А.С.¹, Барилюк Д.В.¹, Штанский Д.В.¹

¹) Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС»,
Москва, Ленинский пр-кт, д.4, 119049, Россия
E-mail: vladakalinina98@gmail.com

RESEARCH OF THE EFFECT OF SYNTHESIS TEMPERATURE ON THE FORMATION OF THE MoS₂ STRUCTURE ON THE SURFACE OF ACTIVATED CARBON

Kalinina V.V.¹, Konopatsky A.S.¹, Bariluyk D.V.¹, Shtansky D.V.¹

¹) National University of Science and Technology (MISiS), Moscow, Leninsky Prospekt,
4, 119049, Russia

Two-dimensional 2D materials have attracted wide attention in recent years due to their unique physicochemical properties, such as high specific surface area, electromagnetic properties, etc.

Перспективным 2D материалом для применения в различных областях науки и техники является дисульфид молибдена (MoS₂). [1, 2] Наиболее изученным методом синтеза MoS₂ является химическое осаждение из газовой фазы (CVD), с использованием гладкой и плоской подложки. [3] На структуру и свойства частиц MoS₂ влияют следующие факторы: температура синтеза, время синтеза, соотношение исходных прекурсоров, тип подложки и методы обработки подложки. Материалы с развитой поверхностью (например, активированный уголь) представляют интерес как носители для каталитически активных частиц. Таким образом, целью данной работы было исследование влияния температуры синтеза на формирование структуры MoS₂ на поверхности активированного угля.

Синтез частиц MoS₂ производился методом CVD в высокотемпературной трубчатой печи (Nabertherm), с использованием потока аргона в качестве транспортного газа. В качестве подложки были использованы углеродные гранулы (burnt coconut shell). В качестве прекурсоров были использованы порошки MoO₃ и элементной серы (S). С целью более однородного распределения MoS₂ на углеродной подложке, перед синтезом, MoO₃ был нанесен непосредственно на С путем диспергирования в спирте. Для исследования влияния температуры на особенности формирования структуры дисульфида молибдена, были синтезированы два образца при температурах 600 и 700 °С. Исследование структуры образцов и их химический состав осуществлялись методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) и рамановской спектроскопии.

На рисунке 1 приведены СЭМ-изображения частиц MoS_2 , синтезированных на углеродной подложке при разных температурах. Из рисунка 1,а видно, что при температуре 600°C на поверхности активированного угля формируются субмикронные глобулярные частицы MoS_2 . При увеличении температуры синтеза до 700°C , средний размер частиц MoS_2 увеличился и на их гладкой поверхности образовались наноразмерные листы. ЭДС анализ полученных образцов выявил атомное соотношение $\text{Mo}:\text{S} = 1.4:3.2$ (ат. %), это подтверждает образование стехиометрических частиц MoS_2 .

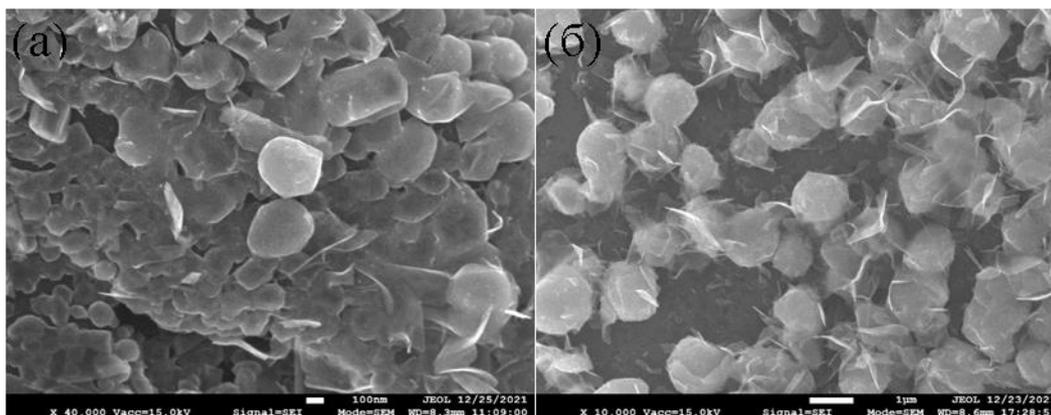


Рис. 1. СЭМ-изображения полученных образцов: синтез при 600°C (а), синтез при 700°C (б)

Результаты анализа полученных материалов методом рамановской спектроскопии показал, что на спектре присутствуют пики при $380\text{--}415\text{ нм}$, что характерно для колебания связей в MoS_2 , что подтверждает результаты СЭМ.

Таким образом, было установлено влияние температуры CVD синтеза на морфологию наноструктур MoS_2 , формирующихся на поверхности активированного угля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (соглашение № 21-49-00039).

1. Zhou, J., Qin, J., Zhao, N., Shi, C., Liu, E.-Z., He, F., ... He, C. (2016). Salt-template-assisted synthesis of robust 3D honeycomb-like structured MoS_2 and its application as a lithium-ion battery anode. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(22), 8734–8741. doi:10.1039/c6ta02565j
2. Tian, Y., Ge, L., Wang, K., & Chai, Y. (2014). Synthesis of novel $\text{MoS}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ heterojunction photocatalysts with enhanced hydrogen evolution activity. *Materials Characterization*, 87, 70–73. doi:10.1016/j.matchar.2013.10.020
3. Lee, Y.-H., Zhang, X.-Q., Zhang, W., Chang, M.-T., Lin, C.-T., Chang, K.-D., ... Lin, T.-W. (2012). Synthesis of Large-Area MoS_2 Atomic Layers with Chemical Vapor Deposition. *Advanced Materials*, 24(17), 2320–2325. doi:10.1002/adma.201104798.

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСОВ Ag(I) С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ И БЕНЗОТРИАЗОЛОМ

Камышева А.А.¹, Асанова М.С.¹, Жилин А.С.¹, Ребрин О.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: anna.kamysheva.00@mail.ru

IR SPECTROSCOPY OF MIXED LIGAND Ag(I) COMPLEXES WITH 1,10-PHENANTHROLINE AND BENZOTRIAZOLE

Kamysheva A.A.¹, Asanova M.S.¹, Zhilin A.S.¹, Rebrin O.I.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The subject of this work is the preparation of mixed-ligand coordination compounds of phenanthroline and benzotriazole with silver (I). These compounds have great opportunities to build different ligand environments, which allows us to obtain different emission properties as a result.

Работа направлена на поиск и разработку разнолигандных координационных соединений серебра (I) с 1,10-фенантролином и бензотриазолом. Эти соединения имеют большие возможности построить разное лигандное окружение, что позволяет в итоге получать разные эмиссионные свойства.

В работе были получены комплексные соединения Ag (I) с бензотриазолом и 1,10-фенантролином следующих составов, отнесенных на 1 моль металла: $[Ag(L_1)]NO_3$; $[Ag(L_2)]NO_3$; $[Ag(L_1)(L_2)]NO_3$. Состав фаз определяли методом элементного анализа и спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой.

Для доказательства наличия координационных связей использовали колебательную спектроскопию в инфракрасной области. ИК спектры 1,10-фенантролина, бензотриазола и полученных фаз записаны на ИК Фурье спектрометре с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения с алмазным кристаллом в диапазоне 4000-450 cm^{-1} .

Совокупность наблюдаемых изменений, а именно увеличение частот полос поглощения, соответствующих плоскостным колебаниям и уменьшение частот полос поглощения внеплоскостных колебаний, свидетельствует о координации ионов металла к атомам азота. Интенсивные полосы поглощения в области 1370-1320 cm^{-1} характерны для валентных колебаний нитрат-аниона.

1. Гордеев Е.В., Машковцев М.А., Берсенева М.А., Поливода Д.О. Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов (MOSM2019). Сборник тезисов. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт

- органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук, 2019, С. СД-31.
2. Кокунов Ю.В., Ковалев В.В., Кискин М.А., Бородкин С.А., Попов Л.Д., Еременко И.Л. Биядерный циклический комплекс серебра(I) с анионом 4-[(2-дифенилфосфанилфенил)метиленамино]бензойной кислоты: синтез, структура и оптические свойства, Координационная химия, 2018, Т.44, №3, с. 184-188.
 3. Долотова Е.П., Сайфутяров Р.Р., Барканов А.Д., Тайдаков И.В., Аветисов И.Х. Новые люминофоры на основе платины(II) с гетероциклическими лигандами для технологии органических светоизлучающих диодных структур. Успехи в химии и химической технологии, 2018, Т.32, № 3 (199), с. 46-48.

КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА ВО ФТОРИДАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Карташова Е.С.¹, Данилов Д.А.¹, Ившина А. А.¹, Половов И. Б.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина
E-mail: k543lena5@yandex.ru

MONITORING THE OXYGEN OF ALKALI METAL FLUORIDES BY THE CARRIER GAS HOT EXTRACTION

Kartashova E.S.¹, Danilov D.A.¹, Ivshina A. A.¹, Polovov I. B.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

The influence of technological parameters on the results of determination of low oxygen contents in the eutectic mixture LiF - NaF - KF (FLiNaK) by carrier gas hot extraction was investigated.

Введение в эксплуатацию жидко-солевых реакторов (ЖСР) является одной из основных задач в атомной энергетике в мире на настоящий момент. ЖСР рассматривается в качестве многообещающей перспективы для обеспечения переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ)[1] и теплового реактора, не требующего частой перегрузки топлива[2].

Концепция реактора на расплавленных солях заключается в том, что делящийся материал находится в растворенном состоянии в фторидном расплаве, таким образом активная зона реактора является гомогенной. Это позволяет удалять продукты деления из системы прямо во время кампании и обеспечивать очень глубокие степени выгорания топлива. Требованиям к солевым топливным композициям удовлетворяют расплавленные фторидные соли легких металлов. Наиболее подходящими теплоносителями являются смеси фторидов Li, Na, K [3].

FLiNaK рассматривается в качестве возможного растворителя в первом контуре реактора. Необходимо контролировать соответствие его физических свойств требованиям, в том числе содержание кислорода, т. к. его присутствие увеличивает коррозионную активность соли по отношению к конструкционным материалам реактора и может привести к появлению твердых соединений, что неблагоприятно влияет на работу ЖСР [3, 4].

Метод восстановительного плавления в токе газа-носителя на данный момент является самым перспективным и непрерывно развивается. Метод основан на выделении кислорода из пробы и его взаимодействии при высоких температурах с углеродом тигля с образованием монооксида углерода (CO), который транспортируется инертным газом к ИК-детектору [5].

Исследование влияния технологических параметров для аналитического контроля кислорода во FLiNaK осуществляли на газоанализаторе Horiba EMGA 620W. Навески эвтектической смеси фторидов отбирались, помещались в оловянные капсулы и запечатывались. Все работы проводили в боксе с инертной атмосферой. Измерения осуществлялись в графитовом тигле, который дважды дегазировался при 3000°C (35 секунд) и 2500°C (20 секунд). В режиме автоматической загрузки проба сбрасывалась в предварительно разогретый до 2800°C тигель и анализировалась. В режиме ручной загрузки проба помещалась в графитовый тигель, оснащенный крышкой.

В работе было проведено исследование влияния температуры, массы навески и применения графитовой крышки на точность определения содержания кислорода во FLiNaK.

1. Molten Salt Reactors // World Nuclear Association URL: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/molten-salt-reactors.aspx>
2. Ignatiev V., Feynberg O., Transactions of ANS, v. 104, p. 722-723 (2011)
3. Блинкин В. Л., Новиков В. М., Жидкосольевые ядерные реакторы, Атомиздат (1978) - 112 с.
4. Jan Uhlíř, Journal of Nuclear Materials, v. 360, p. 6-11 (2007)
5. Вассерман А.М., Кунин Л. Л., Суровой Ю. Н. Определение газов в металлах, Наука (1976).

ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЛИТИЕВОБОРАТНЫХ РАСПЛАВОВ

Хохряков А.А.¹, Арсланов К.П.¹

¹ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: arslanov.kirill@mail.ru

OPTICAL SPECTRA OF LITHIUM BORATE MELTS

Khokhryakov A.A.¹, Arslanov K.P.¹

¹ Institute of metallurgy Ural branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

Borate melts $x\text{Li}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$, where $0 < x < 35$ mole % of Li_2O , were studied by the method of reflection-absorption spectroscopy. We have established a relationship between charge transfer spectra and polyborate groups in the melt and suggested the formation of quasiparticles (configurons).

В литиевоборатных расплавах при $x = 1$ мол. % Li_2O (см. рисунок) широкая полоса в области $27000-43000 \text{ см}^{-1}$ распадается на две гауссовские компоненты с максимумами при 31370 и 38090 см^{-1} и на три при $x = 35$ мол. % с максимумами при 31300 , 35110 и 38200 см^{-1} . Из данных по колебательной спектроскопии [1] известно, что борокислородная сетка ($x = 1$ мол. %) состоит из кольцевых триборатных групп и не кольцевых группировок (цепочечного типа). Это позволяет связать наблюдаемую полосу поглощения с суперпозицией полос надструктурных единиц расплава.

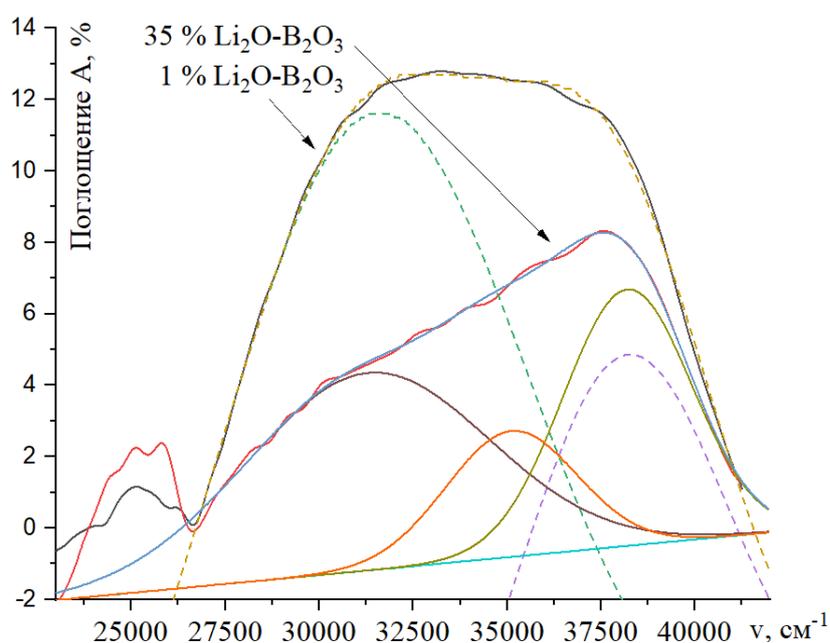


Рис. 1. Оптические спектры поглощения расплавов $x\text{Li}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$ с концентрацией $x = 1$ мол. % и 35 мол. % при температуре 1228 К.

Обычно боратные системы рассматриваются как π -электронные системы [2]. Самая высокая занятая молекулярная орбиталь является несвязывающим уровнем π -типа симметрии. Эта орбиталь относится к кислороду, поэтому наблюдаемые спектры можно отнести к переносу заряда с мостикового кислорода на атомную орбиталь ионов лития $O_m \sigma \rightarrow Li 2p$ в надструктурных единицах расплава $Li_2O-B_2O_3$. Здесь O_m это мостиковый кислород в связи $B^{III}-O-B^{IV}$ и $B^{IV}-O-B^{IV}$.

Необходимо отметить, что в боратном расплаве, содержащем $x = 35$ мол. % Li_2O основные структурные единицы – это тетраборатные и диборатные группы, включая группы с немостиковыми связями, т.е. BO_2^- . Спектр переноса заряда в кольцевых группировках реализуется с тех же мостиковых кислородов, что и в предыдущем случае.

В кольцах с немостиковыми связями из-за локализации электрона энергия молекулярной несвязанной орбитали повышается. Это приводит к появлению дополнительной полосы на 35110 см^{-1} .

Стоит отметить, что полоса переноса заряда с немостикового кислорода на p орбиталь иона Li близка к соответствующей полосе переноса заряда с мостикового кислорода диборатной группы. Ниже 26000 см^{-1} выделяется полоса, положение которой слабо зависит от температуры и состава расплава. Это полоса относится к дефектам сетки расплава, которые представляют собой разрушенные связи $B-O$ четырех координированных группировок бора. Эти связи обычно трактуют как элементарное возбуждение (конфигуроны), которые формируют в расплавах перколяционный кластер. Незначительные изменения интенсивности поглощения квазичастиц вызваны двумя противоположными процессами: увеличением их концентрации с температурой и снижением их из-за температурной конверсии группировок BO^{IV} на $B\emptyset_2O^-$.

1. А. А. Осипов, Л. М. Осипова В. Н. Быков Спектроскопия и структура щелочноборатных стекл, Миасс: УрО РАН (2009)
2. H. KAWAZOE, H. HOSONO, T. KANAZAWA J. Non-Crystalline Solids 29, 159-171(1978).

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ МЫШЬЯКА(III) НА МОНТМОРИЛЛОНИТЕ

Холманских И. А.^{1,2}, Белозерова А.А.¹, Ординарцев Д.П.¹, Печищева Н.В.¹,
Шуняев К.Ю.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института металлургии Уральского отделения РАН

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: i.a.kholmanskikh@mail.ru

**STUDY OF THE SORPTION OF ARSENIC(III) BY
MONTMORILLONITE**

Kholmanskikh I. A.^{1,2}, Belozerova A.A.¹, Ordinartsev D.P.¹, Pechishcheva N.V.¹,
Shunyaev K. Yu¹

¹) Institute of Metallurgy Ural branch of the Russian Academy of Sciences

²) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

The possibility of arsenic(III) sorption on composite sorbents created by modification of montmorillonite was studied. Montmorillonite modified with Fe₃O₄ nanoparticles and cationic surfactant showed a better degree of arsenic sorption compared to other modifications.

В современном мире одна из актуальных проблем - это загрязнение водных сред органическими и неорганическими веществами. Одним из наиболее опасных загрязнителей является мышьяк, который может попадать в грунтовые и сточные воды в результате деятельности горно-обогатительных и предприятий цветной металлургии, а также естественным путем из горных пород и минералов.

Сорбционные методы является одним из наиболее часто используемых методов очистки воды от мышьяка по причине их экономической эффективности, простоты конструкции и простоты эксплуатации [1].

Целью данной работы было изучить возможность сорбции мышьяка(III) на композитных сорбентах, созданных модификацией монтмориллонита. Монтмориллонит (ММ) - это высокодисперсный слоистый алюмосиликат, представляющий собой трёхслойный пакет (2:1): два слоя кремнекислородных тетраэдров, обращённые вершинами друг к другу, с двух сторон покрывают слой алюмогидроксильных октаэдров [2].

Для исследования использовали а) немодифицированный ММ, б) ММ, модифицированный катионным ПАВ, в) ММ, модифицированный наночастицами Fe₃O₄, г) ММ, модифицированный и катионным ПАВ, и наночастицами Fe₃O₄.

Для приготовления золя сорбента использовали монтмориллонит марки ВР-183-FJ в.ч. Основой синтеза сорбента ММ:Fe₃O₄ заключался во внедрении частиц железа в межслоевое пространство адсорбента. Для этого к золю ММ добавляли стехиометрическое количество хлоридов железа(II) и железа(III) и после тщательного перемешивания формировали в межслоевом пространстве сорбента

фазу Fe_3O_4 с использованием раствора гидроксида натрия. Для синтеза композита ММ:ПАВ использовали 50% водный раствор катионного ПАВ - хлорида додецилдиметилбензиламмония. Для синтеза композита ММ: Fe_3O_4 :ПАВ к 100 мл раствора золя композита ММ: Fe_3O_4 добавляли 50% раствор ПАВ в соотношении 10:1 [2].

ММ: Fe_3O_4 :ПАВ показал лучшую степень сорбции мышьяка(III) по сравнению с другими вариантами сорбента.

Определены оптимальные условия сорбции: $\text{pH}=4$, масса сорбента - 0,25 г на 25 мл раствора, время сорбции 30 мин. При оптимальных условиях степень сорбции мышьяка(III) из раствора концентрацией 1 мг/л достигает более 95%. Были построены изотермы сорбции, которые были обработаны с использованием моделей Фрейндлиха и Ленгмюра. Установлено, что для описания процесса сорбции мышьяка(III) на сорбенте ММ:ПАВ: Fe_3O_4 лучше подходит модель Ленгмюра.

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН в рамках Программы фундаментальных исследований государственных академий.

1. Liu B., Kim Ki-H., Kumar V., Kim S. A review of functional sorbents for adsorptive removal of arsenic ions in aqueous systems // Journal of Hazardous Materials. - 2020. - V. 388. - P. 121815.
2. Ordinartsev, D. P., Pechishcheva, N. V., Estemirova, S. K., Kim, A. V., Shunyaev, K. Y. Removal of Cr (VI) from wastewater by modified montmorillonite in combination with zero-valent iron // Hydrometallurgy. - 2022. - V. 208. – P. 105813.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗАХ

Хорькова А.Н.¹, Данилов Д.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: arina.khorkova@gmail.com

DETERMINATION OF WATER IN TECHNOLOGICAL GASES

Khorkova A.N.¹, Danilov D.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Method determination water in aggressive gaseous media as mixture of hydrogen fluoride and hydrogen was applied. The analysis was carried out by reaction gas chromatography with mass spectrometry. The technique is also applicable for determining the oxygen in salts.

В качестве теплоносителя для жидкосолевых реакторов в атомной энергетике используются расплавы фтористых солей легких металлов (лития, натрия и калия или лития и бериллия). Наличие примесных компонентов в используемых расплавах влияют на температуру плавления топливной соли и растворимость фторидов в расплаве, а также они могут служить нейтронными поглотителями. Кислород в этих системах влияет на коррозионную стойкость солевой системы, изменяет ионный состав растворенных делящихся материалов, поэтому его содержание необходимо снижать и контролировать.

В работе [1] описано использование смеси фтористого водорода с водородом для отчистки солевых расплавов от примесных компонентов, где для фторирования использовали герметичный сосуд из промышленно чистого никеля. При отгонке образовавшихся газов примесный кислород удалялся в виде воды.

Для контроля протекания такого рода процессов необходимо измерять содержание влаги как в исходных газах, так и в отходящих. Известные методики по определению воды в газах не пригодны для агрессивных сред, а методики созданные для фтороводорода трудоемки в исполнении. Данный подход позволяет так же определять содержание кислорода в расплаве соли, что является более чувствительным и независимым методом контроля.

Целью данной работы является определение влажности газов методом реакционной газовой хроматографии с масс-спектрометрией.

Контроль влажности возможен с применением реакционно-газохроматографического определения с использованием карбида кальция, который при взаимодействии с водой образует ацетилен. Для осуществления определения была собрана установка, рис 1.

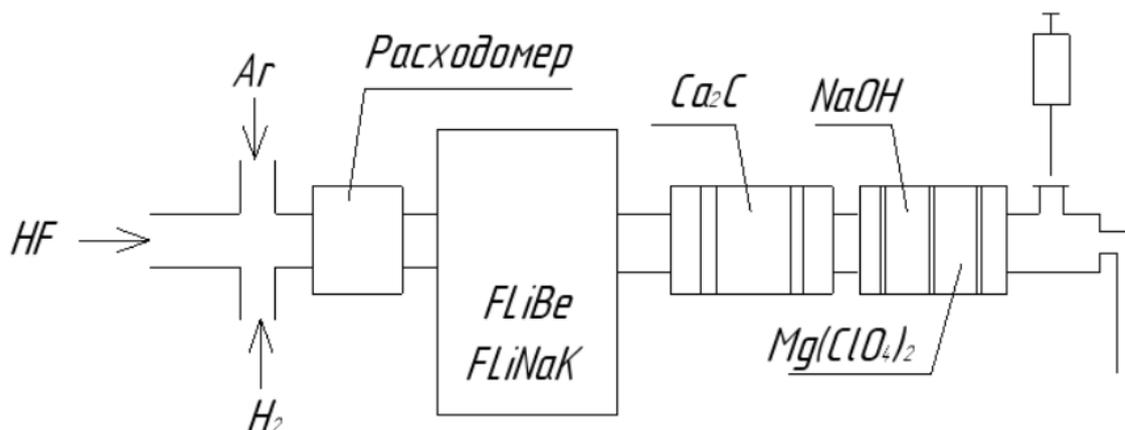


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения влажности газообразных систем

Газовая смесь поступала в систему с установленной скоростью. Проходя через измельченный карбид кальция, закрепленный синтетической ватой, вода преобразуется в ацетилен. Так как хроматографические колонки изготовлены из кварца необходимо отчищать газовую смесь от фтороводорода. Для этого в систему помещали аскарит. Далее газовый поток дополнительно осушали с применением перхлората магния.

Для проведения анализа использовали газовый хроматограф с масс-спектрометром Perkin Elmer Clarus 600, капиллярную колонку Restek Rt-Q-BOND с неподвижной фазой – дивинилбензол (L:30; ID:10; DF:0,32). Скорость потока гелия – 1 мл/мин. Ионизация осуществлялась электронным ударом. Анализ проводили в изотерме, температура термостата составила 35 °С. Ввод пробы в газовый хроматограф осуществлялся с применением шприца для газообразных проб, объем вводимой пробы - 50 мкл.

1. Guoqiang Zong, Zhi-Bing Zhang, Jia-Hong Sun, Ji-Chang Xiao. Preparation of high-purity molten FLiNaK salt by the hydrofluorination process // Journal of Fluorine Chemistry 197, 134-141 (2017).

СОРБЦИЯ УРАНА ВИНИЛПИРИДИНОВЫМИ АНИОНИТАМИ ИЗ СМЕШАННЫХ СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ

Конькова А.В.¹, Новиков И.В.¹, Титова С.М.¹, Рычков В.Н.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ana_sia05@mail.ru

URANIUM SORPTION BY ANION-EXCHANGERS FROM SULFATE-CHLORIDE SOLUTIONS

Konkova A.V.¹, Novikov I.V.¹, Titova S.M.¹, Rychkov V.N.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Sorption characteristics of vinylpyridine resins VPA-G1 and VPA-2 during U recovery from sulfuric acid solutions with high content of Cl⁻ ions were determined. The value of dynamic exchange capacity at full resin saturation for VPA-G1 and VPA-2 was 26.1 kgU/m³ and 23.9 kgU/m³, respectively.

В современной промышленности в силу отсутствия богатых урановых руд для добычи урана широкое применение получил метод скважинного подземного выщелачивания (СПВ). В зависимости от геологии месторождений и условий их залегания для извлечения урана из рудоносного пласта используется метод кислотного или карбонатного выщелачивания [1].

В настоящее время ведутся работы по освоению нового уранового месторождения, которое характеризуется повышенной минерализацией, по результатам данных геологоразведки. Продуктивные растворы (ПР) СПВ, нарабатываемые с такого месторождения, будут характеризоваться высоким содержанием хлорид-ионов (до 0,25 М). Традиционно для выделения урана из ПР, полученных в ходе сернокислотного выщелачивания, используют метод анионного обмена. Однако, применение действующих на предприятии анионитов для переработки таких ПР невозможно в связи с конкурентной сорбцией хлорид-ионов и, как следствие, снижения емкости по урану.

Целью данной работы являлось определение емкостных характеристик винилпиридиновых анионитов VPA-2 с макропористой структурой и VPA-G1 с гелевой структурой по отношению к урану при сорбции из сернокислых ПР СПВ с повышенным содержанием хлорид-ионов.

Эксперимент вели в динамическом режиме. В лабораторную вертикально установленную колонку загружали 90 см³ набухшего ионита, фильтрацию ПР через слой ионита вели при фазовом соотношении Т:Ж=1:5. Продуктивные растворы содержали 25,23 мг/дм³ U, 5 г/дм³ H₂SO₄ и 0,25 М хлорид-ионов. Процесс вели до уравнивания концентраций урана на входе и выходе из колонки. На рисунке 1 изображены выходные кривые сорбции урана.

Значение полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) для VPA-G1 и VPA-2 составило 26,1 кг/м³ и 23,9 кг/м³, соответственно. При этом полное насыщение достигнуто при пропускании 1832 колоночных объемов раствора через слой ионита VPA-G1 и 2119 колоночных объемов - для VPA-2.

Полученные значения ПДОЕ обоих анионитов достаточно высоки и указывают на то, что данные иониты возможно применять для эффективной переработки сернокислых ПР СПВ урана с повышенным (до 0,25 М) содержанием хлорид-ионов.

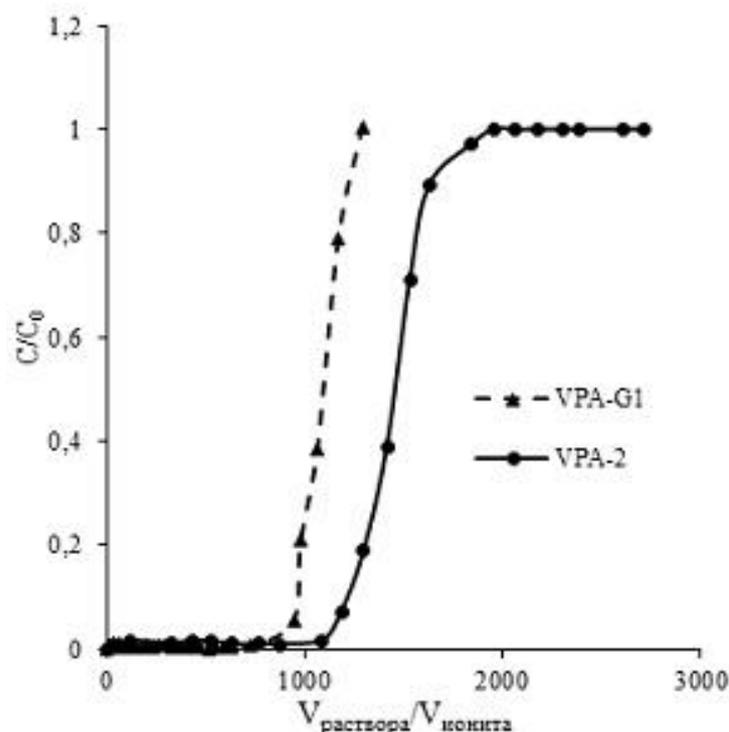


Рис. 1. Выходные кривые сорбции урана анионитами из продуктивных сернокислых растворов с повышенным содержанием хлорид-иона (0,25 М)

1. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. Учебное пособие. – Москва: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005 – 409 с.

РАЗРАБОТКА ГЕТЕРОГЕННЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ И ДВУМЕРНОГО НИТРИДА БОРА

Конопацкий А.С.¹, Калинина В.В.¹, Барилюк Д.В.¹, Штанский Д.В.¹

¹) Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС»,
Москва, Ленинский пр-кт, д.4, 119049, Россия
E-mail: konopatskiy@misis.ru

DEVELOPMENT OF HETEROGENEOUS NANOSTRUCTURES BASED ON BIMETALLIC NANOPARTICLES AND TWO-DIMENSIONAL BORON NITRIDE

Konopatsky A.S.¹, Kalinina V.V.¹, Bariluyk D.V.¹, Shtansky D.V.¹

¹) National University of Science and Technology (MISiS), Moscow, Leninsky Prospekt,
4, 119049, Russia

The development of industry leads to the emergence of new, important environmental problems. This makes it necessary to develop new types of adsorbents. Important properties of such materials are their inertia, as well as the possibility of its removal from the water for further processing.

Развитие промышленности ведет к возникновению новых, важных экологических проблем. Это обуславливает необходимость в разработке новых типов адсорбентов, способных эффективно удалять примеси органических красителей из воды. Важными свойствами таких материалов являются их инертность, т.е. сам материал не должен наносить вред окружающей среде, а также возможность его удаления из воды с целью дальнейшей переработки. Одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов удаления адсорбента является магнитная обработка воды после очистки. Вместе с тем многие перспективные материалы с высокой удельной поверхностью и высокой адсорбционной емкостью не обладают выраженными магнитными свойствами. Однако такие материалы могут выступать в качестве основы для гетерогенных структур, где в качестве второго компонента используются частицы с контролируемыми магнитными свойствами.

В качестве носителей были использованы наночастицы гексагонального нитрида бора (h-BN), являющегося хорошим адсорбентом катионных красителей. [1] На поверхности h-BN были синтезированы биметаллические наночастицы FePt. В зависимости от температуры и своего фазового состава наночастицы FePt могут проявлять суперпарамагнитные и ферромагнитные свойства. Навеску порошка h-BN диспергировали в 100 мл среды синтеза, путем ультразвуковой (УЗ) обработки. Производили нагрев полученной суспензии до температуры 170 °С. Среду синтеза при этом продували аргоном. По достижении рабочей температуры в среду синтеза добавляли 1 мл раствора H_2PtCl_6 с заданной концентрацией

и 80 мг $\text{FeCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, а также 2,3 г NaOH. Систему выдерживали в течение 3 мин и оставляли остывать до комнатной температуры. Полученные гетерогенные частицы промывали в дистиллированной воде на центрифуге.

Согласно результатам рентгенофазового анализа, частицы FePt представлены, в основном, A1-фазой с ОЦК решеткой. Результаты ЭДС показали, что соотношение Fe и Pt составляет примерно 1:1. Результаты ПЭМ, а также СЭМ позволили установить, что наночастицы FePt распределены по поверхности h-BN равномерно, находятся в не агломерированном состоянии, а их средний размер не превышает 3 нм.

С целью изучения адсорбционных свойств полученных материалов использовали растворы катионного органического красителя – метиленового синего. Образец диспергировали в растворе и отбирали пробу через каждые 10 мин. Анализ проб проводили на оптическом спектрометре. По изменению интенсивности пика поглощения судили о падении концентрации красителя в растворе и соответственно об эффективности адсорбента. Согласно полученным результатам снижение концентрации МС в растворе в течение первых 60 мин испытаний составило около 70%, и достигло 100% спустя 24 ч испытаний. Результаты испытаний полученных материалов на вибромагнитометре позволили установить, что величина коэрцитивной силы составила около 480 Ое. Таким образом полученные материалы проявляют выраженные магнитные свойства и являются перспективными применительно к задачам по очистке воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (соглашение № 20-79-10286).

1. Shtansky, D., Firestein, K., & GOLBERG, D. (2018). Fabrication and application of BN nanoparticles, nanosheets and their nanohybrids. Nanoscale. doi:10.1039/c8nr05027a.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОМИКРОГЕЛЕЙ® ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА

Косенкова А.Р.¹, Куимов В.М.¹

¹) ООО «НПО БиоМикроГели», Россия, Свердловская область,
г. Екатеринбург, ул. Конструкторов, д. 5, оф. 431.
E-mail: ari-na97@mail.ru

USING OF BIOMICROGELS® FOR PALM OIL EXTRACTION

Kosenkova A.R.¹, Kuimov V.M.¹

¹) «SPC BioMicroGel» Limited Liability Company, Russia, Sverdlovsk region,
Yekaterinburg, Konstruktorov str., 5, office 431.

Polysaccharides microgels (Biomicrogels®) can be used as a reagent for palm oil extraction. The paper presents the results of laboratory and industrial test. Biomicrogels® increase the palm oil extraction which leads to reduction of oil losses in wastewater.

Ежегодно заводы по производству пальмового масла создают большое количество жидких и твердых отходов. На каждую тонну произведенного масла в среднем образуется 2,5 тонны сточных вод, содержащих от 0,7 до 1,5% пальмового масла [1]. Сточные воды собираются в больших уличных бассейнах-отстойниках, что приводит к загрязнению почв и грунтовых вод маслом, а также к эмиссии парниковых газов.

Большое внимание ученых направлено на разработки новых устойчивых технологий по оптимизации производства пальмового масла. Одной из таких является применение биополимеров, повышающих экстракцию масла. Биомикрогели® (далее ВМГ) это модифицированные биополимеры на основе полисахаридов, модификация которых разработана в компании НПО БиоМикроГели. ВМГ обладают способностью к концентрации на границе раздела фаз. При ведении в водно-масляные суспензии ВМГ способны располагаться между каплями пальмового масла и твердыми органическими частицами. В процессах гравитационного отстаивания и центрифугирования ВМГ повышают коалесценцию капель масла, что приводит к повышению скорости экстракции масла.

Для успешного внедрения технологии БМГ [2] в производство пальмового масла необходимо перенести результаты лабораторных испытаний на промышленный масштаб.

Цель данной работы: сравнить эффективность ВМГ в лабораторных и промышленных условиях.

Были проведены лабораторные и промышленные эксперименты, с дозировкой ВМГ, равной 1 г/л, и концентрацией рабочего раствора ВМГ - 3%. В лабораторных условиях ВМГ вводили в образцы водно-масляной суспензии с помощью шприца, в промышленных условиях – с помощью дозирующего насоса. Скорость

и эффективность экстракции пальмового масла исследовали методом гравитационного отстаивания при температуре 80-85°C. Измерение потерь масла в сточных водах проводили после центрифугирования проб при центробежном ускорении 1890g (выдержка 90 сек). Потери масла определяли гравиметрическим методом - экстракция гексаном.

При проведении тестов в лабораторных условиях наблюдали (рисунок 1): увеличение скорости экстракции масла на 14%, увеличение экстракции масла на 33% и снижение содержание масла в сточных водах на 46% (с 1,3 до 0,7%). В промышленных условиях введение ВМГ снизило потери масла в сточных водах на 34% (с 0,84 до 0,62%). Оценка эффективности и скорости экстракции масла при гравитационном отстаивании была затруднена рядом технологических параметров: разная производительность фабрики по количеству обработанных пальмовых фруктов, ненормируемый рабочий день, отсутствие измерительного оборудования.

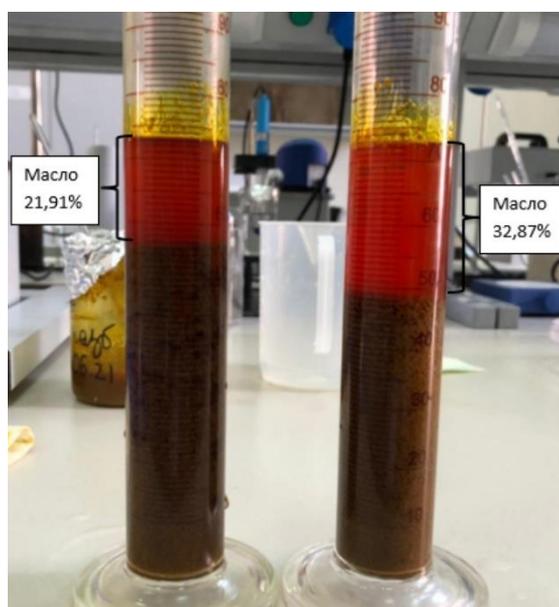


Рис. 1. Пальмовое масло на поверхности проб после гравитационного отстаивания: слева - образец без добавления ВМГ, справа – образец с добавлением ВМГ

Биомикрогели® в промышленных условиях снизили содержание масла в сточных водах на 34%, что является близким к лабораторным данным (46%). Результаты подтверждают перспективность применения ВМГ в производстве пальмовых масел.

1. Но С.С., Tan Y.K., Wang C.W. 1984. Agric. Wastes 11 6171.
2. Elagyn A.A., Mironov M.A. 2019. Rus. Patent № 201891270.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА СЛОИСТЫХ ГИДРОКСИДОВ ГАДОЛИНИЯ-ТЕРБИЯ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВ ГИБРИДНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ

Косых А.С.¹, Алёшин Д.К.¹, Гордеев Е.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: evanescence665@yandex.ru

THE EFFECT OF SYNTHESIS CONDITIONS OF LAYERED GADOLINIUM-TERBIUM HYDROXIDES ON THE PROPERTIES OF HYBRID PHOSPHOR POWDERS

Kosykh A.S.¹, Aleshin D.K.¹, Gordeev E.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work, hybrid phosphors powders based on layered Gd-Tb nitrate hydroxide, synthesized by controlled double-jet precipitation, as a result of intercalation of terephthalate ions, were obtained. The influence of the pH value of the synthesis on the properties of hybrid phosphor was studied.

В последнее время получил развитие новый класс анионообменных слоистых материалов - слоистых гидроксидов редкоземельных элементов (СГ РЗЭ) [1]. Их отличительными особенностями являются композиционная вариативность с сохранением слоистости наряду с исключительными свойствами РЗЭ. Такие характеристики позволяют использовать эти соединения и их производные для получения различных функциональных материалов [2-5]. В частности, введение в структуру СГ РЗЭ органических сенсibilизаторов люминесценции позволяет получать перспективные гибридные люминофоры [2]. В данной работе исследовано влияние значения pH синтеза слоистых гидроксидов Gd-Tb на свойства порошков гибридных люминофоров с использованием терефталат-иона (TA^{2+}) в качестве сенсibilизатора.

Синтез включал последовательные стадии получения слоистого прекурсора и интеркаляции TA^{2+} . На первой стадии было синтезировано соединение $(\text{Gd}_{0,99}\text{Tb}_{0,01})_2(\text{OH})_5\text{NO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ методом контролируемого двухструйного осаждения при различных значениях pH с последующими фильтрацией, промывкой и сушкой при 50 °С. Значение pH поддерживалось на уровне 7,0; 8,0; 9,0 и 9,5 (далее GdTb_x , где $x = 7, 8, 9$ и $9,5$, соответственно). На второй стадии была проведена интеркаляция слоистых осадков TA^{2+} при 90 °С 12 ч с получением гибридного соединения (GdTb_xTA) с фильтрацией, промывкой и сушкой при 200 °С. Структура и оптические свойства продуктов исследованы при помощи методов лазерной и рентгеновской дифракции, оптической микроскопии и люминесцентной спектроскопии, соответственно.

По результатам рентгеновской дифракции структура просушенных осадков GdTbx идентифицирована, как слоистый $Gd_2(OH)_5NO_3 \cdot nH_2O$. При увеличении pH упорядоченность частиц снижается вплоть до образования практически полностью рентгеноаморфных осадков при pH 9,5. Околосферичные агломераты частиц, достигая размеров ~40 мкм и правильной сферической формы при pH 8,0, с увеличением pH уменьшаются в диаметре и теряют форму так, что при pH 9,5 образуются частицы осколочной формы с широким распределением размеров.

Гидротермальная обработка привела к образованию гибридных слоистых структур для всех образцов GdTbx, о чём свидетельствуют рентгенограммы для GdTbxТА. Однако во всех GdTbxТА обнаружено присутствие примесной фазы, идентифицированной как $Gd(OH)_3$. При этом увеличение значения pH синтеза GdTbx приводит к росту доли слоистых гибридов по отношению к гидроксиду.

Слоистые порошки GdTbx способны конвертировать УФ-излучение диапазона 250-315 нм в видимый свет с максимумом фотолюминесценции в области 540 нм. Внедрение TA^{2+} в слоистую структуру приводит к многократному усилению излучения орган-неорганического продукта. Найдено, что оптические свойства GdTbxТА зависят от pH синтеза слоистого прекурсора. Аморфные образцы, полученные при высоких pH и склонные к образованию более упорядоченных гибридов, обладают превосходными фотолюминесцентными свойствами.

1. Liang J., Ma R., Sasaki T., Photofunctional Layered Materials, Cham: Springer, 242 (2015).
2. Liu L., Yu M., Zhang J., Wang B., Liu W., Tang Y., J. Mater. Chem. C, 3, 2326-2333 (2015).
3. Kim H., Lee B.I., Byeon S.H., Chem. Commun., 51, 725-728 (2015).
4. Xiang Y., Yu X.-F., He D.-F., Sun Z., Cao Z., Wang Q.-Q., Adv. Funct. Mater., 21, 4388-4396 (2011).
5. Wang X., Chen W., Song Y.-F., Eur. J. Inorg. Chem., 2014, 2779-2786 (2014).

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

Козлова М.М.¹, Марков В.Ф.^{1,2}, Маскаева Л.Н.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, г.
Екатеринбург, Россия
E-mail: marina.kozlova2014@mail.ru

OXIDATIVE DESTRUCTION OF ION EXCHANGE RESINS BY AQUEOUS SOLUTION OF HYDROGEN PEROXIDE

Kozlova M.M.¹, Markov V.F.^{1,2}, Maskaeva L.N.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural State Fire Service Institute of Emergency Ministry of Russia, Yekaterinburg, Russia

Comprehensive kinetic studies of the oxidation of an anion-exchange resin AV-17×8 and cation-exchange resin KU-2×8 with hydrogen peroxide have been carried out. The effect of temperature, concentration of hydrogen peroxide and catalyst on the process is estimated.

На атомных электростанциях ежегодно накапливаются значительные объемы отработанных ионообменных смол, которые представляют собой малоактивные гетерогенные отходы. Отработанные ионообменные смолы утилизируют с использованием таких традиционных технологий, как иммобилизация, пиролиз, сверхкритическое водное окисление. Однако перечисленные технологии являются дорогостоящими, характеризуются образованием взрывоопасных продуктов и трудоемкими технологическими операциями. Необходимо предложить экономичную и безопасную технологию для утилизации отработанных ионообменных смол атомных электростанций [1, 2].

Окислительная деструкция с использованием процесса Фентона может быть перспективной технологией переработки ионообменных смол. Процесс Фентона заключается в окислении органических соединений водным раствором пероксида водорода. В качестве каталитической добавки чаще всего используют соли двухвалентных переходных металлов – железа(II), меди(II) [3].

В настоящей работе проведены кинетические исследования окислительной деструкции широко применяемых на отечественных АЭС анионита АВ-17×8 и катионита КУ-2×8 с использованием процесса Фентона.

Каталитическое окисление анионита проводили 20 % пероксидом водорода с добавлением 0.001–0.005 моль/л сульфата меди(II) и сульфата железа(II) в температурном диапазоне 323–348 К. Окислительное разложение катионита 20 % пероксидом водорода осуществляли при 323–353 К в присутствии 0.001–0.009

моль/л сульфата меди(II) и 0.001–0.005 моль/л сульфата железа(II). По результатам исследований установлено, что значительное влияние на скорость окислительной деструкции анионита и катионита оказывает температура процесса. При этом увеличение концентрации каталитической добавки при определенной температуре не приводит к существенному ускорению процесса окисления смолы.

На рисунке 1 приведены сравнительные кривые скорости разложения 50 % массы катионита и анионита пероксидом водорода от температуры процесса с добавлением CuSO_4 и FeSO_4 . Следует отметить, что при окислении катионита с добавлением 0.005 моль/л CuSO_4 (1) скорость деструкции составляет 0.5 мг/мл·мин при 353 К, тогда как введение всего 0.004 моль/л FeSO_4 (3) при 348 К повышает ее в 12 раз. В процессе разложения анионита пероксидом водорода в присутствии 0.005 моль/л CuSO_4 (2) скорость окисления возрастает и составляет 4.2 мг/мл·мин при 348 К, в то время как при добавлении FeSO_4 растворяется меньше половины анионита.

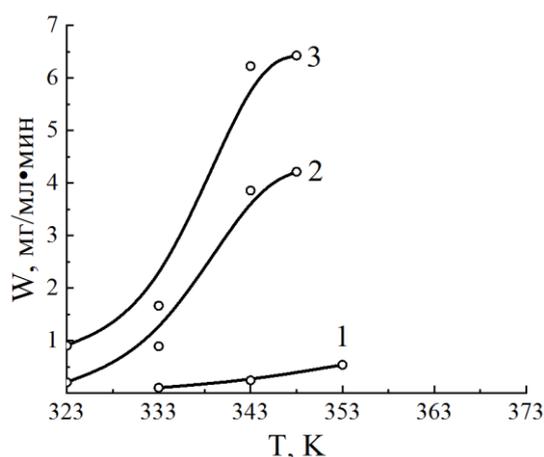


Рис. 1. Изменение скорости разложения 50 % массы катионита КУ-2×8 пероксидом водорода от температуры процесса в присутствии 0.005 ммоль/л CuSO_4 (1), 0.004 моль/л FeSO_4 (3) и анионита АВ-17×8 с добавлением 0.005 моль/л CuSO_4 (2)

Рассчитанные значения энергии активации реакции окислительной деструкции катионита пероксидом водорода с добавлением CuSO_4 составляют 89.7–115.2 кДж/моль, при введении FeSO_4 энергия активации снижается до 40.9–67.1 кДж/моль. Вычисленные значения энергии активации реакции окисления анионита с добавлением CuSO_4 находятся в диапазоне 115.7–124.3 кДж/моль. Таким образом, для окисления анионита перспективно использовать в качестве катализатора сульфат меди(II), а для разложения катионита – сульфата железа(II).

1. М.И. Смольников, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, А.Е. Бобылев и О.А. Мокроусова, Бутлер. сообщения. Т. 49, № 3, 119–134 (2017).
2. J. Wang, Z. Wan., Prog. Nucl. Energy. V. 78, 47–55 (2015).
3. A. Babuonnusami, K. Muthukumar, J. Environ. Chem. Eng. V. 2, 557–572 (2014).

ВЫБОР СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБМЕННЫХ РЕАКЦИЙ

Крылосов А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина
E-mail: avkrylosov@urfu.ru

THE CHOICE OF ELECTROLYTE COMPOSITION FOR HIGH- TEMPERATURE EXCHANGE REACTIONS

Krylosov A.V.¹

¹) Ural Federal University

The selection of saline electrolyte has been carried out for high-temperature exchange reactions. Conclusions about affecting factors for conducting exchange reactions are made.

В ранее проведённых исследованиях [1] был предложен способ получения сплавов «Al-РЗМ» и «Mg-РЗМ» методом высокотемпературных обменных реакций. Предложенный метод реализуется с помощью солевого флюса, который содержит соль РЗМ, предохраняет получаемый сплав от воздействия окружающей среды, способствует более полному объединению получаемого сплава в слиток и иные технологические признаки.

В качестве соли, содержащей РЗМ, использовали смесь фторидов РЗМ или их индивидуальные фториды (YF_3 , LaF_3 , CeF_3 , PrF_3 , NdF_3 , SmF_3 , GdF_3 , DyF_3), а в качестве солевого флюса смесь на основе хлоридов натрия и калия, а также фторида натрия.

Исходная солевая смесь, пригодная для реализации металлотермического способа получения магниевого сплава с использованием фторидов РЗМ, должна отвечать ряду требований:

- иметь широкую температурную область гомогенности, в которой достигается полная растворимость фторидов РЗМ;
- состоять из недорогих, по возможности, негигроскопичных и доступных солей-компонентов;
- допускать возможность вариации мольно-долевого соотношения ионов РЗМ и фтора, влияющего на сдвиг равновесия обменной реакции восстановления фторидов РЗМ магнием;
- давать возможность изменением состава изменять соотношение плотностей сплава и солевого электролита;
- иметь в рабочем диапазоне температур невысокую упругость пара над расплавом;
- обеспечивать максимально полное объединение сплава в единый слиток.

Кроме этого необходимо учитывать изменение солевой смеси после прохождения высокотемпературной обменной реакции (1), которая приводит к образованию фторида алюминия и фторида магния.



где $M(R)$ – лигатура, которая должна быть получена, X – фтор или хлор, R – металл-восстановитель: алюминий, магний.

Итоговая смесь солей так же должна отвечать приведенным выше требованиям.

Было выполнено термодинамическое моделирование системы, включающее расчет всех равновесных параметров, термодинамических свойств, химического и фазового состава компонентов при помощи комплекса «Астра-4» [2]. Расчеты показали, что полнота прохождения реакции (1) возрастает с увеличением концентрации фторид-ионов и ростом температуры. По предварительным оценкам температура процесса должна составлять более 800 0С. Верхний предел ее увеличения ограничен ростом упругости пара солевых и металлических компонентов смеси.

Сформулированные условия могут быть реализованы с использованием в качестве компонентов электролита-растворителя NaCl, KCl, NaF.

Был выполнен анализ и систематизация имеющихся в справочной литературе сведений о плавкости солевых композиций, включающих указанные компоненты и фториды РЗМ или магния. Приведенные данные ограничены двухкомпонентными и тройными взаимными системами, включающими хлориды натрия или калия с фторидом магния или фторидами некоторых РЗМ [3-5].

Сведения о плавкости смесей в более сложных системах отсутствуют. В связи с этим обстоятельством, были выполнены исследования плавкости солевых смесей, выбранных для проведения процесса.

1. Иванов В.А., Крылосов А.В. и др., Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия, 2, 54 (2005)
2. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К. и др., Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. М.: Металлургия, 1994. - 352 с.
3. Ковалев Ф.В., Иоффе В.М., Капцев В.Е., Журнал неорганической химии. 9, 1684 (1964).
4. Кувакин М.А. Журнал неорганической химии. 16, 3290 (1971).
5. Кувакин М. А., Новикова З.М. Журнал неорганической химии. 18, 1356 (1973).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГАЗОФАЗНОГО СИНТЕЗА КРЕМНИЯ

Кудякова В.С.^{1,2}, Шишкин Р.А.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: v.s.kudiakova@urfu.ru

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE SILICON GAS-PHASE SYNTHESIS PROCESS

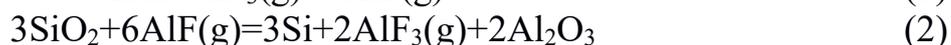
Kudyakova V.S.^{1,2}, Shishkin R.A.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Solid State Chemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

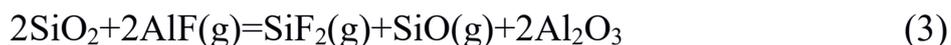
The thermodynamic analysis of silicon synthesis in transport reaction with aluminum fluorides was performed by HSC Chemistry program. A mechanism for the process of silicon formation, which consists of 4 stages, is proposed.

Несмотря на широкое применение кремния в современной промышленности, исследование новых технологий, которые повысят экономическую эффективность процесса синтеза и позволят получить кремний с заданной морфологией, остается актуальным вопросом. Недавно был предложен новый газофазный метод синтеза кремния из оксида за счет восстановления субфторидом алюминия в ходе транспортной химической реакции [1]. Этот метод основан на следующих превращениях:



Стоит отметить, что реакция (2) носит только формальный характер и не характеризует процессы, происходящие в реакционном пространстве, поскольку согласно законам химической кинетики, не существует реакций с молекулярностью выше трёх. С другой стороны, понимание кинетики протекания процесса синтеза важно для подбора оптимальных технологических параметров, которые позволят получать кремний с максимальным выходом при минимальных ресурсозатратах.

В настоящей работе проведено термодинамическое моделирование процессов в системе Al-AlF₃-SiO₂ с помощью программы HSC Chemistry 9.3.0, имеющей наиболее полную базу современных термодинамических взаимосогласованных данных. Предложен механизм протекания процесса образования кремния, состоящий из 4 стадий:



Стадия 1 соответствует реакции с участием 4 молекул, что противоречит законам химической кинетики. Мы предполагаем, что она протекает с участием промежуточных метастабильных соединений, не представленных среди известных термодинамических данных.

На рисунке 1 приведён пример изменения равновесного состава продуктов реакций 1-2 в зависимости от температуры. На диаграмме не отмечены $\text{AlF}_2(\text{g})$, $\text{Al}_2\text{F}_6(\text{g})$, $\text{SiO}(\text{g})$, $\text{Si}_2\text{OF}_6(\text{g})$, Al_2SiO_5 , которые присутствуют в системе в следовых количествах.

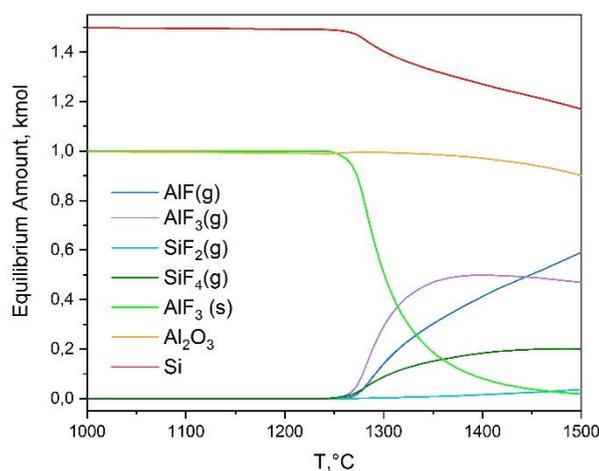


Рис. 1. Значения равновесных содержаний продуктов взаимодействия в закрытой системе «Al-AlF₃-SiO₂».

Работа выполнена при поддержке совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № МК-182.2022.1.3).

1. Shishkin R.A., Kudyakova V.S. et al., AIP Conf. Proc., 2174, 020063 (2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ И ДИФФУЗИИ МИКРОКОЛИЧЕСТВ РАДИЯ-224 ТОНКОСЛОЙНЫМИ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА МАРГАНЦА

Куляшова Е.Н.¹, Семенищев В.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: elenakulyashova99@mail.ru

STUDY OF SORPTION AND DIFFUSION OF TRACE AMOUNTS OF RADIUM-224 BY THIN-LAYER SORBENTS BASED ON MANGANESE DIOXIDE

Kulyashova E.N.¹, Semenischev V.S.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin Yeltsin Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this work the sorption of Ra-224 on MnO₂-TAC and MnO₂-PE sorbents was studied. One of the main applications of planar thin-layer sorbents is to combine in one operation the sorption extraction of radionuclides and the preparation of a source for alpha-spectrometric measurements.

Одна из основных областей применения плоских тонкослойных сорбентов – объединение в одну операцию сорбционное извлечение радионуклидов и приготовление источника с хорошим разрешением для альфа-спектрометрических измерений. Наиболее важным показателем качества альфа-спектрометрического источника является энергетическое разрешение, которое измеряется через ширину пика на полувысоте (ШППВ).

Была изучена сорбция Ra-224 на сорбентах MnO₂-ТАЦ и MnO₂-ПЭ. На рис. 1. представлены соответствующие альфа-спектры.

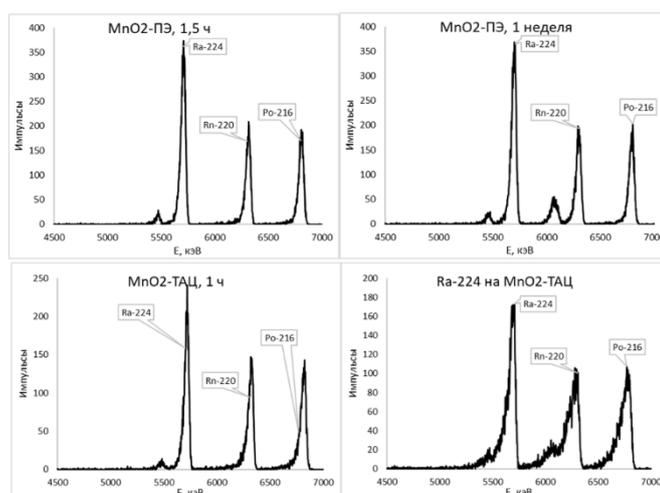


Рис. 1. Альфа-спектры сорбентов MnO₂-ТАЦ и MnO₂-ПЭ после сорбции Ra-224

Более высокое значение ШППВ на сорбенте MnO_2 -ТАЦ по сравнению с сорбентом MnO_2 -ПЭ объясняется диффузией Ra-224 вглубь сорбента. Результаты показали, что во всех случаях отношение площадей пиков $^{220}\text{Rn}/^{216}\text{Po}$ было довольно близким к 1 (разница не превышала 4%), что хорошо объясняется малым периодом полураспада Po-216, что приводит к тому, что его межфазное распределение полностью совпадает с таковым для радона.

Напротив, отношение площадей пиков $^{220}\text{Rn}/^{224}\text{Ra}$ составляло 0,52 – 0,53 в случае сорбента MnO_2 -ПЭ и 0,72 – 0,73 в случае сорбента MnO_2 -ТАЦ. Такой феномен можно объяснить тем, что радон — инертный газ, обладающий высокой подвижностью, особенно в условиях вакуумной камеры. Учитывая, что испускание альфа-частиц происходит равновероятно во все стороны на телесный угол 4π , в случае локализации радия-224 строго на поверхности плоского образца сорбента в среднем 50% альфа-частиц испускаются в сторону от сорбента. Соответственно, в среднем 50% ядер отдачи (радон-220) получает импульс движения, направленный в сторону сорбента и из-за явления отдачи заглубляются внутрь пленки, при этом короткий период полураспада Rn-220 ограничивает время его диффузии из сорбента в вакуумную камеру несколькими минутами. Наблюдавшееся в случае сорбента MnO_2 -ПЭ отношение площадей пиков $^{220}\text{Rn}/^{224}\text{Ra}$ близкое к 0,5 подтверждают данные соображения. В случае сорбента MnO_2 -ТАЦ поверхность сорбента покидало в среднем 33% ядер радона, что можно объяснить пористой текстурой поверхности сорбента, за счет чего распределение траекторий движения ядер отдачи становятся менее предсказуемым.

По альфа-спектру сорбента MnO_2 -ТАЦ после сорбции Ra-224 в течение 4 часов был рассчитан коэффициент диффузии радия-224 в сорбенте. Коэффициент диффузии радия-224 в сорбенте составил $3,7 \cdot 10^{-18}$ м²/с, что вполне сопоставимо с полученным ранее коэффициентом диффузии радия-223 ($2,8 \cdot 10^{-18}$ м²/с), что, в свою очередь, объясняется одинаковым химическим поведением различных изотопов одного элемента. Таким образом, можно сделать вывод о принципиальной воспроизводимости результатов оценки коэффициентов диффузии альфа-излучателей в плоских образцах по предложенному методу.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-03-00931.

DEEP EUTECTIC SOLVENTS BASED ON CHOLINE CHLORIDE AND POLYOLS AS 'GREEN' EXTRACTANT FOR AZEOTROPIC MIXTURES

Liubichev D.A.¹

¹ Saint Petersburg State University
E-mail: dmitrylyubichev@gmail.com

This work presents the investigation of using DES formed by choline chloride and 1,2-ethanediol or 1,2-propanediol as extraction media for separation azeotropic mixtures of ethanol, n-propanol and n-butanol with corresponding esters.

Nowadays chemistry tries to solve actual environmental problems. Particularly, there is a certain request for an emission of different volatile compounds reduction, creating new sustainable methods of water purification and energy production. In all these cases scientists can reach the solution using deep eutectic solvents too [1]. Deep eutectic solvents (DESs) are mixtures based on donor and acceptor of hydrogen bond. Such interactions cause the much lower melting point of DES comparing with the individual components. In fact, DESs represent a new wide-spreading kind of solvents, it made mostly from quaternary ammonium salts (especially choline chloride) and different HBDs likewise glycerol, urea, and ethylene glycol. Fortunately, developing in this field of searching variety of components state the possibility to construct relevant solvent in exact conditions.

Herein we consider the ability to separate mixtures of alcohols with its acetate esters (ethyl acetate, n-propyl acetate, n-butyl acetate) using choline chloride – 1,2-ethanediol and choline chloride – 1,2-propanediol deep eutectic solvents. Tie-lines were obtained at temperatures 293.15 K and 313.15 K and atmospheric pressure. The compositions of coexisting organic and DES phases are determined by ¹H NMR-spectroscopy. The extraction performance was characterized with distribution coefficients and values of selectivity for used alcohols. NRTL model was applied to correlate LLE in these systems.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant 19-73-00092). The experimental work was facilitated by the equipment of Magnetic Resonance Research Centre at St. Petersburg State University.

1. Florindo C., Lima F., Ribeiro B. D., Marrucho I.M. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, 18, 31-36, (2019).

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПЕЧНОГО И КОВШЕВОГО ШЛАКОВ

Лобанов Д.А.¹, Шешуков О.Ю.^{1,2}, Егиазарьян Д.К.^{1,2}

¹) Институт Metallургии Уральского отделения Российской Академии Наук

²) Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: summerdanny@Yandex.ru

WASTELESS EAF AND LF SLAG UTILIZATION

Lobanov D.A.¹, Sheshukov O. Yu.^{1,2}, Egiazary'an D.K.^{1,2}

¹) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

The study presents the results of wasteless EAF and LF slag co-processing. Study revealed the chemical compositions which allow slag utilization with no waste left. The products of utilization are cast iron and product clinker. Study also proposes developed technology for that kind of utilization.

- В работе выявлены области химического состава шлаков, обеспечивающие получение портландцементного (ПЦ) клинкера.

- Определены границы составов в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, в рамках которых получают жидкоподвижные шлаки, что способствует благоприятному разделению металлической и силикатной частей, с образованием в силикатной части ПЦ клинкера [1,2].

- На основе исследований характеристик шлаковых расплавов рекомендованы химические составы шихты, обеспечивающие получение клинкера [1,3]

- Определен оптимальный диапазон температур и температурный режим, пригодный для проведения разделения и утилизации шлаков.

- Исследование подтвердило возможность одновременно получения во время утилизации не только ПЦ клинкера, но и товарного чугуна.

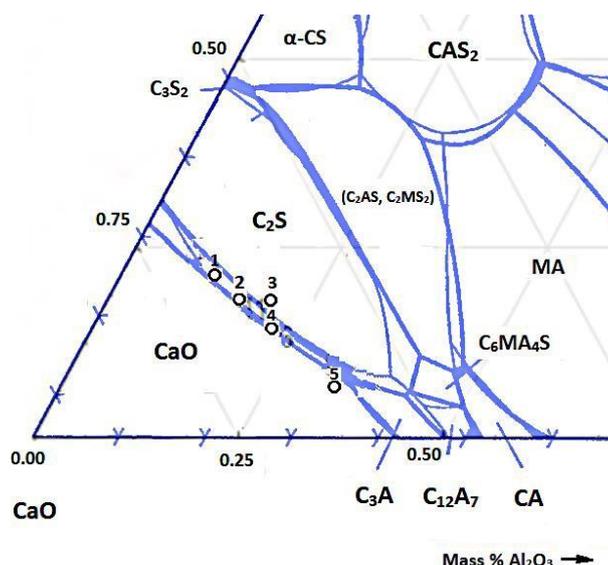


Рис. 1. Изображение составов шлака для получения клинкера и чугуна

- Шихтовые составы, открытые в исследовании (рис.) могут быть использованы для совместной и безотходной утилизации шлаков АКП и ДСП.
- Разработана и экономически обоснована технологическая схема безотходной переработки шлаков АКП и ДСП, которая может быть внедрена в производство для получения ПЩ клинкера и чугуна товарного качества.
- В данной работе основной акцент сделан на разработке технологической схемы.

з/б № 0396-2015-0083

1. Шатохин, И. М. Новый способ переработки техногенных отходов металлургического производства / И. М. Шатохин, А. Л. Кузьмин, Л. А. Смрнов, Л. И. Леонтьев, В. А. Бигеев, И. Р. Манашев // *Металлург.* – 2017. – № 7. – С. 19-24.
2. Дильдин, А. Н. Особенности технологии утилизации отходов сталеплавильного производства / А. Н. Дильдин, Р. Р. Гарифулин // *Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 66-й науч. конф./отв. за вып. С.Д. Ваулин; Юж.-Урал. гос. ун-т.-Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ.* – 2014. – 1764 с.
3. Леонтьев, Л. И. Технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия / Л. И. Леонтьев, О. Ю. Шешуков, В. С. Цепелев, М. А. Михеенков, И. В. Некрасов, Д. К. Егиазарьян // *Строительные материалы.* – 2014. – № 10. – С. 70-73

РАЗРАБОТКА ГИДРОФОБНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Малых М.А.¹, Жилин А.С.¹, Ребрин О.И.¹

¹) Уральский Федеральный Университет
E-mail: mihailmalikh@mail.ru

DEVELOPMENT OF A HYDROPHOBIC MATERIAL BASED ON ORGANOSILICON COMPOUNDS

Malykh M.A.¹, Zhilin A.S.¹, Rebrin O.I.¹

¹) Ural Federal University

Among hydrophobic materials, organosilicon compounds are one of the most promising. The main advantage of the data from the compounds is environmental friendliness. Polymer structures make it possible to create hydrophobic properties, and also have the potential to increase the melting point.

Среди гидрофобных материалов одними из представляющимися перспективными являются кремнийорганические соединения. Основное преимущество данных с соединений является экологичность. Полимерные структуры позволяют создать гидрофобные свойства, а также имеют потенциал увеличения температуры плавления.

В ходе работы был проведен анализ возможных методов получения кремнийорганических полимеров и разработана схема получения полиэтилсилоксана. Предложенный синтез состоит из четырех основных стадий. На первой стадии разрабатывается и оптимизируется получение кремний-медной контактной массы за счет восстановления хлорида меди (I) на кремнии в токе водорода. На второй стадии происходит алкилирование. Хлоралкан приводится во взаимодействие с кремний-медной контактной массой, в результате чего образуется диалкил-дихлорсилан. Третьей стадией является получение циклосилоксана путем проведения гидролиза диалкил-дихлорсилана водой. Четвертая стадия – это полимеризация циклосилоксана с образованием продукта, обладающего гидрофобными свойствами.

1. М.В. Соболевский. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов / М.В. Соболевский, О.А. Музовская, Г.С. Попелева. – Москва: Химия.– 1975 г.– С. 296
2. Marius Rutkevicius, Tahira Pirzada, Mackenzie Geiger , Saad A. Khan. – Creating superhydrophobic, abrasion-resistant and breathable coatings from water-borne polydimethylsiloxane-polyurethane Co-polymer and fumed silica – Journal of Colloid and Interface Science. (2021)

3. Андрианов К.А., Якушкина С.Е. – Полимеризация смешанных арил(алкил)-циклотетрасилоксанов – Высокомолекулярные соединения, 613-618 (1959).
4. K.A. Andrianov, S.A. Golubtsov, I.V. Trofimova, R.A. Turetskaia and V.D. Krylov. / Changes in the catalytic activity of silicin-copper alloys in the direct synthesis of chloroethylsilanes, 147-154 (1956)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВОВ НИКЕЛЯ С ТЕЛЛУРОМ МЕТОДАМИ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ХРОНОПОТЕНЦИОМЕТРИИ

Маркелов В.И.¹, Телешев А.Ю.¹, Иванов В.А.¹, Половов И.Б.¹,
Волкович В.А.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: WladisM@mail.ru

THE DETERMINATION OF THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF NICKEL-TELLURIUM ALLOYS BY POLARIZATION AND CHRONOPOTENTIOMETRY METHODS

Markelov V.I.¹, Teleshev A. Yu¹, Ivanov V.A.¹, Polovov I.B.¹, Volkovich V.A.¹
¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The present investigation is focused on the experimental investigation of tellurium thermodynamic properties in terms of possible application of molten salt nuclear reactors. The thermodynamic characteristics of nickel-tellurium alloys were measured by polarization and chronopotentiometry methods.

Проекты реакторов на расплавах солей, также известных как жидкосолевые (ЖСР), известны с 50-х годов прошлого столетия [1]. Несмотря на все преимущества и потенциальную безопасность ЖСР, проблема с выбором конструкционных материалов не позволяет разработать надежную конструкцию ядерно-энергетической установки (ЯЭУ). Причина состоит в том, что создание и эксплуатация ЯЭУ осложнена повышенной коррозионной активностью топливной соли на основе агрессивных фторидов щелочных металлов, во-многом осложненной влиянием теллура как продукта деления на стойкость конструкционных материалов по отношению межкристаллитному разрушению.

В качестве наиболее перспективных материалов для ЯЭУ ЖСР рассматриваются сплавы на основе никеля. Никелевые сплавы сочетают в себе коррозионную стойкость к агрессивным средам, приемлемые механические и технологические свойства. Однако проведенные ранее исследования применения сплавов на основе никеля выявили проблемы [2], заключающиеся в межкристаллитном растрескивании сплавов на основе никеля, причиной которых является диффузия продукта деления теллура из топливной соли в металл по границам зерен с последующим взаимодействием с компонентами сплавов, что, в свою очередь, обуславливает образование на границах зерен теллуридных включений с последующим изменением структуры сплава, а также деградации прочностных характеристик.

Для понимания причин возникновения вызванной теллуридом коррозии необходимо исследование термодинамических характеристик соединений теллура с

никелем и основными легирующими элементами сплавов – железом, молибденом, хромом. Данная работа посвящена определению термодинамических характеристик сплавов никеля с теллуrom. Эксперименты по исследованию термодинамических свойств проводили в модельном расплаве на основе эвтектической смеси (Na-K-Cs)Cl.

Измерения выполняли методами поляризации и хронопотенциометрии. В работе использовали торцевые электроды из никеля; в некоторых экспериментах поверхность никеля предварительно покрывали тонкой плёнкой теллура. Исследования проводили при температурах 500–700 оС, соответствующих рабочим параметрам ЯЭУ ЖСР. Хронопотенциограммы анализировали на предмет наличия перегибов, обусловленных изменением состава сплава в поверхностном слое. Потенциалы, соответствующие характерным точкам, были соотнесены с диаграммой состояний системы Ni-Te. По значениям потенциалов рассчитывали термодинамические характеристики образующихся соединений. Используемый метод позволяет определять характеристические потенциалы с точностью $\pm 5\text{--}10$ мВ, что соответствует погрешности определения изменения энергии Гиббса около 2–3 кДж/моль.

Потенциалы характерных точек относительно никелевого электрода сравнения позволили рассчитать активность никеля в сплавах. Полученные значения хорошо согласуются с литературными данными [3]. Так для соединения, описываемого формулой Ni_2Te_3 , попадающего в гомогенную область NiTe_{2-x} , изменение энергии Гиббса образования (в расчёте на один атом никеля) составили $-66,7$ кДж/моль, $-61,8$

1. В.Л. Блинкин, В.М. Новиков. Жидкосолевые ядерные реакторы. — М.: Атомиздат, 1978.
2. Игнатъев В.В. Экспериментальное исследование теллуровой коррозии никель – молибденовых сплавов в расплаве солей фторидов лития, бериллия и урана [Текст] / Игнатъев В.В., Суренков А.И., Гнидой И.П., Углов В.С., Конаков С.А. – Атомная энергия т. 20 выпуск 6, 2016. – 326 с.
3. Roine A., Lamberg P., Mansikkaato J., et al. HSC, version 6.12. Outec Research Oy, 2007.

КИНЕТИКА КАРБОНИЗАЦИЯ ЗОЛЫ-УНОСА МУСОРΟΣЖИГАТЕЛЬНОГО ЗАВОДА ДЛЯ СЕКВЕСТРАЦИИ CO₂

Масленников Г.Е.¹, Матюхина А.К.¹, Рыжков А.Ф.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: g26m12@gmail.com

KINETICS OF MUNICIPAL SOLID WASTE FLY ASH OF FLOW ASH CARBONATION FOR CO₂ SEQUESTRATION

Maslennikov G.E.¹, Matyukhina A.K.¹, Ryzhkov A.F.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The TGA method is used to carry out experimental studies of the process of carbonization of a sample of fly ash from the MSZ with a variation in the concentration of CO₂ and H₂O. Model parameters and optimal process modes are determined.

Мировая проблема изменения климата требует разработки и совершенствования технологий улавливания и связывания углекислого газа (CO₂). В этом направлении перспективным является процесс карбонизации минерального сырья, содержащего основные оксиды, главными из которых являются CaO и MgO. В результате CO₂ переходит в стабильную при условиях окружающей среды форму карбоната, например, CaCO₃, что исключает его утечку в атмосферу. Также данный процесс предъявляет низкие требования к чистоте и давлению CO₂ (вплоть до атмосферного).

В качестве сырья-поглотителя могут выступать природные щелочные минералы, однако высокие затраты на добычу, транспортировку и последующую утилизацию делают такой вариант в настоящее время нерентабельным.

Альтернативой могут служить промышленные отходы, например, щелочные золошлаки. Данные материалы получают в результате высокотемпературных процессов, поэтому обладают большей активностью, чем природные минералы. Кроме того, в результате карбонизации снижается токсичность отходов, поскольку образующиеся кристаллы карбоната препятствуют выщелачиванию ионов тяжелых металлов. К сожалению, данный вариант можно рассматривать только как метод снижения, а не ликвидации выбросов CO₂, поскольку содержание основных оксидов в таком сырье невелико. По обзору [1] потенциал улавливания CO₂ различными твердыми отходами может составлять 60-580 г/кг.

В данной работе экспериментально исследуется использование золовых отходов мусоросжигательного завода в качестве сырья-поглотителя. Эксперименты проводятся на термогравиметрическом анализаторе NETZSCH STA 449 F3.

Способность поглощать CO_2 демонстрирует зола-уноса, полученная после циклонов Московского МСЗ № 4 [2]. Потенциал улавливания составляет ≈ 140 г/кг на сухую массу золы.

Динамика процесса карбонизации золы отличается от карбонизации чистого CaO [3]. В первом случае при подаче CO_2 наблюдается стремительное насыщение образца до определенного предела, после чего масса практически не изменяется. В случае чистого CaO процесс протекает более плавно, в нем можно выделить переходную область от кинетического к диффузионному режиму. Такое различие можно объяснить низким содержанием CaO в золе и соответственно его малым объемом в отличие от чистого CaO , где перекрытие твердого реагента продуктом еще до полного реагирования замедляет реакцию. Данная особенность позволяет использовать более простые модели конверсии, в отличие от приведенных в [4].

По результатам экспериментов будут определены необходимы константы для выбранной модели, влияние добавки пара на скорость процесса и определены оптимальные режимы карбонизации.

1. Sanna A.A., Uibu M., Caramanna G., Kuusik R., Maroto-Valer M.M., *Chemical Society Reviews*, vol. 43, p. 8049—8080, (2014)
2. Тугов А.Н. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов на ТЭС. М.: ВТИ, (2017)
3. Матюхина А.К., Масленников Г.Е., Рыжков А.Ф. Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика», в память о профессоре Данилове Н.И. – Даниловские чтения. Екатеринбург, 13-17 декабря, 2021.
4. Zhenshan L. *Chemical Engineering Science*, vol. 227, p. 115902, (2020).

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ХЛОРАМФЕНИКОЛА НА ПЛАНАРНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕКТРОДАХ В МИКРОЯЧЕЙКЕ

Медведева М.В.¹, Козырина Ю.А.¹, Свалова Т.С.¹, Козицина А.Н.¹

¹) Кафедра аналитической химии, Химико-технологический институт, Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

E-mail: medv-margarita@yandex.ru

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF CHLORAMPHENICOL ON CARBON-CONTAINING ELECTRODES IN A MICROCELL

Medvedeva M.V.¹, Kozyrina Yu.A.¹, Svalova T.S.¹, Kozitsina A.N.¹

¹) Department of Analytical Chemistry, Chemical Engineering Institute, Ural Federal University named after the first President of Russian Federation, Yekaterinburg, Russia

The work is devoted to the study of the electrochemical behavior of chloramphenicol during the transition from a macro- to a microcell. The possibility of using the reduction of the nitro group as an analytical signal for the determination of CA in a microcell was shown.

Хлорамфеникол (ХА) – антибиотик широкого спектра действия, применяющийся в ветеринарии и медицине. Накопление ХА у животных представляет опасность для здоровья человека, что делает его мониторинг важной задачей [1]. Для определения остаточных количеств ХА в лабораторной практике используются хроматографические и спектроскопические методы анализа [2]. Наибольший интерес представляет электрохимическое определение ХА, главным образом, благодаря ультрачувствительности определения, возможности миниатюризации и перехода к портативным тест-системам. Электрохимические аналитические микроустройства имеют большие перспективы, так как поддаются массовому производству, представляя собой недорогие, одноразовые сенсорные системы. В конструкциях таких устройств, как правило, используют трехэлектродные системы, изготовленные методом трафаретной печати.

Целью данной работы было исследование особенностей электрохимического поведения ХА в условиях портативной электрохимической системы и выбор рабочих условий формирования аналитического сигнала.

В работе аналитическим сигналом служил пик восстановления нитрогруппы. Было исследовано электрохимическое поведение ХА в водной среде в буфере Бриттона-Робинсона (рН 2-10) на стеклоуглеродном рабочем электроде и в портативной микроячейке Micugh с применением трехэлектродной системы, изготовленной методом трафаретной печати. При переходе к микроячейке наблюдается сдвиг потенциала и уменьшение пикового тока, по-видимому, связанный с различиями рабочих электродов в эффективной поверхности. Предложен механизм электровосстановления ХА, проведены исследования кинетики реакции при

переходе от макро к микроячейке. Показано, что исследуемый процесс соответствует первой стадии прямого электрохимического восстановления нитрогруппы в гидроксиламин; что согласуется с литературными данными [3]. Для выбора рабочих условий формирования максимального электрохимического отклика проводились исследования в режимах циклической вольтамперометрии, квадратно-волновой вольтамперометрии и дифференциально-импульсной вольтамперометрии. При выбранных рабочих условиях ток пика электровосстановления ХА линейно зависит от концентрации антибиотика в модельном растворе и потому может быть использован в качестве аналитического сигнала электрохимического сенсора. Увеличение чувствительности определения может быть достигнуто за счет применения органических и гибридных модификаторов поверхности рабочего электрода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МК-392.2022.1.3

1. V. Samanidou et.al., *Analytica Chimica Acta* 914 (2016), pp. 62-74
2. M.C.V. Mamani et.al. *Food Chem.*, 117 (3) (2009), pp. 545-552
3. J. Klausen et.al., *Environ. Sci. Technol.*, 29 (1995), pp. 2396-2404

ЭКСТРАКЦИЯ МО ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ НИКЕЛЬ-АЛЮМО-КОБАЛЬТОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Меркучева К.А.¹, Малышев А.С.¹, Дюрягин В.В.¹, Кириллов С.В.¹,
Кириллов Е.В.¹, Бочкарева Ж.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: merkucheva_k@mail.ru

EXTRACTION OF MO FROM MODEL SOLUTIONS FOR PROCESSING NICKEL-ALUMINUM-COBALT CATALYSTS

Merkucheva K.A.¹, Malyshev A.S.¹, Duryagin V.V.¹, Kirillov S.V.¹, Kirillov E.V.¹,
Bochkareva Z.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A method of extraction of molybdenum from AMC catalysts has been developed. The kinetics of the extraction process was studied. As well as the effect of soda concentration and temperature dependence on the degree of molybdenum extraction.

Одним из важных источников вторичного сырья редких металлов являются отработанные катализаторы. В состав катализаторов, используемых в нефтехимической промышленности для гидроочистки, гидрообессеривания (гидродесульфуризации) и гидрокрекинга нефти, обычно входят редкие (Mo, V, W) и тяжелые цветные металлы (Ni, Co) в виде оксидов (и/или сульфидов), основой (носителем) обычно служит Al_2O_3 , реже – SiO_2 [1].

Одной из проблем является накопление отработанных катализаторов, большинство из которых являются токсичными для окружающей среды. Основными из таких отходов являются молибденсодержащие катализаторы марок АКМ ($\approx 4\%$ CoO и 12% MoO_3), АНМ ($3...4\%$ NiO, $12...14\%$ MoO_2) и др.[2]. Переработка таких катализаторов позволяет не только избавиться от отходов, но и реализовать их в качестве вторичного источника Mo.

Поэтому, актуальной задачей является разработка экологичного способа извлечения молибдена из отработанных катализаторов.

Выщелачивание молибдена, кобальта и никеля проводили методом спекания с содой с последующим водным выщелачиванием. Полученные продуктивные растворы, в зависимости от условий проведения процесса, содержали от 10 до 50 г/дм³ Mo (от 0,05 до 7,5 г/дм³ Al и менее 0,01 г/дм³ Co), остаточное содержание Na_2CO_3 составляло 5-30 г/дм³[3]. Из данных продуктивных растворов проводили экстракционное извлечение Mo с применением Aliquat 336.

По причине отсутствия отработанных катализаторов эксперименты по экстракции Mo проводились на молибденовых растворах.

Модельные растворы, содержащие от 0,1 до 100 г/дм³ по Мо, готовились из соли Na₂MoO₄. Также вводился карбонат натрия, чтобы воспроизвести остаточную концентрацию соды после выщелачивания от 0 до 200 г/дм³ по Na₂CO₃.

Экстракцию проводили с помощью экстрагента – Aliquat 336. Экстрагент из товарной Cl⁻-формы переводили в CO₃²⁻-форму. Перевод экстрагента в рабочую форму проводили непосредственно контактом с раствором Na₂CO₃ с концентрацией 200 г/дм³ в течение 20 минут. После этого промывали водой до конечного pH≈9.

Одним из основных параметров, который влияет на экстракцию Мо из карбонатных растворов, является концентрация соды.

Поэтому было изучено влияния концентрации соды на процесс экстракции Мо. Для этого была приготовлена серия модельных растворов с концентрацией от 0 до 200 г/дм³ по Na₂CO₃ и с постоянной концентрацией Мо – 10 г/дм³. Эксперимент проводился при непрерывном перемешивании в течении 15 минут при соотношении В:О = 1:1 и Э:Р=40:60.

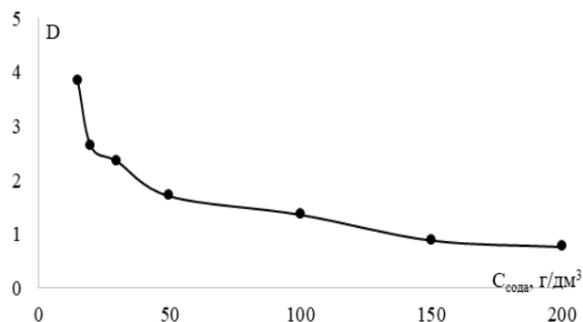


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения D от концентрации соды в растворе

Концентрация соды оказывает значительное влияние на экстракцию Мо, максимальный коэффициент распределения составляет 3,9 при концентрации соды в пределах до 20 г/дм³, вместе с тем видно, что реэкстракцию из Aliquat 336 можно проводить высококонцентрированными содовыми растворами.

1. Зеликман А.Н., Вольдман Г.М. Теория гидрометаллургических процессов. - М.:«Интермет Ижинеринг», 2003. - 422 с.
2. Колобов Г.А., Медведев А.С., Колмакова Л.П., Карпенко А.В. Новые технологии извлечения молибдена из отработанных катализаторов // *Металлургия*, выпуск 2 (32) - 2014.
3. Медведев, А. С. Пирометаллургический способ извлечения молибдена из отработанных АКМ катализаторов нефтеочистки [Текст] / А. С. Медведев, Н. В. Малочкина, Ф. Ш. Балгаева // *Химическая технология : межд. конф. ХТ'07*, Москва, 17-23 июня 2007. : тез. докл. – Т. 4. – М. : ЛЕНАНД, 2007. – С. 261-263 .

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАТРИЕВОЙ СОЛИ 2-МЕТИЛТИО-6-НИТРО-7-ГИДРОКСИ-4Н-1,2,4-ТРИАЗОЛО-4,7-ДИГИДРО[5,1-С]-1,2,4-ТРИАЗИНИД МОНОГИДРАТА

Можаровская П.Н.¹, Ивойлова А.В.¹, Иванова А.В.¹, Козицина А.Н.¹,
Русинов В.Л.^{1,2}

¹) Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

²) Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского, УрО РАН, 620137, Россия,
г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 22
E-mail: pnmozharovskaia@urfu.ru

ELECTROCHEMICAL STUDY OF 2-METHYLTHIO-6-NITRO-7-HYDROXY-4H-1,2,4-TRIAZOLO-4,7-DIHYDRO[5,1-C]-1,2,4-TRIAZINIDE MONOHYDRATE SODIUM SALT

Mozharovskaia P.N.¹, Ivoilova A.V.¹, Ivanova A.V.¹, Kozitsina A.N.¹, Rusinov
V.L.^{1,2}

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin.620002,
Russia, Yekaterinburg, st. Mira, 19.

²) I.Ya. Postovsky Insititute of Organic Synthesis of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences (IOS UB RAS),620137, Russia, Yekaterinburg, st. Sofia Kovalevskoy,
22

The redox conversion of a potential antiviral drug was studied by voltammetry methods. It has been established that the cathode signal is due to the occurrence of an irreversible process of electroreduction of the nitro group. The number of electrons involved in the reduction reaction is 3.

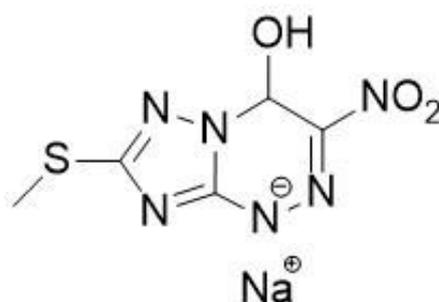


Рис. 1. Структурная формула соединения 1

Постоянная изменчивость вирусов приводит к необходимости разрабатывать новые более активные и безопасные лекарственные противовирусные препараты. Представитель нового класса соединений нитроазолозинов - натриевая соль 2-метилтио-6-нитро-7-гидрокси-4Н-1,2,4-триазоло-4,7-дигидро[5,1-с]-1,2,4-

триазиныда моногидрата (рисунок 1) - проявляет противовирусную активность в отношении вирусов гриппа типа А и В.

Соединение 1 является структурным аналогом ранее изученного нами известного противовирусного препарата Триазавирин® [1]. На данный момент времени не до конца изучен механизм действия нитрогетероциклических терапевтических агентов. Известно, что лекарственные вещества, особенно нитросоединения, подвергаются окислительно-восстановительным превращениям в организме человека. При этом электрохимические методы анализа делают возможным изучение превращения препарата *in vitro* максимально приближенное к процессам, протекающим с лекарством *in vivo*. Поэтому исследование окислительно-восстановительных превращений таких молекул может дать очень важную информацию при изучении и интерпретации механизма противовирусного действия.

Методом вольтамперометрии на стеклоуглеродном электроде (СУЭ) в буферном растворе Бриттона-Робинсона (ББР) при pH 2 было исследовано электрохимическое поведение соединения 1. Результаты исследования показали, что катодный сигнал обусловлен протеканием необратимого процесса электровосстановления (ЭВ) нитрогруппы, связанной с сопряженной ароматической системой.

Для определения эффективного числа электронов n_e , участвующих в электрохимической реакции восстановления ток 1 при pH 2 на ЦВА сравнивали с током, рассчитанным по уравнению Рендлса–Шевчика для необратимых электрохимических реакций [2], и током стандартной обратимой редокс системы $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ в тех же условиях. Кроме того, число электронов, участвующее в ЭВ 1 было определено по величине предельного тока на вращающемся дисковом электроде (n_e ВДЭ), и по количеству электричества в интервале t от 1 до 2 с, в сравнении с количеством электричества, проходящим при тех же условиях при потенциале предельного тока восстановления модельного соединения (n_e ХК).

Полученное значение n_e для 1, определенное всеми использованными электроаналитическими методами, составило 3е, что соответствует классической схеме восстановления нитросоединений [3] в кислых водных средах, сопровождающейся образованием промежуточного продукта радикальной природы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 19-29-08015 мк

1. A. V. Ivoilova, L. V. Mikhal'chenko, A. N. Tsmokalyuk, A. N. Kozitsina, A. V. Ivanova & V. L. Rusinov, Russian Chemical Bulletin, 70, 1099–1108, (2021).
2. M. Heyrovsky and S. Vavricka, J Electroanal. Chem., 28, 409 (1970).
3. S.F. Lu, K. B. Wu, X. P. Dang, S. S. Hu, Talanta, 63, 653, (2004).

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ РАФИНИРОВАНИЕ УРАНОВЫХ СПЛАВОВ В РАСПЛАВАХ $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$

Никитин Д.И.¹, Половов И.Б.¹, Мухамедьянов А.Д.¹, Волкович В.А.¹, Ребрин О.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ)
E-mail: mukhamedyanov96@mail.ru

URANIUM ALLOY ELECTROREFINING IN $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$ BASED MELTS

Nikitin D.I.¹, Polovov I.B.¹, Mukhamedyanov A.D.¹, Volkovich V.A.¹, Rebrin O.I.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

The process of uranium alloy electrorefining in $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$ based melts was investigated. Dense and compact uranium deposits were obtained. Cathodic current efficiency in the majority of under certain conditions exceeded 85 %.

Электролитическое рафинирование модельного ядерного топлива в расплавленных солевых электролитах, в частности в эвтектической смеси хлоридов лития и калия, является одним из возможных этапов пирохимической переработки облученного ядерного топлива. Целью рафинировочного электролиза является получение катодного осадка урана при удержании благородных металлов в анодном осадке, при этом обеспечив концентрирование редкоземельных продуктов деления в электролите.

Осуществлена экспериментальная проверка параметров электролитического рафинирования с использованием сплава, имитирующего продукт переплавки металлической фазы после «металлизации». При использовании в качестве анодного материала модельный продукт «металлизации» получены катодные осадки металлического урана высокой чистоты.

Показана возможность отделения урана от благородных металлов и редкоземельных элементов. Благородные металлы концентрируются в донной части ванны не растворяясь в электролите, при этом выделения на катоде не происходит. Редкоземельные элементы в первую очередь растворяются в электролите, но при этом тоже «падают» механически на дно ванны.

Исследован процесс электрообработки уранового сплава в расплавах на основе $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$. Были получены плотные и компактные осадки урана. Выход по току в большинстве случаев при определенных условиях превышал 85%.

ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

Наливайко К.А.¹, Скрипченко С.Ю.¹, Титова С.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: k.a.nalivaiko@urfu.ru

THE PROBLEMS OF SOLID RADIOACTIVE WASTE KEEPING IN NEAR-SURFACE STORAGE FACILITIES

Nalivaiko K.A.¹, Skripchenko S.Yu.¹, Titova S.M.¹

¹) Ural Federal University

The purpose of this work is to specify the approaches to the conditioning of radioactive waste located in the near-surface storage facilities of CMP JSC, as well as to determine the possibility of extracting actinides from them for further use in the nuclear fuel cycle.

В середине прошлого века на заре создания ядерного щита страны при строительстве предприятий переработки первичных концентратов урана размещение отходов производства в приповерхностных хранилищах виделось рациональным и безопасным решением. В итоге за годы их эксплуатации накопились миллионы тонн радиоактивных отходов (РАО), содержащих ряд химических элементов семейства актиноидов, представленных как донными осадками, так и солесодержащими водами. Анализ современного состояния проблемы показал, что полностью безопасных инженерных решений для приповерхностного хранения радиоактивных отходов нет. Воздействие естественных природных факторов запускает процессы выщелачивания и выветривания шламов, благодаря чему посредством инфильтрации в грунтовые воды неизбежно поступление радиоактивных элементов в окружающую среду. Поэтому процесс кондиционирования РАО применительно к таким объектам должен быть запущен как можно раньше.

В настоящее время ожидают кондиционирования радиоактивные отходы, находящиеся в приповерхностных хранилищах АО «Чепецкий механический завод» (г. Глазов, Удмуртская Республика). На данном предприятии вплоть до 2016 года перерабатывали первичные концентраты урана с получением в качестве конечного продукта тетрафторида урана, и было накоплено за годы эксплуатации порядка 5 млн. т радиоактивных отходов. При этом в приповерхностные хранилища наряду с РАО поступали отходы и других производств (кальциевого, циркониевого). Туда же стекали сернокислые растворы после дезактивации металлолома, загрязнённого радионуклидами, травления изделий из обедненного урана и т.д. Поэтому при формировании донных отложений хранилища была неизбежна их неоднородность, в том числе по удельной активности, а их последующее хранение сопровождалось вымыванием актиноидов в приповерхностные

воды. Открытые поверхностные хранилища АО «ЧМЗ» располагаются на левом берегу реки Чепца в непосредственной близости к её руслу и несут в себе потенциальную угрозу экологии прилегающей территории. А значит, переработка расположенных в них радиоактивных отходов позволит снизить антропогенную нагрузку предприятия на окружающую среду, уменьшив при этом риски для жизни и здоровья граждан. И первым шагом на пути к этому является определение физико-химических характеристик накопленных радиоактивных отходов, установление форм нахождения актиноидов и механизмов их осаждения при формировании твердой фазы, степени их распространённости в зависимости от глубины донных осадков, миграционной активности в приповерхностные воды и т.д. Это является основной целью данной работы, выполнение которой позволит конкретизировать подходы к кондиционированию радиоактивных отходов, размещенных в приповерхностных хранилищах АО «ЧМЗ», и определить возможность извлечения из них актиноидов для дальнейшего использования в ядерно-топливном цикле.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00846, <https://rscf.ru/project/22-29-00846/>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЕКАТЕРИНБУРГА И СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Насонова Ю.И.¹, Семенищев В.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: july.nasonova@yandex.ru

DETERMINATION OF RADIONUCLIDES IN NATURAL WATERS OF YEKATERINBURG AND SVERDLOVSK REGION

Nasonova Y.I.¹, Semenischev V.S.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin Yeltsin
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this paper, we monitored springs for the presence of various natural radionuclides. For seven springs with exceeding the intervention level of Rn-222 radon activity fluctuations were monitored in the period from September 2020 to January 2022.

Снабжение населения чистой питьевой водой остается одной из важнейших задач, особенно в промышленно развитых и густонаселенных районах. Помимо воды централизованных источников водоснабжения, население использует для питьевых целей подземную воду из скважин и родников, которая потенциально может быть загрязнена тяжелыми металлами и природными радионуклидами. В данной работе было проведено исследование воды из 25 родников Екатеринбурга и Свердловской области на содержание активностей радона, урана и тория. Активность Rn-222 в пробах измеряли на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре «Атомтех МКС-1315 АТ» по линии равновесного дочернего гамма-излучающего изотопа Bi-214 ($E = 609$ кэВ) в стандартной геометрии Маринелли (1 л), после чего пересчитывали активность на момент отбора пробы. Активности U-238 и Th-232 рассчитывали по концентрациям урана и тория, которые измеряли на масс-спектрометре NexION 350 (Perkin Elmer, США). Полученные результаты показали, что в 7 родниках было обнаружено превышение уровня вмешательства по Rn-222 (60 Бк/л), при этом максимальная активность составила порядка 180 Бк/л (3 УВ). Превышение активностей урана и тория в данных родниках не присутствует. В то же время удельные активности урана и тория не превышали установленных норм во всех родниках. Максимальная активность U-238 составила 0,012 Бк/л (0,4% от УВ), а Th-232 – 0,0006 Бк/л (0,1% от УВ).

Для семи родников с превышением уровня вмешательства по Rn-222 был осуществлен мониторинг колебаний активности радона в период с сентября 2020 по январь 2022 года. Полученные экспериментальные данные приведены на рис.1.

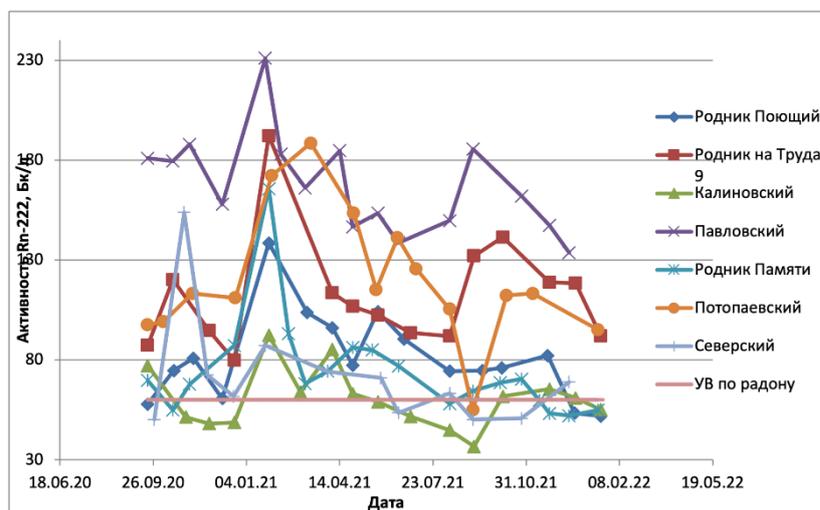


Рис. 1. Изменение активности Rn-222 от временных колебаний.

С понижением температуры в 2020 году наблюдалось увеличение активности радона, это связано из-за высокой растворимости радона в низких температурах. В частности, в роднике Калиновский отмечено зимнее снижение активности радона до значений менее 60 Бк/л, а в роднике Северский сильные колебания в осенний период из-за особенностей данного родника – низкого дебета и наличия застойной зоны. С повышением температуры активность радона в родниках начала уменьшаться, но в родниках: Павловский и Поющий в мае активность увеличилась примерно на 10-20 Бк/л по сравнению с апрелем, а в роднике Калиновский достигла допустимого уровня вмешательства 59 Бк/л. В осенний и зимний период 2021 наблюдалось уменьшение активности радона до во всех родниках. УВ по радону в январе достигли родники: Калиновский, Памяти и Поющий. Только в роднике Северский активность в декабре увеличилась с 50,7 Бк/л до 69 Бк/л.

В целом, по результатам мониторинга можно отметить достаточно сильные сезонные колебания содержания радона в воде родников, поэтому точечное однократное измерение удельной активности радона может привести к некорректной оценке пригодности данной воды для употребления. Таким образом, можно рекомендовать проводить систематическую регулярную оценку качества природных вод по данному фактору.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-43-660055.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОТЕНЦИАЛА СПЛАВОВ U-Pd В РАСПЛАВАХ 3LiCl–2KCl–UCl₃

Никитин Д.И.¹, Половов И.Б.¹, Фофанов Г.Л.¹, Фурта А.П.¹, Волкович В.А.¹,
Ребрин О.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина (УрФУ)
E-mail: house.freshone@yandex.ru

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE POTENTIAL U-Pd ALLOYS IN 3LiCl–2KCl–UCl₃ MELTS

Nikitin D.I.¹, Polovov I.B.¹, Fofanov G.L.¹, Furta A.P.¹, Volkovich V.A.¹, Rebrin
O.I.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

Temperature dependence of the potential U-Pd alloys in 3LiCl–2KCl–UCl₃ melts were studied at different temperatures and concentrations using a variety of electrochemical techniques.

Электролитическое рафинирование ядерных материалов в расплавленных солевых электролитах, в частности в эвтектической смеси хлоридов лития и калия, является одним из возможных этапов пирохимической переработки облученного ядерного топлива. Целью рафинировочного электролиза является получение катодного осадка делящихся материалов при удержании благородных металлов в анодном осадке, при этом обеспечив концентрирование редкоземельных продуктов деления в электролите. Для определения параметров рафинировочного электролиза требуются сведения о термодинамических свойствах модельного ядерного топлива и особенностях электродных процессов с участием модельных сплавов на основе урана, содержащих благородные металлы.

Для определения диапазона возможных для практического использования потенциалов нами были синтезированы модельные сплавы U–Pd с различной концентрацией палладия, изучены процессы зависимости потенциала этих сплавов, от температуры в интервале 550°C – 750°C в расплавах на основе 3LiCl–2KCl–UCl₃ (содержание U_{мет} ~5%). Проводилось измерение модельного уранового анода, относительно хлорного и уранового электрода сравнения.

Показано, что наблюдается четкое смещение потенциала в положительную сторону с ростом содержания палладия в сплаве. Данный экспериментальный факт был ожидаем, он соответствует принципам формирования гальванических элементов в электролитах.

Показано, что потенциал уран-палладиевого сплава смещается в электроположительную область с увеличением температуры, что свидетельствует об одностадийности процесса электровосстановления.

Проведена съемка зависимостей потенциала сплавов U-Pd (0, 3, 5, 10%) относительно хлорного электрода сравнения, от температуры в интервале 550°C – 750°C, в расплаве $3\text{LiCl}-2\text{KCl}-\text{UCl}_3$ (содержание $U_{\text{мет}} \sim 5\%$). Также было проведена съемка зависимостей потенциала сплавов U-Pd (0, 3, 5, 10%) относительно уранового электрода сравнения, от температуры в интервале 550°C – 750°C, в расплаве $3\text{LiCl}-2\text{KCl}-\text{UCl}_3$ (содержание $U_{\text{мет}} \sim 5\%$).

Полученные данные о потенциалах выделения могут быть востребованы при разработке и оптимизации процессов пирохимической переработки отработавшего ядерного топлива, в том числе для глубокого фракционирования компонентов ОЯТ, очистки и выделения делящихся материалов с целью их возврата в топливный цикл.

LIPOSOMES LOADED WITH A NOVEL ANTITUBERCULAR COMPOUND; OPTIMIZATION AND CHARACTERIZATION STUDIES

Obiedallah M.M.^{1,2}, Mironov M.A.¹

¹) Department of Technology for Organic Synthesis, Institute of Chemical Technology, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia.

²) Department of Pharmaceutics, Faculty of Pharmacy, Assiut University, Assiut 71526, Egypt.

E-mail: m.mh.obid@gmail.com

Treatment of pulmonary tuberculosis is a challenging problem worldwide due to the high toxicity of commonly used first-line drugs as well as the multi-drug resistance (MDR) complication which leads to treatment failure.

Liposomes are receiving growing attention in the treatment of pulmonary diseases especially pulmonary tuberculosis (TB) due to their distinctive structural characteristics, physiological features, and biological properties. Being formulated from phospholipids similar to endogenous pulmonary surfactant acquire liposomes unique features for pulmonary drug delivery. Deol and Khuller developed lung-specific modified liposomes for more effective chemotherapy against pulmonary tuberculosis (TB) [1]. The results indicated that isoniazid and rifampicin encapsulated in liposomes were less toxic to peritoneal macrophages as compared to free drugs. Another study suggested pyrazinamide incorporated liposomes for the treatment of Mycobacterium tuberculosis [2]. The authors reported the high therapeutic efficacy of pyrazinamide liposomes, injected twice weekly, in treatment of Mycobacterium tuberculosis in mice. Khatib et al. developed ciprofloxacin nanocrystals liposomal powders for controlled drug release via inhalation [3]. These liposomal powders were highly respirable as well as physically stable upon moisture exposure and showed prolonged drug release [3].

The aim of our study was to formulate and optimize liposomal particles loaded with new synthesized antitubercular compound. The antitubercular agent is an imidazo-tetrazine derivative (3- (3,5-dimethylpyrazole-1-yl) -6-(isopropylthio) imidazo [1,2-b] [1,2,4,5] tetrazine) (DIT). The free compound showed antimycobacterial activity on both Mycobacterium tuberculosis H37Rv and Mycobacterium smegmatis mc2 155, within a concentration as low as 1 µg/ml [4]. The liposomes loaded with DIT compound were prepared by the traditional thin-film hydration method. For optimization of the prepared liposomal formulations, several factors were studied and evaluated such as the concentration of DIT compound, the type and volume of organic solvent, the hydrating solution, and the type and concentration of surfactant. The prepared liposomes are characterized by particle size measurement, zeta potential, polydispersity index (PDI), and in vitro release studies. The encapsulation efficiency was ranged from 13.91 to 53.62 and zeta potential ranged from +4.75 to +58.7 mv. Higher zeta potential indicated higher stability of the liposomal preparation. Therefore, the DIT encapsulated

liposomes may be a useful nanocarrier for efficient mycobacterium tuberculosis therapy.

1. P. Deol and G. K. Khuller, "Lung specific stealth liposomes: Stability, biodistribution and toxicity of liposomal antitubercular drugs in mice," *Biochim. Biophys. Acta - Gen. Subj.*, vol. 1334, no. 2–3, pp. 161–172, Mar. 1997.
2. M. S. El-Ridy et al., "Biological evaluation of pyrazinamide liposomes for treatment of *Mycobacterium tuberculosis*," *Int. J. Pharm.*, vol. 330, no. 1, pp. 82–88, Oct. 2007.
3. I. Khatib et al., "Ciprofloxacin nanocrystals liposomal powders for controlled drug release via inhalation," *Int. J. Pharm.*, vol. 566, pp. 641–651, Jul. 2019.
4. D. A. Maslov et al., "Synthesis and antimycobacterial activity of imidazo[1,2-b][1,2,4,5]tetrazines," *Eur. J. Med. Chem.*, vol. 178, pp. 39–47, Sep. 2019.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД, ПОЧВ И РАСТЕНИЙ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Окунева Т.Г.¹, Киселева Д.В.^{1,2}, Шагалов Е.С.^{1,3}, Солошенко Н.Г.¹, Панкрушина Е.А.¹, Рянская А.Д.¹, Уразова К.К.¹, Сидорук А.Р.², Карпова С.В.¹

¹) Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) УрФУ им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³) Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: okunevatatjana@mail.ru

ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF SURFACE WATERS, SOILS AND PLANTS IN THE ORENBURG REGION

Okuneva T.G.¹, Kiseleva D.V.^{1,2}, Shagalov E.S.^{1,3}, Soloshenko N.G.¹, Pankrushina E.A.¹, Ryanskaya A.D.¹, Urazova K.K.¹, Sidoruk A.R.², Karpova S.V.¹

¹) Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

²) UrFU named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

³) Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Microelement analysis of surface waters, soils and plants from the Orenburg region was carried out. For V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, and Pb a comparison was made with the threshold limit values in drinking water, and the enrichment factors were calculated.

Ведущие отрасли экономики Оренбургской области – топливная промышленность, чёрная и цветная металлургия, химическая, нефтехимическая и пищевая отрасли. На территории Оренбургской области находится крупнейшее в России Оренбургское газоконденсатное месторождение, ведётся добыча нефти в районе Предуралья, железных (Халиловское месторождение), медных (Гайское месторождение) и никелевых руд, асбеста (Киёмбаевское месторождение), каменной соли (Илецкое месторождение) др. Ежегодный рост добычи и переработки углеводородного сырья, увеличение выпуска продукции металлургической промышленности, тяжелого машиностроения, энергетики приводит к неизбежному загрязнению окружающей природной среды.

Образцы воды (125 шт), растительности (240 шт) и почв (220 шт) отобраны на территории Оренбургской области (середина июля – середина августа 2020 года). Поверхностная вода отбиралась из постоянных и временных водотоков, из крупных рек Оренбургской области – Урала, Самары, Сакмары, Илека и их притоков, ряда озёр естественного и искусственного происхождения. Образцы отбирали в полипропиленовые пробирки объемом 50 см³, консервировали дважды перегазированной концентрированной азотной кислотой HNO₃ и запечатывали лентой фторопластового уплотнительного материала (ФУМ). С целью оценки межвидовых вариаций изотопных отношений стронция отбирались травянистые растения из семейства злаков (мятликовые) и астровых (полынь). В ряде районов, поймах

рек и реликтовых лесов диапазон опробования включал древесину, кору, листья (хвою) деревьев. Поверхностный почвенный слой, в зависимости от мощности, отбирался с глубины до 10 см, где расположена основная масса корней растений.

Анализ элементного состава проведен в блоке чистых помещений (классы 6 и 7 ИСО, ИГГ УрО РАН, ЦКП «Геоаналитик», г. Екатеринбург). Образцы травы просушены на воздухе и измельчены, затем очищены от внешних загрязнений и озолены. Растворение проводили открытым способом в концентрированной азотной кислоте при нагревании на плитке. Из почв получали водные вытяжки при встряхивании. В отфильтрованных образцах воды проводили определение содержания микроэлементов методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре NexION 300S.

Для загрязняющих элементов V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, Pb проведено сравнение с ПДК в питьевой воде, рассчитаны коэффициенты обогащения (EF, enrichment factor) и предпринята попытка оценки наличия и масштабов антропогенного загрязнения водных ресурсов, а также поверхностных слоев почвы и растений на территории Оренбургской области.

Работа поддержана РФФИ (проект № 20-09-00194) и выполнена в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН в рамках темы № АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение № 075-15-2021-680.

СОРБЦИЯ Sr-90 ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ И РАСТВОРОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КАРБОНАТ-ИОНОВ

Онуфриева А.В.¹, Воронина А.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия E-mail: nastjon4433@gmail.com
E-mail: nastjon4433@gmail.com

SORPTION OF Sr-90 FROM SEAWATER AND SOLUTIONS WITH A HIGH CONTENT OF CARBONATE IONS

Onufrieva A.V.¹, Voronina A. V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia E-mail: nastjon4433@gmail.com

Sorption of Sr-90 by natural and modified glauconite and clinoptilolite from waters in the presence of CO₃²⁻ was investigated. The coefficient of distribution and strontium content in the sorbent increases due to the additional introduction of CO₃²⁻ or stable strontium into the solution.

Воды Мирового океана и почвы загрязнены долгоживущими радионуклидами, которые переходят по пищевым цепям, и концентрируются в организмах высших трофических уровней, создавая опасность, для человека. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) на основе морской воды образуются в процессе эксплуатации и авариях транспортных реакторов судов. Большое количество ЖРО было накоплено при охлаждении аварийных энергоблоков АЭС Фукусима-1 (Япония) морской водой.

Очистка жидких радиоактивных отходов на основе морской воды, природных вод и почвенных растворов от Sr-90 является сложной задачей ввиду присутствия в высокой концентрации элементов – аналогов, которые могут существенно снизить эффективность сорбционного извлечения Sr-90[1]. Однако в присутствии ионов CO₃²⁻ возможности сорбционного извлечения могут расширяться за счёт включения механизмов не только ионообменного поглощения стронция, но и осаждения карбоната стронция в поровом пространстве сорбента. Произведение растворимости SrCO₃ составляет $5,3 \cdot 10^{-10}$ и может достигаться в растворе, как за счёт введения стронция, так и CO₃²⁻.

В работе исследована сорбция Sr-90 природными и модифицированными глауконитом и клиноптилолитом из морской воды и растворов с повышенным содержанием CO₃²⁻. В табл. 1 представлены коэффициенты распределения, полученные из водопроводной воды и воды с добавлением CO₃²⁻. Результаты показали, что введение карбонат-иона в раствор приводит к увеличению коэффициентов распределения стронция.

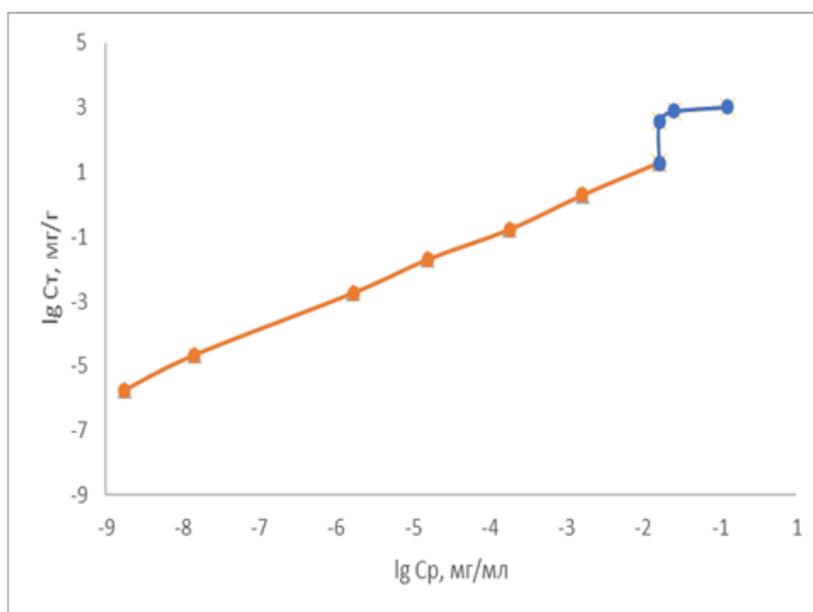


Рис. 1. Изотерма сорбции стронция из морской воды модифицированным клиноптилолитом

На рис. 1 представлена изотерма сорбции стронция из морской воды модифицированным клиноптилолитом.

При концентрации стронция в растворе >100 мг/л происходит изменение вида кривой, связанное с изменением химизма сорбции, предположительно идет образование карбоната стронция в поровом пространстве сорбента. Достижимые из морской воды коэффициенты распределения стронция в условиях сорбции и осаждения для модифицированного клиноптилолита составили $9,4 \cdot 10^3$ мл/г, модифицированного глауконита - $2,8 \cdot 10^3$ мл/г. Максимальное содержание стронция в сорбенте 1000 мг/г.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (в рамках базовой части госзадания, проект № FEUZ-2020-0060).

1. Воронина А.В., Носкова А.Ю., Семенищев В.С., Блинова М.О., Никифоров А.Ф., 2019, Очистка морской воды от радионуклидов цезия и стронция. В: Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 6, стр. 102-120 19 стр.

УСЛОВНЫЙ СТАНДАРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПАЛЛАДИЯ В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ LiCl-KCl-CsCl

Осипенко А.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: vida1995@yandex.ru

FORMAL STANDARD POTENTIAL OF PALLADIUM IN LiCl-KCl-CsCl EUTECTIC MELT

Osipenko A.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg 620002 Russian Federation

The formal standard potential of palladium was determined in melts based on ternary eutectic mixture of lithium, potassium and cerium chlorides in the temperature range of 300-650 °C employing the electromotive force measurements and the transient electrochemical methods.

Разработка технологии извлечения металлов платиновой группы из ОЯТ является одним из приоритетных направлений исследований ГК "Росатом". По имеющимся оценкам, выделение и реализация ценных стабильных компонентов ОЯТ позволят компенсировать не менее 20% стоимости переработки. В ОЯТ в значимых количествах присутствует палладий. В существующей технологии переработки ОЯТ радиоактивные благородные металлы переходят в отходы. Расчёты показывают, что завод по переработке ОЯТ ВВЭР производительностью 1000 т/год может выделять ежегодно около 3,5 т палладия [1]. Наиболее безопасный метод выделения РБМ из ОЯТ - пирохимический. Среди хлоридных расплавов самой многообещающей является тройная эвтектика LiCl-KCl-CsCl благодаря её низкой температуре плавления и большой комплексообразующей способности. Для извлечения палладия из отходов переработки ОЯТ необходимо получить термодинамические данные по его электрохимическому поведению, в том числе по зависимости условного стандартного потенциала в LiCl-KCl-CsCl. В данной работе были определены температурные зависимости равновесных потенциалов палладия в расплаве LiCl-KCl-CsCl транзистными методами и методом ЭДС в температурном диапазоне 300-650 °C при разных концентрациях хлорида палладия. После математической обработки полученной выборки данных были рассчитаны условные стандартные потенциалы палладия. Величина угла наклона графика температурной зависимости условного стандартного потенциала E^* совпадает с соответствующей величиной для других расплавов и расположена на прямой согласно с зависимостью от обратного эффективного радиуса катиона соли-растворителя.



Рис. 1. $\text{PdCl}_2\text{-LiCl-KCl-CsCl}$ (начальное содержание хлорида палладия (II) - 0,4 мол.%)

1. Аляпышев М.Ю. Выделение минорных актинидов из высокоактивных отходов - современные тенденции / М.Ю.Аляпышев, В.А. Бабаин, Ю.А.Устынюк // Успехи химии. - 2016. - Т.85 (9). - С. 943-961

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ХЛОРАЛЮМИНАТА КАЛИЯ

Палаева Т.В.¹, Данилов Д.А.¹, Ившина А.А.¹, Половов И.Б.¹

¹) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: palaeva.tanya00@mail.ru

DETERMINATION OF ALUMINUM AND ZIRCONIUM CHLORIDES IN POTASSIUM CHLORALUMINATE MELT

Palaeva T.V.¹, Danilov D.A.¹, Ivshina A.A.¹, Polovov I.B.¹

¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin"

The possibility of determining aluminum and zirconium chlorides in potassium chloraluminate-based melts was investigated. Extraction with chloroform was used to isolate $AlCl_3$ and $ZrCl_4$ for their titrimetric determination.

Расплав хлоралюмината калия ($KCl - AlCl_3$) используют для рафинирования циркония и отделения его от гафния. Для успешного осуществления процесса необходимо контролировать молярное соотношение KCl и $AlCl_3$ и форму нахождения циркония. Для количественного определения аналитов был предложен экстракционный метод выделения хлоридов алюминия и циркония из хлоралюмината калия с последующим титриметрическим анализом.

В основе разделения - избирательное растворение хлоридов в хлороформе. Хлороформ - бескислородной органический растворитель способный растворять безводные хлориды циркония и алюминия. Растворитель был подобран из условий безопасности использования в лаборатории, доступности и способности избирательно растворять только безводные хлориды.

растворимости веществ в $CHCl_3$, %	
$AlCl_3$	0.7
$AlCl_3$ (гид)	нераств.
$ZrCl_4$	0.976
$ZrCl_4$ (гид)	нераств.
$KAlCl_4$	0.076
$KAlCl_4$ (гид)	нераств.

Рис. 1. Растворимости гидратированных и безводных соединений хлорида алюминия и циркония, хлоралюмината калия в хлороформе

На основе справочной информации [1] о растворимости хлоридов была проведена серия экспериментов для получения значения растворимости хлоралюмината калия, его поведения в присутствии хлоридов алюминия и циркония (частично гидратированных).

По данным экспериментов было выявлено, что растворимость безводного хлоралюмината калия на порядок ниже растворимости хлорида алюминия. То есть количество хлоралюмината калия способного раствориться в хлороформе - незначительно. Проверив растворимость в смесях с частично гидратированными хлоридами, было выявлено, что при длительном контакте в растворителе начинает происходить перераспределение гидратных групп, что приводит к гидролизу безводных хлоридов. Для предотвращения такого эффекта весь процесс растворения происходит в течение часа с использованием ультразвуковой ванны с последующим центрифугированием. После жидкую фазу отбирают, отгоняют из неё хлороформ, растворяют в неорганических растворителях и определяют количественно титриметрически.

1. Коган В. Б., Фридман В. М., Кафаров В. В. Справочник по растворимости. Том 1. Бинарные системы // Издательство академии наук СССР, 1961.

СОВМЕСТНОЕ ОСАЖДЕНИЕ ФОСФАТОВ СТРОНЦИЯ, БАРИЯ И ГАДОЛИНИЯ ИЗ РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ХЛОРИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Павлова Е.А.¹, Иванов А.Б.¹, Волкович В.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: chivasch@yandex.ru

CO-PRECIPIATION OF STRONTIUM, BARIUM, AND GADOLINIUM PHOSPHATES FROM ALKALI CHLORIDE BASED MELTS

Pavlova E.A.¹, Ivanov A.B.¹, Volkovich V.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Precipitation of strontium and barium phosphates from LiCl–KCl–GdCl₃–BaCl₂, NaCl–KCl–CsCl–GdCl₃–BaCl₂, NaCl–KCl–GdCl₃–SrCl₂, LiCl–KCl–GdCl₃–SrCl₂ and NaCl–KCl–CsCl–GdCl₃–SrCl₂ melts by reaction with Na₃PO₄ was investigated at 750 °C and 550 °C. X-ray powder diffraction analysis was employed.

В ранних работах [1–5] рассмотрено влияние введения избытка осадителя на глубину очистки солевого расплава различного состава от ионов стронция, бария и редкоземельных элементов. В качестве реагента осадителя выбран фосфат натрия. Для полученных частиц определены фазовый состав и размеры частиц фосфатов. В данной работе в качестве представителя лантаноидов иттриевой группы выбран гадолиний, присутствующий в расплавах в форме хлорида.

В данной работе проведено исследование влияния избытка фосфат ионов на процесс совместного осаждения фосфатов бария, стронция и гадолиния из расплавов хлоридов щелочных металлов. В качестве рабочих сред выбраны следующие смеси: эвтектическая смесь LiCl–KCl (550 °C), эвтектическая смесь NaCl–KCl–CsCl (550 °C), эквимольная смесь NaCl–KCl (750 °C). В ходе экспериментов расплавы находились в атмосфере аргона. Сами расплавы не подвергались принудительному перемешиванию.

Мольное отношение PO₄³⁻:(Ba²⁺/Sr²⁺+PЗЭ³⁺) варьировалось в диапазоне от 0,5 до 5 с целью определения избытка фосфата натрия, необходимого для полного перевода бария, стронция и гадолиния из ионной формы в форму фосфатного осадка.

Размер полученных частиц определён с помощью лазерного гранулометрического анализатора ANALYSETTE 22 NanoTec plus с использованием приставки Wet Dispersion Unit. Измерения проведены с использованием ультразвуковой обработки образцов.

Пример распределения частиц по размерам в зависимости избытка реагента осадителя приведён на рисунке 1.

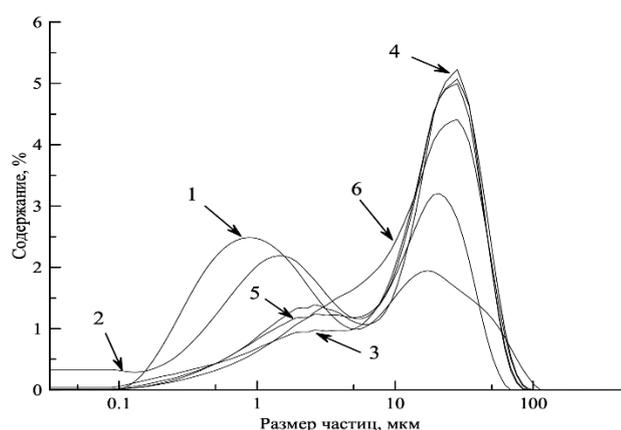


Рис. 1. Распределение частиц смеси фосфатов бария и гадолиния по размеру в зависимости от исходного мольного отношения фосфат ионов к ионам Ba^{2+} и Gd^{3+} в расплаве на основе $NaCl-KCl-CsCl$. Мольное отношение $PO_4 : (Ba^{2++}Gd^{3+})$: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 1,5; 4 – 2; 5 – 3; 6 – 4.

Идентификацию образовавшихся фосфатов РЗЭ проводили методом рентгенофазового анализа на дифрактометре X'Pert PRO ($CuK\alpha$ излучение с β -фильтром (Ni) на вторичном пучке). Расшифровку дифрактограмм осуществляли с использованием программы полнопрофильного анализа Ритвельда и картотеки PDF-2.

1. А. Б. Иванов, Е. Д. Бызова, В. А. Волкович, А. В. Чукин, “Образование фосфатов бария и стронция в хлоридных расплавах”, *Расплавы*, 2021, (3), 284-293.
2. A. B. Ivanov, E. D. Byzova, V. A. Volkovich, A. V. Chukin, and T. R. Griffiths, “Application of Phosphate Precipitation for Removing Strontium and Barium from Alkali Chloride Based Melts”, *ECS Transactions*, 2020, 98(10), 283-294.
3. A. B. Ivanov, V. V. Sukhikh, V. A. Volkovich, B. D. Vasin, A. V. Chukin, “Formation of rare-earth element phosphates in the melts based on the equimolar mixture of sodium and potassium chlorides”, *Russian Metallurgy*, 2019, (2), 152-154.
4. V. A. Volkovich, A. B. Ivanov, A. V. Chukin, V. V. Sukhikh, T. R. Griffiths, “Formation of rare earth phosphates in the melts based on $NaCl-KCl$ equimolar mixture”, *ECS Transactions*, 2018, 86(14), 329-340.
5. V. V. Sukhikh, A. B. Ivanov, V. A. Volkovich, B. D. Vasin, A. V. Chukin and T. R. Griffiths, “Structure of rare earth phosphates formed in the melts based on the equimolar mixture of sodium and potassium chlorides”, *AIP Conference Proceedings*, 2018, 2015, 020099 (1-6).

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ СРАВНЕНИЯ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ ФТОРИДОВ ЛИТИЯ, НАТРИЯ И КАЛИЯ ДЛЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ РФА

Печищев И.В.¹, Абрамов А.В.¹, Ребрин О.И.¹, Шихалеева М.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: i.v.pech@mail.ru

PREPARATION OF STANDARD REFERENCE MATERIALS OF THE EUTECTIC MIXTURE OF LITHIUM, SODIUM, AND POTASSIUM FLUORIDES FOR MULTI-ELEMENT ANALYSIS BY XRF

Pechishchev I.V.¹, Abramov A.V.¹, Rebrin O.I.¹, Shikhaleeva M.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The use of alkali metal fluoride salts, such as the LiF-NaF-KF (FLiNaK) system, as a coolant in a nuclear power reactor makes it possible to increase its efficiency, stability, and safety. For its effective study and application, it is necessary to create reference materials for chemical analysis.

Для дальнейшего развития ядерной энергетики необходимо создание более эффективных и безопасных конструкций ядерных реакторов. Использование смесей расплавленных фторидов в качестве теплоносителя или среды активной зоны позволяет упростить конструкцию и обслуживание реактора, увеличить его эффективность, безопасность и мощность [1]. Кроме того, солевые системы крайне перспективны для хранения солнечной энергии и уже сейчас активно исследуются в этом направлении [2, 3].

В качестве перспективной солевой системы для достижения обозначенных выше целей можно рассматривать эвтектическую смесь солей фторидов лития, натрия и калия (FLiNaK), поскольку она является достаточно дешёвой и безопасной, имеет широкий температурный диапазон эксплуатации и повышенные значения растворимости фторидов актинидов [4,5]. Однако для ее эффективного исследования и применения следует разработать стандартные образцы для проведения химического анализа.

Целью работы являлся синтез партий образцов сравнения на основе солевой системы FLiNaK с контролем содержания 16 аналитов: алюминий, железо, кадмий, кальций, кремний, магний, медь, молибден, никель, ниобий, сера, титан, фосфор, хлор, хром, цирконий. В ходе работы оценили неоднородность распределения аналитов в образцах сравнения, погрешность их приготовления и погрешность исходных веществ, используемых для синтеза. В результате работы созданы 10 образцов сравнения с установленными массовыми долями аналитов и погрешностями их содержания в следующих концентрационных диапазонах:

от 0,005 до 0,1 масс. % для Al, Ca, Cl, Mg, Si (от 0,001 масс. % для Fe); от 0,0005 до 0,05 масс. % для Cd, Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Ti, Zr (от 0,0003 масс. % для P и S).

1. Serp J., Alibert M., Benes O. et al., *Prog. Nucl. Energy.* 77, 308-319 (2014)
2. Mohan G., Venkataraman M. B., Coventry J., *Renew. Sust. Energy Rev.* 107, 319–337 (2019)
3. MacFarlane D. R., Tachikawa N., Forsyth M. et al., *Energy Environ. Sci.* 7, 232-250 (2014)
4. Williams D. F., Toth L. M., Clarno K. T., *Assessment of Candidate Molten Salt Coolants for the Advanced High-Temperature Reactor (AHTR)*, ORNL/TM-2006/12, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (2006)
5. Jie Q., Yang Z., Guojun Y. et al., *J. Fluor. Chem.* 168, 69-74 (2014).

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭФФЕКТА ИЗМЕНЕНИЯ pH ПРИ ИНФРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ВОДУ

Пентюхин Е.И.^{1,2}, Богатов Н.А.^{1,2}, Болдырев В.С.^{1,2}, Савина А.С.^{1,2},
Зоткин А.П.^{1,2}

¹⁾ Инжиниринговый центр «Автоматика и робототехника» МГТУ
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²⁾ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
Москва, Россия
E-mail: egorpentyukhin@yandex.ru

PERSISTENCE OF THE EFFECT OF CHANGING pH DURING INFRASONIC IMPACT ON WATER

Pentyukhin E.I.^{1,2}, Bogatov N.A.^{1,2}, Boldyrev V.S.^{1,2}, Savina A.S.^{1,2},
Zotkin A.P.^{1,2}

¹⁾ Engineering Center «Automation and Robotics» of Bauman MSTU, Moscow, Russia

²⁾ Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

In the current article, experimental evidence of influence of low-frequency low-energy oscillations on change of hydrogen index of distilled water is presented. The phenomenon of system relaxation after acoustic influence is established. The hypothesis explaining this phenomenon has been proposed.

В предшествующей работе по исследованию влияния малоэнергетических акустических полей на физико-химические процессы нами был описан и подтвержден многократными экспериментами эффект, заключающийся в изменении pH воды под действием аксиальных инфразвуковых колебаний [1]. Представленная работа является продолжением изучения данного эффекта. При этом стоит отметить, что существуют работы [2,3], описывающие аналогичное изменение водородного показателя воды под действием различных физических полей, требующих для своего возбуждения значительно больше энергии.

Изучение влияния низкочастотных воздействий проводилось аналогичным с предыдущей серией экспериментов образом. Дистиллированную воду в объеме 50 мл наливали в мерный цилиндр. Устройство, в котором проводилось акустическое воздействие низкочастотного диапазона подробно описано в работе (Патент № 206891) и представляет линейный колебательный контур с зафиксированным на нем вибропоршнем. Вибропоршень погружен в реакционную среду так, чтобы объем воды, заключенный между нижним краем поршня и дном сосуда составлял 30 мл. Внутри исследуемой среды подавался синусоидальный сигнал с частотой 15 Гц и амплитудой колебания поршня 2,2 см. Воздействие инфразвука на исследуемый образец производилось в течение одного часа с измерением pH каждые 10 минут. Далее еще в течение часа образец не подвергался

воздействию, производилось наблюдение за релаксацией системы также через каждые 10 минут.

Измерения проводились на рН-метре рН-420, который был откалиброван по стандартным буферным растворам. Изменения, происходящие в системе, отражены на рисунке 1.

Время измерения, мин.	рН образца	рН контрольной пробы
0	6,03	6,03
10	6,60	6,15
20	6,75	6,15
30	6,84	6,12
40	7,05	6,15
50	6,97	6,13
60	7,02	6,18
70	7,08	6,23
80	6,99	6,31
90	7,04	6,23
100	7,05	6,23
110	6,90	6,25
120	6,85	6,25

Рис. 1. Изменение рН воды на разных этапах времени и дальнейшая релаксация системы

Из рис.1 видно, что основной скачок значения рН происходит после 10 минут под инфразвуковым воздействием. Далее шаг изменения показателя кислотности уменьшается и спустя 40 минут озвучивания рН достигает своего максимума. Видна начальная релаксация системы. При этом стоит отметить, что спустя значительное время значение водородного показателя возвращается к исходному.

Исходя из полученных данных, и опираясь на работы М.А. Маргулиса можно сделать вывод, что данные изменения происходят в системе преимущественно под воздействием вибрации, что приводит к дегазации и высвобождению кислотных газов, растворенных в воде (преимущественно углекислый газ). А последующее изменение рН обусловлено обратным их поглощением из окружающей среды до равновесного состояния. Но при этом существуют результаты, доказывающие что малоэнергетические низкочастотные акустические поля могут приводить к насыщению жидких сред газами, находящимися на границе раздела фаз [4]. Все это означает возможность протекания сложных физико-химических процессов, проходящих при малых энергиях внешнего воздействия. Несмотря на то, что полученные результаты требуют уточнения в дальнейших работах, уже сейчас можно судить о существовании фундаментальной возможности управления

концентрацией растворенных газов в жидких средах с помощью акустического поля, о чем сообщалось нами в предшествующих работах [5].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90152

Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 20-33-90152

1. Пентюхин, Е. И. Влияние низкочастотных малоэнергетических воздействий на рН водной реакционной среды / Е. И. Пентюхин, Н. А. Богатов // Физическое образование в ВУЗах. – 2021. – Т. 27. – № S4. – С. 27-30. – DOI 10.54965/16093143_2021_27_S4_27.
2. Хан Валерий Алексеевич, Власов Виктор Алексеевич, Мышкин Вячеслав Федорович, Ижойкин Дмитрий Александрович, Рахимжанова Лаура Аскарровна Исследование влияния электромагнитных полей на структуру и свойства воды // Научный журнал КубГАУ. 2012. №81
3. Шабловский Я.О. Сонохимические процессы при акустической обработке промышленных и биологических материалов // Вестник Тверского Государственного Университета. Серия: Химия. 2021. № 3 (45). С. 79-94. DOI: 10.26456/vtchem2021.3.10.
4. Зоткин, А. П. Интенсификация массообменного процесса в системе «газ-жидкость» при помощи инфразвукового воздействия / А. П. Зоткин, Н. А. Богатов // Физическое образование в ВУЗах. – 2021. – Т. 27. – № S4. – С. 51-54. – DOI 10.54965/16093143_2021_27_S4_51.
5. Богатов, Н. А. Исследование влияния частоты низкочастотного аксиального воздействия на скорость деколоризации метиленового синего тиосульфатом натрия / Н. А. Богатов, А.С. Савина, Е.А. Щербакова, А.Р. Абдрахманов // Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2021, Екатеринбург, 17–21 мая 2021 года. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – С. 524-526.

КИНЕТИКА СОРБЦИИ СКАНДИЯ И ПРИМЕСЕЙ КАТИОНИТОМ PUROLITE S957 ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ИЗ ГИДРОЛИЗНОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Пикуло А.А.¹, Наливайко К.А.¹, Титова С.М.¹, Кириллов Е.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: k.a.nalivaiko@urfu.ru

KINETIC OF SORPTION OF SCANDIUM AND IMPURITIES FROM HYDROLISIS SULFURIC ACID BY CATION-EXCHANGER PUROLITE S957

Pikulo A.A.¹, Nalivaiko K.A.¹, Titova S.M.¹, Kirillov E.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The kinetic of sorption of Sc, Zr, Al, Th, Ti and Fe from the hydrolysis sulfuric acid by using the cation-exchanger Purolite S957 was investigated. The limiting stage of sorption of all elements was diffusion inside resin grain.

Широкое применение скандия в наукоемких отраслях промышленности обусловлено его уникальными свойствами. Известно, что скандий является редким элементом и не образует собственных минералов. Этот факт ставит исследователей перед задачами поиска перспективных вторичных источников скандия и разработки технологий извлечения металла из таких источников.

Одним из примеров техногенного скандиевого сырья является гидролизная серная кислота (ГК) производства диоксида титана. Содержание скандия в гидролизной кислоте мало - не более 20 мг/л, при этом концентрации таких примесных элементов, как железо, алюминий и титан, достигают порядка граммов в литре. Наличие в растворах большого количества макрокомпонентов осложняет процесс концентрирования и очистки скандия. Кроме того, разработка технологии переработки ГК будет затруднена и присутствием химических аналогов скандия – циркония и тория. Поэтому высокоэффективное извлечение Sc из данного вида сырья возможно лишь с применением гидрометаллургических методов (экстракция и ионный обмен).

Наиболее распространен в технологии извлечения скандия из сложных многокомпонентных растворов метод ионного обмена на фосфорнокислых катионитах. В настоящей работе для данной цели будет использован катионит промышленной марки Purolite S957, содержащий в своей структуре фосфовую и сульфоновую функциональные группы. Важным аспектом исследования сорбционных процессов является изучение кинетики ионного обмена, так как полученные данные необходимы при проектировании сорбционных установок.

Данная работа посвящена определению лимитирующей стадии сорбции скандия и основных примесей катионитом Purolite S957 из ГК. Известно, что наиболее точным методом определения лимитирующей стадии является метод прерывания [1]. Для этого гидролизную кислоту пропускали через слой ионита, загруженного в вертикальную сорбционную колонку, со скоростью 5 объемов раствора через 1 объем ионита за 1 час. По истечении 2 часов фильтрацию приостанавливали, твердую и жидкую фазы разделяли. Время прерывания составило 24 часа, после чего, фильтрацию раствора через слой ионита возобновляли. Концентрацию элементов в растворах на выходе из колонки определяли методом ICP-AES. По результатам анализа строили выходные кривые сорбции скандия и примесей (рис. 1).

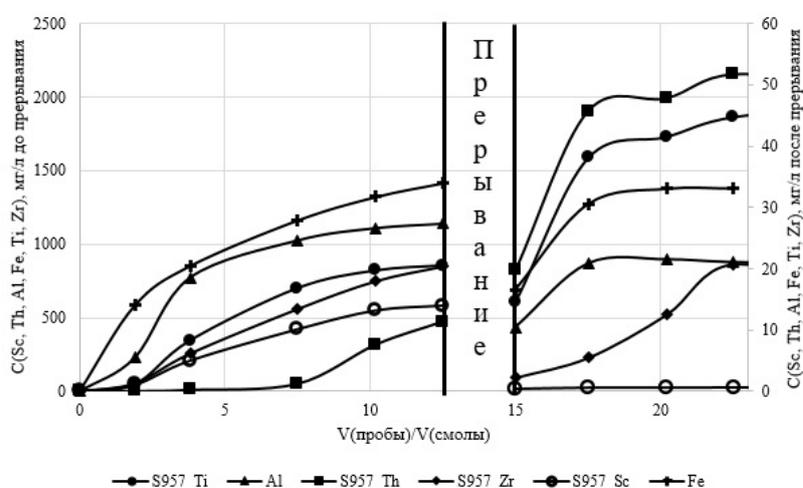


Рис. 1. Выходные кривые сорбции скандия и примесей из гидролизной кислоты катионитом Purolite S957

После прерывания наблюдается снижение концентрации всех элементов в фильтрате, что свидетельствует об увеличении скорости сорбции и указывает на внутридиффузионный режим процесса.

Таким образом, сорбция Sc, Ti, Al, Zr, Th и Fe лимитируется диффузией внутри зерна, то есть кинетика процесса гелевая.

1. Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена. Издательство иностранной литературы (1962).

ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЯ pH НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОЛИЗА СУЛЬФАТИРОВАННОГО ЦИРКОНИЯ

Поливода Д.О.¹, Гордеев Е.В.¹, Харисова К.А.¹, Машковцев М.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: dmitry.polivoda@urfu.ru

INFLUENCE OF THE pH VALUE ON THE CHANGES IN THE PARTICLE SIZE IN THE PROCESS OF HYDROLYSIS OF SULPHATED ZIRCONIUM

Polivoda D.O.¹, Gordeev E.V.¹, Kharisova K.A.¹, Mashkovcev M.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work, we studied the effect of the pH value on the change in particle size during the hydrolysis of sulfated zirconium. It has been established that mainly small particles are formed. The presence of large particles is also observed, which probably consist of smaller ones.

Диоксид циркония широко используется во многих отраслях современной промышленности: для создания термобарьерных покрытий в газовых турбинах и авиадвигателях, порошковых композиций, огнеупорных керамических материалов, пьезокерамики, металлических лигатур [1], электродов и устройств с высокотемпературными электрохимическими электролитами [2], стоматологической керамики [3] и многих других.

Такие параметры как размер частиц, дисперсия, морфология и фазовый состав могут быть получены путем точного контроля pH осаждения, степени пересыщения, продолжительности и температуры. Это осуществимо методом контролируемого двуструйного осаждения [4].

Для получения гидроксида циркония проводили контролируемое двуструйное осаждение одновременным дозированием в реакционный объем предварительно сформированного кислого золя сульфата циркония, содержащего нитрат иттрия, и водного раствора аммиака при поддержании постоянного значения pH и перемешивании верхнеприводной мешалкой. В процессе осаждения отбирали пробы на 5, 10, 20, 50 и 120 минутах от начала осаждения для исследования процесса гидролиза. Гидролиз проводили при значениях pH равных 6, 7 и 8.

Изменение размера частиц в процессе осаждения исследовали методом лазерной дифракции с помощью анализатора частиц Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch) с использованием ультразвука (рисунок 1).

На начальных стадиях каждого из осадений распределение частиц по размерам (рисунок 1) характеризуется наличием двух пиков: мелких частиц с диаметром около 3 мкм и крупных с размерами, лежащими в интервале 11-12 мкм.

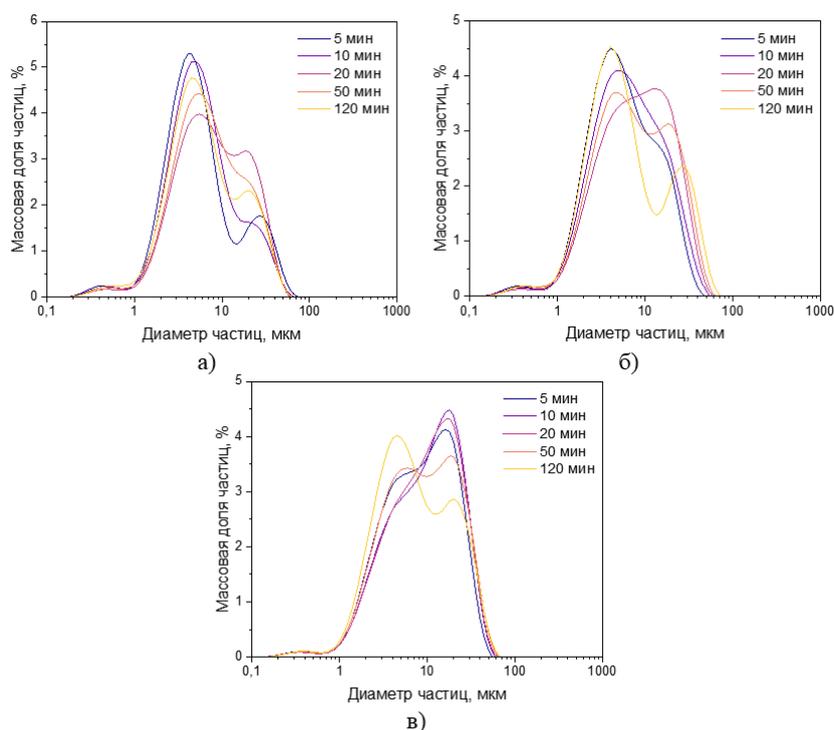


Рис. 1. Распределения частиц по размерам в ходе осаждения для pH = 6 (а), pH = 7 (б), pH = 8 (в)

В ходе осаждения количество мелких частиц преобладает, что, вероятно, указывает на прекращение или замедление роста крупных частиц. При этом при увеличении pH осаждения количество крупных частиц увеличивается. Вероятно, пик мелких частиц соответствует размерам частиц, полученных в процессе формирования сульфатного золя циркония, которые затем агрегируют с образованием пика крупных частиц.

После сушки и обжига вероятно можно получить мелкодисперсные порошки диоксида циркония пригодные для изготовления высокоплотной керамики.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение свойств просушенных и обожженных порошков.

1. Диоксид циркония. Керамика из диоксида циркония [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.chmz.net/product/keramika/> (дата обращения 29.12.2021).
2. Xi X. et al. Novel Co-precipitation method to synthesize NiO–YSZ nanocomposite powder for solid oxide fuel cell // *Advanced Powder Technology*. – 2014. – V. 25. – No. 2. – P. 490-494.
3. Диоксид циркония. Преимущества использования в стоматологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.whitecrown.ru/dioksid-tsirkoniya-v-stomatologii/> (дата обращения 29.12.2021).
4. Stavek J. et al. Controlled double-jet precipitation of sparingly soluble salts. A method for the preparation of high added value materials // *Chemistry of materials*. – 1992. – V. 4. – No. 3. – P. 545-555.

ДЕСОРБЦИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ НАСЫЩЕННОГО АНИОНИТА PUROLITE A830 РАСТВОРАМИ АММИАКА

Потоцкая С.И.¹, Титова С.М.¹, Буньков Г.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: soniapot@yandex.ru

DESORPTION OF TUNGSTEN FROM SATURATED ANION- EXCHANGER PUROLITE A830 BY AMMONIA SOLUTIONS

Pototskaya S.I.¹, Titova S.M.¹, Bunkov G.M.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Sorption of W by anion-exchanger Purolite A830 from Na₂WO₃ solution with pH 3 was studied: its value was 169.55 kg W/m³. Optimal parameters of W desorption from the resin with a 15% ammonia solution were determined.

Вольфрам используется для получения легированных сталей, твёрдых сплавов на основе оксида вольфрама, износостойких и жаропрочных сплавов, это лучший материал для нитей и спиралей в лампах накаливания. Вольфрамат натрия используют в производстве лаков и красок, вольфрамовые кислоты – в производстве высокооктанового бензина, сульфид вольфрама – в качестве катализатора при получении высокооктанового бензина.

Вольфрамовые руды обычно бедны целевым компонентом. К настоящему времени разработаны и промышленно освоены технологии, применимые для переработки вольфрамсодержащих первичных и вторичных сырьевых источников. На вольфрамовых комбинатах накоплено большое количество отходов обогащения рудных концентратов, содержание WO₃ в которых составляет не менее 15%. На основе ранее проведенных исследований, для эффективной переработки вольфрамсодержащих растворов было предложено использование метода ионного обмена на слабоосновном анионите Purolite A830. На данном этапе исследования была поставлена задача определить оптимальные параметры десорбции вольфрама водными растворами аммиака из данной смолы, а именно, скорость пропускания десорбирующего раствора через слой предварительно насыщенного анионита.

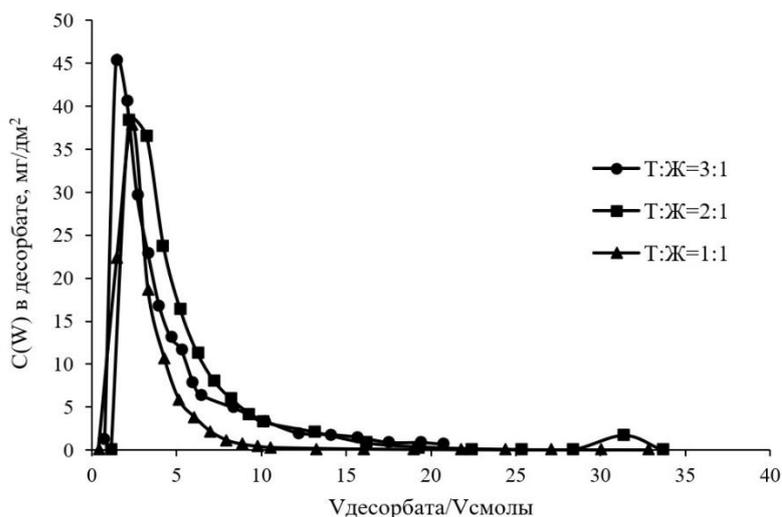


Рис. 1. Выходные кривые десорбции вольфрама из фазы насыщенного ионита Purolite A830 15% водным раствором аммиака

В данной работе проводили насыщение смолы в статическом режиме из растворов, содержащих 3 г/л - W, 15 г/л – NaOH. Непосредственно перед сорбцией проводили корректировку показателя кислотности исходного раствора серной кислотой до значения pH 3. Значение величины сорбируемости составило 169,55 кгW/м³. Десорбцию из фазы насыщенного анионита Purolite A830 вели 15% водным раствором аммиака. Объем загрузки колонки насыщенной смолой составил 90 мл. Подачу десорбирующих растворов вели в направлении снизу вверх. Удельная объемная нагрузка на колонку составила 1; 0,5 и 0,33 колоночных объемов в час. Выходные кривые десорбции вольфрама из фазы насыщенного ионита Purolite A830 приведены на рис. 1.

Максимальное значение концентрации вольфрама в десорбате и степень десорбции возрастает с увеличением фазового соотношения Т:Ж. Степень десорбции при Т:Ж равных 3:1; 2:1 и 1:1 составила соответственно 99,16%; 98,73% и 77,75%. Таким образом, наиболее предпочтительно проводить процесс при удельной объемной нагрузке на колонку, равной 0,33 колоночным объемам раствора через 1 объем сорбента за 1 час (то есть Т:Ж=3:1). Такой режим процесса позволит получить десорбат с максимальной концентрацией вольфрама 45,2 г/л, что обеспечит эффективную переработку данного раствора на последующих стадиях процесса.

1. Металлургия редких металлов / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов: «Металлургия», 1991, 432с.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ХРОМОМ НА МОРФОЛОГИЮ ПЛЕНОК PbS

Поздин А.В.¹, Маскаева Л.Н.^{1,2}, Марков В.Ф.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andrej.pozdin@yandex.ru

THE EFFECT OF CHROMIUM DOPING ON THE MORPHOLOGY OF PbS FILMS

Pozdin A.V.¹, Maskaeva L.N.^{1,2}, Markov V.F.^{1,2}

¹) Ural Federal University (named after the first President of Russia B.N. Yeltsin), Ekaterinburg, Russia

²) Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russia

Thin films of PbS doped with chromium with a thickness from 410 to 500 nm were obtained by chemical deposition from aqueous media on glass substrates. The effect of an alloying additive on the surface morphology of PbS thin films is considered.

Большинство исследователей проявляет большой интерес к изучению легирования тонких пленок переходными элементами. Одним из наиболее используемых для легирования полупроводниковых соединений является сульфид свинца PbS - представитель группы $A^{IV}B^{VI}$, который нашел применение в качестве материала для ИК-детекторов, оптических переключателей, эффективных устройств преобразования солнечного излучения, химических сенсоров, датчиков температуры. Как показывает анализ литературы, пленки сульфида свинца, легированного хромом, могут быть интересным объектом для исследования. Так, в работе [1] рассмотрено влияние Cr^{3+} на структурные и электрофизические свойства пленок сульфида свинца, легированных в процессе химического осаждения в плюмбитной реакционной смеси при $pH \geq 13$, содержащей хлорид хрома $CrCl_3$. Представляло интерес получение и исследование легированных хромом пленок сульфида свинца, химически осажденных в менее щелочной среде. Поэтому целью настоящей работы является химическое осаждение и исследование микроструктуры легированных иодом и хромом пленок PbS при $pH \approx 12$.

Тонкопленочные слои сульфида свинца синтезировали химическим осаждением из водных растворов, содержащих 0.04 моль/л ацетата свинца, 0.3 моль/л цитрата натрия, 4 моль/л гидроксида аммония, 0.15 моль/л йодистого аммония и 0.58 моль/л тиомочевины. Осаждение проводили в термостате «ТС-ТБ-10» при 353 К в течение 90 минут. Концентрацию легирующей добавки в виде соли

хлорида хрома CrCl_3 , вводимой в реакционную смесь, изменяли от 0 до 0.02 М. Толщина пленок, оцененная с помощью интерферометра Линника МИИ-4М, составила 410-500 нм.

Электронно-микроскопическими исследованиями пленок PbS , полученных из реакционных смесей, содержащих в своем составе соль хрома (III), установлено, что слои имеют различную архитектуру, которая меняется в зависимости от количества легирующей добавки. Это наглядно наблюдается на микрофотографиях, приведенных на рис 1. Поверхность легированного йодистым аммонием сульфида свинца (рис. а) характеризуется плотной однородной структурой, состоящей из зерен неправильной формы размером до 250 нм. Добавка соли хрома в реакционную смесь приводит формированию плоских зерен и уменьшению толщины зерен до 50 нм, а длины до 200-400 нм (рис. 1б, в).

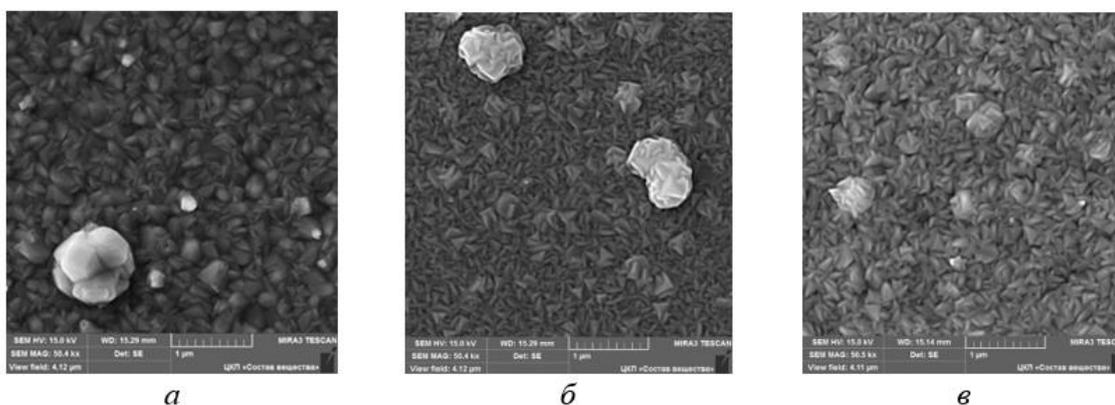


Рис. 1. Микрофотографии пленок PbS , легированных NH_4I (а) и одновременно легированных NH_4I и CrCl_3 при концентрации соли хрома, равной 0.012 М (б) и 0.02 М (в)

Дальнейшие исследования тонкопленочных слоев $\text{PbS}:\text{Cr}$ позволят, варьируя их структурно-морфологические характеристики, изменить полупроводниковые и функциональные свойства, следовательно, расширить область их применения.

1. Huo J., Li W., Wang T. Coatings, 9, 376 (2019).

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мочалов Л.А.^{1,2}, Прохоров И.О.¹, Логунов А.А.¹, Кудряшов М.А.¹,
Вшивцев М.А.¹, Спивак Ю.М.³, Князев А.В.⁴, Мошников В.А.³, Буланов Е.Н.⁴,
Пряхина В.И.⁵

¹) НГТУ им.Р.Е. Алексеева

²) Университет Северной Каролины

³) Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

⁴) ННГУ им. Н.И.Лобачевского

⁵) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина

E-mail: igorprokhorov1998@yandex.ru

PLASMA-CHEMICAL SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED COMPLEX OXIDE MATERIALS

Mochalov L.A.^{1,2}, Prokhorov I.O.¹, Logunov A.A.¹, Kudryashov M.A.¹,
Vshivtsev M.A.¹, Spivak Y.A.³, Knyazev A.V.⁴, Moshnikov V.A.³, Bulanov E.N.⁴,
Pryakhina V.I.⁵

¹) Department of Nanotechnology and Biotechnology, Nizhny Novgorod State Technical
University n.a. R.E. Alekseev, Russia

²) Department of Physics and optical science, University of North Carolina at Charlotte,
USA

³) Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», Russia

⁴) Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

⁵) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

The multifunctional nanostructured complex oxide materials are highly demanded e.g. as multiporous nanosystems for high sensitive piezoelectric matrices, wearable piezo-sensors, chemo resistors for «e-nose». The aim of this work is to develop a novel plasma-based synthesis method.

В настоящее время широко востребованы многофункциональные наноструктурированные сложные оксидные материалы, в том числе мультипористые наносистемы для создания нового поколения высокочувствительных пьезоэлектрических матриц, носимых пьезодатчиков, хеморезисторов для «электронного носа» и т. д. [1]. Свойства этих наноструктурированных материалов в основном определяются методом получения. Традиционные методы синтеза обладают рядом недостатков, среди которых недостаточная чистота, большое количество дефектов в структуре, отсутствие возможности варьировать состав в широких пределах и другие [2]. Целью данной работы является разработка нового подхода к синтезу наноструктурных материалов такого типа.

Был разработан метод химического осаждения из газовой фазы с усилением плазмой (PECVD), в котором в качестве исходных прекурсоров были использованы высокочистые элементы, переносимые газом-носителем в зону реакции, где взаимодействовали с кислородом. В качестве материала экспериментальной установки был выбран кварц высокой чистоты, чтобы исключить загрязнение конечного продукта материалами оборудования. Пониженное давление в системе поддерживалось турбомолекулярным насосом. Количество прекурсоров в зоне реакции варьировалось путем изменения потока газа-носителя, а также с помощью изменения температуры прекурсоров. Для инициирования окисления прекурсоров использовали высокочастотный разряд при низком давлении (0.1-0,01 Торр).

Разработанный метод позволяет создавать сложные оксидные матричные материалы, а также решает проблему инкапсулирования при использовании пористых подложек, а также использовать термочувствительные подложки в виду отсутствия необходимости использования высоких температур. Полученные материалы были исследованы различными аналитическими методами, подтверждающими высокое качество материала с точки зрения чистоты и структурной однородности. Примеры СЭМ-изображений представлены на рисунке 1.

Была показана возможность применения нового разработанного PECVD-подхода к синтезу многофункциональных наноструктурированных сложных оксидных материалов. Полученные материалы обладают высокой газочувствительностью, а также применимы для создания детекторов УФ-видимого диапазона.

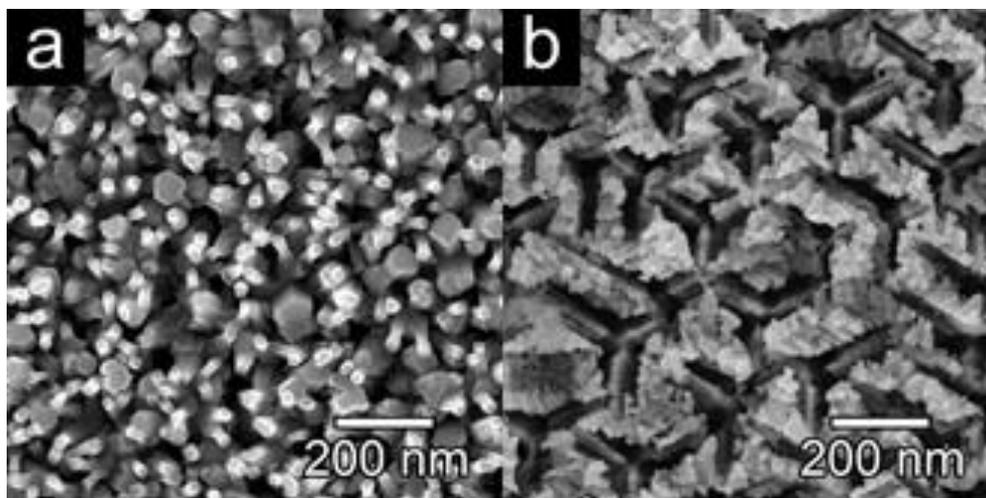


Рис. 1. а-наностержни оксида цинка, б-наноструктурированный оксид галлия

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №22-19-00640 "Физико-технологические основы синтеза мультипористых наносистем, инкорпорированных полупроводниковыми соединениями для создания высокочувствительных пьезоэлектрических матриц"

1. L. Mochalov et al., "Heteroepitaxial Growth of Ga₂O₃ Thin Films of Various Phase Composition by Oxidation of Ga in Hydrogen-Oxygen Plasmas," ECS J. Solid State Sci. Technol., 2021
2. L. A. Mochalov et al., "Surface morphology of nanostructured zinc oxide materials obtained by plasma-enhanced chemical vapor deposition," Journal of Physics, 2021

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИОКСИДА ЦЕРИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЗЭ

Пронина М.О.¹, Бакшеев Е.О.¹, Машковцев М.А.¹, Бажукова И.Н.¹

¹ Уральский Федеральный университет
E-mail: 1797masha@gmail.com

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF NANOCRYSTALLINE CERIUM DIOXIDE MODIFIED WITH REE

Pronina M.O.¹, Baksheev E.O.¹, Mashkovtsev M.A.¹, Bazhukova I.N.¹

¹ Ural Federal University

The work is devoted to the synthesis and study biological activity of nanocrystalline cerium dioxide (NDC) modified with rare earth elements (REE) - Er, Yb, Sm. It was shown that the doping of NDC with REE makes it possible to obtain a higher catalase enzyme-like activity.

При переходе в наноразмерное состояние диоксид церия характеризуется изменением кислородной нестехиометрии, связанной с образованием кислородных вакансий и, как следствие, изменением валентного соотношения $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ на поверхности наночастиц (НЧ). Предполагается, что это явление обуславливает уникальную биологическую активность нанокристаллического диоксида церия (НДЦ) – активное участие в окислительно-восстановительных процессах в живой клетке, особенно при инактивации активных форм кислорода возникающих во время окислительного стресса при воздействии различных вредных факторов [1].

В работе [2] были получены биосовместимые, агрегационно-устойчивые и нетоксичные НЧ CeO_2 методом осаждения с применением мальтодекстрина в качестве стабилизирующего агента. Одним из наиболее эффективных методов увеличения доли ионов Ce^{3+} и кислородных вакансий является допирование нанокристаллического диоксида церия ионами РЗЭ, что в итоге может способствовать повышению биологической активности НЧ [3].

Цель работы – синтез и исследование биологической активности нанокристаллического диоксида церия модифицированного РЗЭ.

Морфология, форма и структура порошковых образцов НДЦ были исследованы методами СЭМ, РФА, ПЭМ. Из полученных порошков были приготовлены водные суспензии методом ультразвукового диспергирования. Данные суспензии были использованы для оценки седиментационной устойчивости, биологической активности и цитотоксичности НЧ диоксида церия. Биологическую активность оценивали по способности выполнять функции ферментов каталазы и пероксидазы, для исследования токсичности исследуемых НЧ была использована

первичная культура дермальных фибробластов человека, выделенная из биоптата кожи. Исследование указанных свойств НЧ производили при помощи метода оптической спектроскопии.

В ходе работы показано, что образцы допированные ионами РЗЭ проявляют более высокую каталазоподобную активность наночастиц по сравнению с однокомпонентными НЧ CeO_2 . Допирование ионами Er оказалось наиболее эффективным с точки зрения повышения каталазоподобной активности НЧ. Для Y и Sm активность НЧ соответственно снижалась. Это согласуется с работами [4], [5].

Проведенные исследования показали принципиальную возможность использования допированных НДЦ в медицине, например, в качестве потенциальных антиоксидантов для защиты клеток от активных форм кислорода. Путем правильного выбора трехвалентных примесей можно регулировать образование кислородных вакансий.

1. А.Б. Щербаков, Н.М. Жолобак, В.К. Иванов и др., Наноматериалы на основе диоксида церия: свойства и перспективы использования в биологии и медицине. Биотехнология. Т.4. № 1, 9-11 (2011)
2. Е.О. Бакшеев, М.О. Пронина, М.А. Машковцев, А.В. Мышкина, И.Н. Бажукова, В.В. Касьянова, Синтез и исследование физико-химических свойств нанокристаллического церия, (2019)
3. Suresh Babu, Ranjith Thanneeru, Talgat Inerbaev, Richard Day, Artëm E Masunov, Alfons Schulte, Sudipta Seal, Dopant-mediated oxygen vacancy tuning in ceria nanoparticles, (2009)
4. Karran Woan, Yi-Yang Tsai, Wolfgang Sigmund, Synthesis and characterization of luminescent cerium oxide nanoparticles, (2010)
5. Ivana Celardo, Milena De Nicola, Corrado Mandoli, Jens Z Pedersen, Enrico Traversa, Lina Ghibelli, Ce^{3+} ions determine redox-dependent anti-apoptotic effect of cerium oxide nanoparticles, (2011).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ В ФОТОКАТАЛИЗЕ ЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА НА ПОРИСТОМ СУБСТРАТЕ

Радайкин Д.Г.¹, Бобков А.А.¹

¹) Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
"ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
E-mail: dima19980219@gmail.com

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE ACTIVITY IN PHOTOCATALYSIS OF ZINC OXIDE PARTICLES ON A POROUS SUBSTRATE

Radaykin D.G.¹, Bobkov A.A.¹

¹) St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov
(Lenin), St. Petersburg, Russia

The purpose of this work is to consider two methods for the synthesis of the ZnO photocatalyst (thermal decomposition and sol-gel). Analysis of the results demonstrated the possibility of using a simple sol-gel method to create an effective catalyst for the destruction of pollutants.

Фотокатализ - эффективное решение для многих экологических и энергетических проблем. Именно фотокаталитическое разложение помогает достичь уменьшения органических отходов в окружающей среде. Ключевые характеристики катализатора: не токсичность, низкая себестоимость, высокая эффективность поглощения света. Этим требованиям соответствует полупроводниковый фотокатализатор ZnO. Энергия запрещенной зоны ZnO (3,37 эВ) близка к энергии запрещенной зоны TiO₂ (3,2 эВ), наиболее часто используемого фотокаталитического материала, поэтому теоретически он обладает такой же фотокаталитической способностью, что и TiO₂ [1]. Стоит отметить, что путем настройки размера и морфологии можно достичь заметного изменения фотокаталитической активности ZnO [2].

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование методов синтеза ZnO и нанесения его на пористый субстрат с последующим изучением фотокаталитической активности в процессе разрушения органического соединения, а именно Родамина 6G (R6G). Было проведено сравнение динамики распада R6G катализаторами, полученными разными способами, а именно термическим разложением прекурсора и золь-гель синтез с использованием диэтанолamina. Самым лучшим результатом обладает катализатор, полученный методом термического разложения при 600 °C ацетата цинка (Zn(CH₃COO)₂) с последующей сепарацией продуктов распада, диспергацией и нанесением частиц на подложку. Скорость распада R6G составляет $179,8 \cdot 10^{-3}$ микроль/час, с учетом что начальная концентрация была равной $1,9 \cdot 10^{-5}$ моль/литр. Но данный метод имеет ряд недостатков, а именно ручная селекцией продуктов распада и последовательным

нанесением на пористую подложку путем прокапывания всей поверхности субстрата. Другой же метод, основанный на золь-гель процессе, позволяет нивелировать дополнительные шаги и упростить процесс создания фотокатализатора. Приготовленные растворы золя (0.6М, 0.4М, 0.2М) выдерживались 7 дней и окунанием наносились на субстрат. Количество циклов окунания определял массу нанесённого вещества, что в свою очередь оказывало влияние на активность процесса катализа. Но на данный момент катализатор, полученный из золя 0.6М, показывает скорость на 38,5% ниже, чем у метода термического разложения прекурсора, и составляет $129,8 \cdot 10^{-3}$ микромоль/час.

Полученные данные позволяют сделать заключение о том, что методика золь-гель синтеза с использованием диэтанолamina может выступить достойной альтернативой методу термического разложения прекурсора ацетата цинка. Для повышения скорости фотодегградации органических загрязнений катализатором планируется подобрать оптимальные условия синтеза.

1. M. H. Habibi and H. Vosoghian, "Photocatalytic degradation of some organic sulfides as environmental pollutants using titanium dioxide suspension," *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, vol. 174, no. 1, pp. 45–52, 2005.
2. Hoffmann M. R., Martin S. T., Choi W. Y., Bahnemann D. W. *Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis* // *Chem. Rev.* 1995. 95. P. 69–96.

СОРБЦИЯ НЕПТУНИЯ-237 НА ТОНКОСЛОЙНЫХ СОРБЕНТАХ

Рогожников В.А.¹, Семенищев В.С.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: host.1s@yandex.ru

SORPTION OF NEPTUNIUM-237 ON THIN-LAYER SORBENTS

Rogozhnikov V.A.¹, Semenishchev V.S.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

In this work, we studied the sorption and diffusion of neptunium-237 in the MnO₂-cellulose triacetate sorbent. Dependences of sorption on various parameters were obtained.

Ранее был разработан тонкослойный сорбент MnO₂-ТАЦ (оксид марганца на триацетатцеллюлозе) и предложен метод оценки коэффициентов диффузии альфа-излучателей в плоских образцах. В данной работе была изучена сорбция и диффузия нептуния-237 в сорбенте MnO₂-ТАЦ. Зависимость сорбции нептуния от pH показала, что нептуний лучше сорбируется в нейтральной и щелочной среде, а по виду зависимости можно предположить катионообменный механизм сорбции. Альфа-спектры нептуния на сорбентах MnO₂-ТАЦ и MnO₂-ПЭ имели существенно разное энергетическое разрешение. Большая полуширина пика на сорбенте MnO₂-ТАЦ объясняется диффузией ионов NpO₂⁺ вглубь сорбента. С использованием ранее разработанного метода математической обработки альфа-спектров был оценен коэффициент диффузии NpO₂⁺ в сорбенте MnO₂-ТАЦ, величина которого составила $5,8 \cdot 10^{-17}$ м²/с. Для сорбента MnO₂-ПЭ диффузия нептуния была незначительна, что можно объяснить различной текстурой поверхности триацетатцеллюлозы (пористая) и полиэтилена (сплошная), а также разным содержанием диоксида марганца на поверхности сорбентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-03-00931).

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ВЫСОКОЧИСТЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ

Львов А.Е.¹, Южакова А.А.¹, Салимгареев Д.Д.¹, Жукова Л.В.¹,
Корсаков А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: l.v.zhukova@urfu.ru

HYDROCHEMICAL SYNTHESIS OF HIGH-PURITY SOLID SOLUTIONS OF METAL HALIDES

Lvov A.E.¹, Yuzhakova A.A.¹, Salimgareev D.D.¹, Zhukova L.V.¹, Korsakov A.S.¹
¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

A method of thermozone crystallization-synthesis has been developed, which allows one to consistently obtain raw materials of high purity (99.9999 wt.%) in the form of polycrystalline solid solutions of a given composition, it is economical and environmentally friendly.

Поскольку кроме выращивания монокристаллов установлена возможность получения оптической керамики (оптические композиты), соединяющей кристаллические фазы двух и более твердых растворов на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия, были разработаны основные принципы ее получения, а также исследованы их свойства.

Получение высокочистых многокомпонентных и однородных по химическому составу на основе твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия, предназначенных для ИК оптики, представляет многоступенчатый процесс, при этом ключевым этапом является синтез материалов методом ТЗКС. Метод ТЗКС – термозонная кристаллизация-синтез разработан на Пышминском опытном заводе Гиредмет коллективом под руководством Лии Васильевны Жуковой и главного инженера Флегонта Николаевича Козлова. Метод впервые применен для галогенидов одновалентного таллия и их твердых растворов – кристаллов КРС-5 и КРС-6 [1]. Затем метод ТЗКС был широко распространен на другие малорастворимые галогениды металлов – галогениды серебра, галогениды одновалентной меди (CuCl), на многокомпонентную фторцирконатную и фторгафниевую шихту для синтеза флюоридных стекол. В основе метода лежит изотермическое преобразование компонентов в водных растворах галогенводородных кислот с последующей кристаллизацией твердых растворов (рис. 1) [2-3]. Все это позволяет получать твердые растворы с любым заданным содержанием компонентов, отличающихся высокой управляемостью и простотой в технической реализации. Метод ТЗКС позволяет стабильно получать сырье высокой степени чистоты по катионным примесям (99,9999 мас. % и более) в виде поликристаллических твердых растворов задаваемого состава [3]. Также следует отметить, что

метод ТЗКС можно отнести к низкотемпературным методам типа «снизу–вверх» (англ. «bottom–up») и может быть использован для получения нано- и микрокристаллического материала, а также метастабильных соединений [4].

Физико-химические свойства и технологии получения монокристаллов и оптическая керамики очень близки. Отличие заключается в химическом составе, структуре и условиях синтеза. Оптическая керамика состоит из плотноупакованных твердых растворов кубических фаз (тип NaCl либо CsCl), в которых равномерно размещены твердые растворы размером от 30–80 нм до 1 мкм ромбических (R-3) и/либо гексагональных фаз (тип вюрцит, Р63мс).

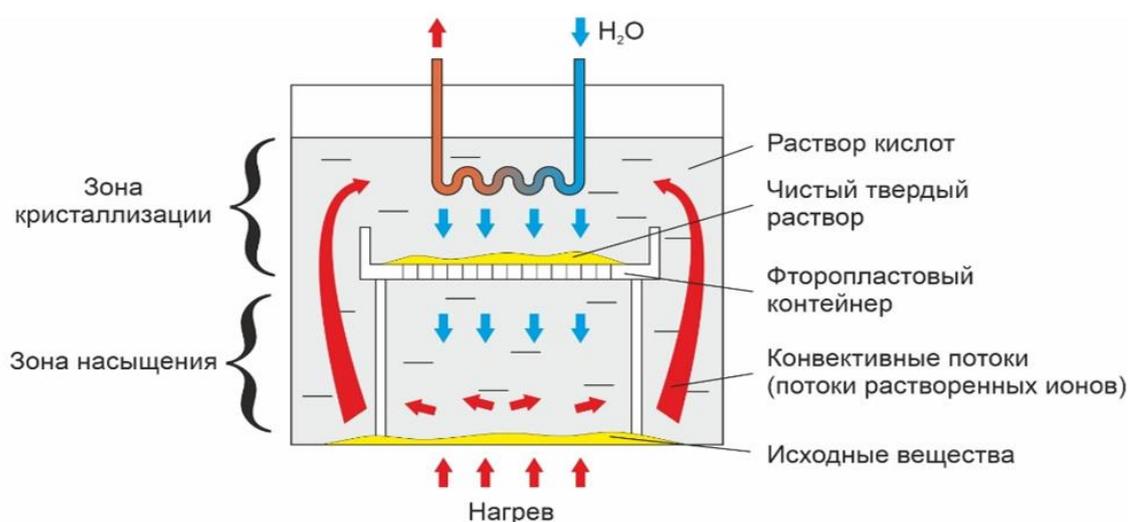


Рис. 1. Принципиальные схемы метода ТЗКС с совмещёнными в одном реакторе зонами насыщения и кристаллизации

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>

1. Научные труды Гиредмета. Исследование процессов получения солей и выращивание монокристаллов галогенидов таллия. — М. : Металлургия, 1970. Т. 29. — 159 с.
2. Жукова Л. В. Базовый способ в производстве оптических материалов / Л. В. Жукова, Г. А. Китаев, В. В. Жуков // Высокочистые вещества и материалы для ИК-оптики. — Нижний Новгород, 1997. — С. 66–68
3. Жукова Л. В. Новые кристаллы и инфракрасные световоды : монография / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. С. Врублевский. — Екатеринбург : ФГАОУ ВПО УрФУ, 2014. — 350 с.
4. Синтез новых наноструктурированных кристаллов AgBr – ТII, AgClxBr1–x, в том числе легированных ТII / А. С. Корсаков [и др.] // Цветные металлы. — 2010. — № 1. — С. 69–72.

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ Ni–In

Звягинцева А.В.¹, Самофалова А.С.^{1,2}

¹) Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

²) Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

E-mail: samofalova.94@bk.ru

X-RAY STRUCTURAL PROPERTIES OF THE Ni–In SYSTEM

Zvyagintseva A. V.¹, Samofalova A. S.^{1,2}

¹) Voronezh State Technical University, Voronezh, 394006, Russia

²) Voronezh State University of Forestry and Technologies Named After G.F. Morozov, Voronezh, 394087, Russia

The direction of the research is the study of the relationship between structural-morphological and X-ray phase changes and the hydrogen content in the formed electrochemical systems. Indium-doped nickel is considered as a model system, as used instead of nickel to improve weldability [1].

Целью данной работы является продолжение изучения влияния режимов электрохимического осаждения на структурно-морфологические и рентгенофазовые изменения в электрохимических системах Ni–In. Ранее в работе [2, 3] исследована структура и морфология электрохимических систем Ni–In в зависимости от содержания $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ в электролите. Показано, при увеличении концентрации $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ в электролите от 1 до 12 г/л содержание In в системе возрастает до 47,5 вес. %, а Ni соответственно становится 52,5 вес. %. Содержание компонентов в системе Ni–In определялось рентгено-флуоресцентным методом. Проведен анализ структуры покрытий на атомном уровне с помощью сканирующего зондового микроскопа Solver P47. Установлено, максимальный размер зерна электролитического никеля в отсутствие индия составляет 130 нм. При введении $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ в количестве 1, 2, 4, 8, 12 г/л размер зерна составляет соответственно 105, 75, 70, 100, 170 нм. Топология поверхности полученных пленок сильно развита.

Для исследования фазового состава образцов использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН–2.0. Система индий – никель является достаточно сложной, в ней обнаружено наличие промежуточных фаз γ , β , ε , δ , δ' и η . Стабильные при низких температурах γ -, β -, ε -, δ' - и η -фазы системы являются твердыми растворами на основе химических соединений Ni_3In (39,46%In), Ni_2In (49,39%In), NiIn (66,16%In), Ni_2In_3 (74,57%In), Ni_3In_7 (82,02%In). Исследование фазового состава проводили систем никель-индий, полученных электрохимическим методом, проводили в зависимости от содержания индия в электролите. Результаты исследования представлены в таблице.

Табл. 1. Зависимость фазового состава электрохимических никель - индиевых систем от содержания индия

Содержание $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ в электролите	Ni	InNi_2	InNi_3	In_3Ni_2	$\text{In}_{27}\text{Ni}_{10}$	In	InNi
2 г/л	+	+	+	+	+	-	-
4 г/л	+	+	+	+	+	+	-
8 г/л	+	+	+	+	+	+	+
12 г/л	-	+	+	+	+	+	+

Таким образом, при исследовании фазового состава электрохимических систем никель-индий от содержания индия нами был обнаружен интересный результат. При содержании в электролите $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ в количестве менее 2 г/л на катоде осаждается никель, присутствие чистого индия и его соединений с никелем не отмечено. С увеличением содержания сульфата индия (III) в растворе до 2 г/л и выше на катоде осаждается чистый никель и интерметаллиды: InNi_2 , InNi_3 , In_3Ni_2 , $\eta\text{-In}_{27}\text{Ni}_{10}$. Однако, в диаграммах равновесного состояния данная фаза η – $\text{In}_{27}\text{Ni}_{10}$ отсутствует. По-видимому, наличие данной фазы зависит от способа получения системы In-Ni или она является неравновесной.

1. Звягинцева А.В. Гальванотехника и обработка поверхности. Взаимосвязь структуры и свойств гальванических никелевых покрытий, легированных бором, в изделиях электронной техники. Т 15. № 1. С. 16-22. (2007).
2. Zvyagintseva A.V., Samofalova A.S. AIP Conference Proceedings 2313// Innovations, PTI 2020. Hydrogen Storage in Nickel Based Solid-State Materials. Volume 2313 (2020).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА НА БАЗЕ МНОГОПЕРИОДНЫХ РАСЧЕТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Савина А.А.¹

¹) Тюменский индустриальный университет
E-mail: anya-tob-1998@mail.ru

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF FIELD GAS PREPARATION BASED ON MULTI-PERIOD CALCULATIONS USING A PROCESS MODELING SYSTEM

Savina A.A.¹

¹) Industrial University of Tyumen

There is comparison of the efficiency of options for implementing low-temperature separation technology using technological modeling and economic evaluation in article. It is planned to use the results to standardize the approach to technology selection at the early stages of deposits design.

В составе добываемого газа газоконденсатных месторождений (ГКМ) присутствует некоторое количество жидких углеводородов, называемых углеводородным конденсатом, и отделяющихся от добываемого газа в процессе промышленной подготовки. Одним из самых распространенных методов отделения конденсата от газа является процесс низкотемпературной сепарации, (НТС) суть которого заключается сепарации потока газа, предварительно охлажденного до низких температур.

Охлаждение газа до низких температур для отделения конденсата в процессе НТС осуществляется за счет резкого снижения давления потока сырого газа. Снижение давления может осуществляться с использованием дросселя, эжектора или детандера (в составе турбодетандерного агрегата - ТДА). Применение ТДА в составе НТС может быть реализовано по двум вариантам, различающихся потоком газа (сырой или осушенный), который компримируется на компрессоре турбодетандера [1].

Выбор той или иной технологической схемы установки подготовки газа может быть обоснован с применением технологического моделирования процессов, протекающих при промышленной подготовке газоконденсатного флюида. При этом, неочевидно, что использование лишь одного критерия эффективности технологии подготовки (например, величины выхода нестабильного конденсата) и расчеты, выполненные с использованием начального состава газа, позволят получить и другие характеристики работы установки за продолжительный период времени оптимальными. По этой причине, для выбора технологии подготовки газа в настоящей работе анализировались результаты многопериодных расчетов,

а также использовалась экономическая оценка эффективности для условий конкретного месторождения.

Цель данной работы – сравнение технологий низкотемпературной сепарации газа газоконденсатного месторождения для одного из месторождений полуострова Ямал с применением различных схем низкотемпературной сепарации.

Для сравнения различных технологий подготовки газа были смоделированы четыре технологические схемы установки комплексной подготовки газа с применением дросселя, эжектора и ТДА по двум обвязкам. Для всех моделей характеристики потока сырого газа на входе УКПГ и параметры в НТС были приняты одинаковыми. Состав сырого газа на входе УКПГ изменялся по годам с помощью моделирования процесса дифференциальной конденсации.

В результате выполненной работы были получены материально-компонентные балансы УКПГ по четырем вариантам аппаратного оформления. Также была проведена оценка затраченного количества метанола для подавления гидратообразования в газовых потоках установки за период 30 лет. На основании выполненных расчетов за продолжительный период времени выполнена оценка эффективности сравниваемых вариантов технологии подготовки газа. Полученные в работе результаты планируется использовать в последующих исследованиях, направленных на выработку стандартизованного подхода по оценке эффективности различных технологий промышленной подготовки газа с учетом совокупности факторов на ранних этапах проектирования.

1. Прокопов, А. В. Современное состояние технологий промышленной подготовки газа газоконденсатных месторождений / А. В. Прокопов, А. Н. Кубанов, В. А. Истомин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вести газовой науки. – 2015. – № 3 (23). – С. 100-108.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СТАЛЯХ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА С УЧЕТОМ МАТРИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ И СПЕКТРАЛЬНЫХ НАЛОЖЕНИЙ

Шихалеева М.А.¹, Абрамов А.В.¹, Печищев И.В.¹, Шак А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: marisha.shikhaleeva@mail.ru

DETERMINATION OF COMPONENT CONTENT IN STEELS BY X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS, TAKING INTO ACCOUNT MATRIX EFFECTS AND SPECTRAL OVERLAPS

Shikhaleeva M.A.¹, Abramov A.V.¹, Pechishchev I.V.¹, Shak A.V.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The method for determining the content of ten elements in the steels was developed, taking into account the matrix effects and spectral overlaps of a number of components in the sample. The obtained technique is universal and can be used regardless of the type of steel.

Имеющиеся в составе сталей легирующие и примесные элементы оказывает существенное влияние на их свойства, поэтому важно правильно определять содержания составляющих сталь компонентов. [1] На сегодняшний день рассматриваемые материалы анализируются в большинстве случаев методом дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии. Развитие современной техники позволяет выполнить данный анализ с помощью волновой рентгенофлуоресцентной спектрометрии, которая является экспрессным, неразрушающим методом анализа. Целью данного исследования являлось создание методики определения содержания десяти элементов (Cr, Ni, Mn, Ti, Cu, Mo, V, Si, S, P) в образцах стали с учетом межэлементного влияния и спектральных наложений.

Методика разрабатывалась с использованием волнодисперсионного спектрометра ARL ADVANT'X 4200. В процессе исследования применялись стандартные образцы Института стандартных образцов, включающие комплекты: 941а-944а, 1191-1194, 1201-1204, 1221-1223, РГ10-РГ18, ЛГ32д-ЛГ36д, ЛГ37а-ЛГ43а, УГ0к-УГ9к. Была разработана методика определения содержания десяти элементов в сталях с учетом матричных эффектов: было установлено, что помимо основного компонента железа, существенный вклад в аналитические сигналы вносят и другие сопутствующие элементы. Были получены спектры рентгеновского излучения от образцов, преимущественно были проанализированы спектральные наложения. Были выбраны условия возбуждения и регистрации аналитического сигнала для каждого исследуемого элемента. Проведена оценка метрологических и информационных показателей. Полученные данные позволяют

сделать методику определения содержания элементов в сталях универсальным методом рентгенофлуоресцентного анализа, который может быть использован вне зависимости от типа стали.

1. Металлургия стали: Учебник для вузов / Явойский В.И., Кряковский Ю.В., Григорьев В.П., Нечкин Ю.М., Кравченко В.Ф., Бородин Д.И. - М.: Металлургия, 1983. - 584 с.

A NOVEL FUEL REACTOR WITH A RETURN VALVES CASCADE FOR THE CHEMICAL LOOPING WITH OXYGEN UNCOUPLING PROCESS

Shishkin R.A.^{1,2}

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin

²) Institute of Solid State Chemistry UB of RAS

E-mail: roman.shishkin@urfu.ru

Recently, the CLOU process has been actively developed for environmentally friendly electricity generation. A novel fuel reactor made in a return valves cascade was proposed. The unique design allows you to increase the efficiency of combustion and prevent dust loss.

More than 60% of the electricity produced in 2020 was obtained by burning minerals: coal (35.1%), gas (23.4%), and oil (2.4%)[1]. Even according to the most optimistic forecasts, the share of non-renewable electricity by 2040 will be about 40%[2]. Taking into consideration the growth of global energy consumption and the introduction of cross-border carbon regulation by EU countries, it is extremely important to search for new environmentally friendly methods of generating electricity.

Such a method is undoubtedly chemical-looping with oxygen uncoupling (CLOU), a process that allows capturing carbon dioxide formed during fuel combustion with its subsequent disposal[3]. The common hardware design of the CLOU process consists of two interconnected reactors, between which oxygen carrier (OC) powder circulates. In the first, fuel reactor, the oxygen is released by the OC, which oxidizes the fuel supplied to the reactor. As a result of such combustion, only H₂O and CO₂ vapors are formed. In the second, air reactor, OC is re-oxidized.

The efficiency of the CLOU process substantially depends on the OC material. Still, nevertheless, the design of the fuel reactor firmly influences several factors, such as completeness of combustion, fuel conversion, prevention of dust removal[4]. Given this, some works are proposed to change the geometry of the fuel reactor. However, these changes may not be sufficient. Thus, a new approach to the design of fuel reactors is needed to implement the CLOU process.

The return valve application (such as the Tesla valve)[5] in various industries is well known. This design forces a significant increase in the hydrodynamic resistance of the fluid flow due to the mutual damping of the kinetic energy of the separated flows. Moreover, the angle at which the two streams meet, providing a sufficient reduction in the kinetic energy of the mainstream, was 165°.

The physical model of the simulated reactor for the CLOU process is shown in Figure 1.

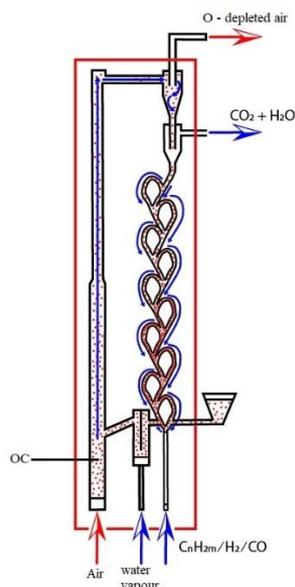


Рис. 1. Scheme of return-valve fuel reactor

The results of computer simulating have shown that the highest flow rate of the gas flow is reduced by more than two times. Nano dispersed particles of calcium manganite (CaMnO_3) with a size of 100 nm, selected as OC, do not fly beyond the first return valve of the fuel reactor, which illustrates the exclusion of dust removal by the gas flow. At the same time, active mixing of gas flows and a decrease in their flow rate along the fuel reactor makes it possible to ensure 100% complete combustion.

Thus, the fuel reactor's new design can be considered a promising alternative, which has significant advantages over the known fuel reactors for carrying out the CLOU process.

The author appreciates the support of this work by the Russian Science Foundation under grant № 19-79-10147.

1. World Electricity Generation - World Energy Data [Electronic resource]. URL: <https://www.worldenergydata.org/world-electricity-generation/> (accessed: 24.09.2021).
2. Makarov A.A., Mitrova T.A., Kalugin V.A. WORLD AND RUSSIAN ENERGY DEVELOPMENT FORECAST 2019 Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences Energy Center of the Moscow School of Management SKOLKOVO. 2019.
3. Mattisson T. Materials for Chemical-Looping with Oxygen Uncoupling // ISRN Chemical Engineering. Hindawi Limited, 2013. Vol. 2013. P. 1–19.
4. Song T., Shen L. Review of reactor for chemical looping combustion of solid fuels // International Journal of Greenhouse Gas Control. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 76. P. 92–110.

5. Thompson S.M. et al. Numerical Investigation of Multistaged Tesla Valves // Journal of Fluids Engineering. 2014. Vol. 136, № 8. P. 081102.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЛИКОЛИДА ОТ ЕГО ЧИСТОТЫ

Шмелева А. В.¹, Пономарева Н. А.¹, Ишмухаметова А. Ф.¹,
Спиридонова Р.Р.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

E-mail: nadya68ponomareva@gmail.com

THE DEPENDENCE OF THE GLYCOLIDE POLYMERIZATION ACTIVITY ON ITS PURITY

Shmeleva A. V.¹, Ponomareva N. A.¹, Ishmukhametova A. F.¹, Spiridonova R. R.¹

¹) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University", Kazan, Russia

It was found in the work that in order to obtain a high-quality polyglycolide with a high molecular weight, it is necessary to carry out a 3-fold recrystallization of the glycolide, since it contains the smallest amount of glycolic acid.

Создание биоразлагаемых полимерных материалов берёт своё начало еще с 30-ых годов XX столетия. Рынок биоразлагаемых полимеров является одним из наиболее быстроразвивающихся сегментов мировой экономики [1]. На сегодняшний день в мире известно более 100 видов биоразлагаемых полимеров. Наиболее широко используемым биоразлагаемым медицинским полимером является полигликолид. В настоящее время полигликолид имеет широкое применение в медицинской сфере в качестве рассасывающихся шовных нитей [2]. Полигликолид относится к классу гетероцепных, представляет собой простейший линейный полиэфир, является высококристаллическим материалом. Наиболее распространенным способом получения полигликолида является полимеризация гликолида с раскрытием цикла (схема 1) [3].

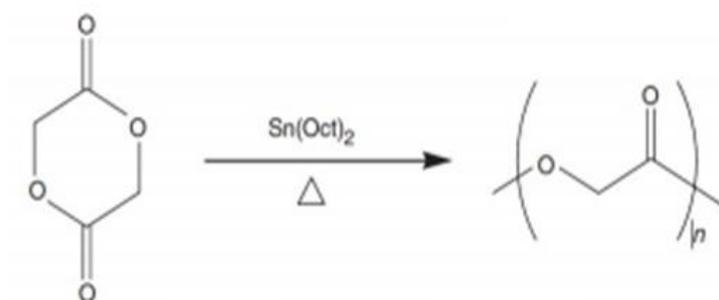


Рис. 1. Полимеризация гликолида с раскрытием цикла [3]

Однако для получения высокомолекулярного полигликолида, подходящего для формования нитей, необходимо соблюдать чистоту мономера, так как во время синтеза гликолида образуются побочные продукты, оказывающее негативное влияние на полимеризацию гликолида.

Цель работы заключается в оценке влияния чистоты гликолида на его полимеризацию.

В данной работе очистка гликолида осуществлялась методом перекристаллизации в этилацетате. Были исследованы образцы гликолида после 1-ой, 2-ой и 3-ей перекристаллизации. Для контроля чистоты гликолида, были выбраны такие методы исследования, как ИК-спектроскопия, хромато-масс-спектрометрия.

По данным ИК-спектров в образцах гликолида содержится пик характерный гликолевой кислоте. Полоса поглощения, отвечающая валентным колебаниям С-О связи и деформационным колебаниям ОН группы, присутствующих в гликолевой кислоте, наблюдается в гликолиде после 1-ой и 2-ой перекристаллизации, однако данная полоса отсутствует в гликолиде после 3-ей перекристаллизации. Данный пик в процессе очистки снижается до полного исчезновения после 3-ей перекристаллизации.

Анализ масс-спектров показал, что с увеличением кратности перекристаллизации содержание гликолевой кислоты уменьшается с 23,65 по 0,32 %.

Был проведен синтез полигликолида из гликолида, очищенного разным количеством перекристаллизаций. Методом гравиметрического анализа изучена кинетика полимеризации гликолида. Данный анализ показывает, что полигликолид полученный из гликолида после 3-ей перекристаллизации, имеет более высокую скорость индукционного процесса, реакция идет быстрее с образованием большего выхода полимера.

Установлено, что для получения высококачественного полигликолида с высокой молекулярной массой необходимо проводить перекристаллизацию гликолида не менее трех раз.

1. Ничитайло М.Е. Антибиотикорезистентность возбудителей интраабдоминальных инфекций / М. Е. Ничитайло, Е. Б. Медвецкий, Л. М. Булик № 4. – Клиническая хирургия, 2011. – С.–65–70.
2. Мильков Б. О. Соединение тканей в хирургии / под. ред. Милькова Б. О. – Черновцы: Редакционно-издательский отдел. – 1991. С – 50 – 112.
3. Beilsteins Handbuchder Organischen Chemie, 4. Aufl. Bd. – 1934. С. – 70 – 153.

РАЗДЕЛЕНИЕ МОЛИБДЕНА И РЕНИЯ НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТАХ

Печищева Н.В.¹, Коробицына А.Д.¹, Скрыльник М.Ю.¹, Булдакова Ю.О.²,
Ординарцев Д.П.¹

¹) Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: pechischeva@gmail.com

SEPARATION OF MOLYBDENUM AND RHENIUM ON MECHANICALLY ACTIVATED CARBONACEOUS SORBENTS

Pechishcheva N.V.¹, Korobitsyna A.D.¹, Skrylnik M.Yu.¹, Buldakova Yu.O.², Or-
dinartsev D.P.¹

¹) Institute of Metallurgy of UB RAS, Yekaterinburg, Russia^{[1][2]}

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

It is shown the difference in the adsorption of Mo(VI) and Re(VII) on mechanically activated graphite in nitric acid medium at pH = 3. It increases by adding ethyl or isopropyl alcohol to the solution. As a result, the sorption of molybdenum up to 95% is observed with a sorption of rhenium of 3%.

Исследована адсорбция молибдена(VI) из серноокислых и азотноокислых растворов, а также из ацетатного буферного раствора на механоактивированном спектрально чистом графите, приготовленном по методике, описанной в [1], и возможность отделения его от рения(VII). Рений – промышленно важный редкий металл, который не образует собственных минералов. Азотноокислые и серноокислые растворы переработки молибденовых руд являются одним из основных источников рения.

Показано, что при перемешивании навески сорбента с раствором ионов металлов с концентрацией 10 мг/л в массовом соотношении 1:150 в течение 1 часа при pH = 3 из сульфат-содержащего раствора сорбируется 94 % молибдена, из нитрат-содержащего – 92 %. В ацетатном буфере степень сорбции молибдена не превышает 65 % (pH = 4). Измельченный графит, не подвергнутый высокоэнергетическому размолу, также сорбирует молибден в меньшей степени (не более чем 47 % в тех же условиях). Степень сорбции рения существенно ниже: 48 % в сульфатном растворе, 17 % - в нитратном и 5 % - в ацетатном буфере.

Таким образом, наибольшая разница в адсорбции молибдена(VI) и рения(VII) на механоактивированном графите наблюдается в азотноокислой среде при pH = 3. Показано, что она еще больше увеличивается при введении спиртов в водные растворы перед проведением сорбции – с 75 % до 92 % при добавлении этанола и до 84 % при добавлении изопропанола. Для сравнения сорбция молибдена и рения была проведена в оптимальных условиях в среде этанола на механоактивированном графите марки ГЛ-1 по ГОСТ 5279-74. Степень сорбции обоих

металлов была несколько ниже, разница между сорбцией молибдена и рения составила 82 %.

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН.

1. G. Kozhina, S. Estemirova, N. Pechishcheva, A. Murzakaev, E. Vovkotrub, M. Skrylnik and K. Shunyaev, Adv. Powder Technol. 28, 1202-1212 (2017).

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ БОЛЬШИХ АМПЛИТУД В ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ХОЛОДНОПЛАМЕННОГО ГОРЕНИЯ СМЕСИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Слепухина Е.С.^{1,2}, Ряшко Л.Б.²

¹⁾ Гогенгеймский университет, г. Штутгарт, Германия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: Evdokiia.Slepukhina@uni-hohenheim.de

STOCHASTIC GENERATION OF LARGE-AMPLITUDE OSCILLATIONS IN A THREE-DIMENSIONAL MODEL OF COLD-FLAME COMBUSTION OF A HYDROCARBON MIXTURE

Slepukhina E.S.^{1,2}, Ryashko L.B.²

¹⁾ University of Hohenheim, Stuttgart, Germany

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

We study a stochastic 3D model of cold-flame combustion of a hydrocarbon mixture. We show that noise can induce large-amplitude oscillations from the equilibrium regime. We analyze this phenomenon by means of the stochastic sensitivity function technique and the method of confidence domains.

В докладе рассматривается стохастический вариант модели холоднопламенного горения смеси двух углеводородов в проточном реакторе идеального смешивания [1,2]. Соответствующая детерминированная модель представляет собой трёхмерную систему нелинейных обыкновенных уравнений: две переменных описывают концентрации двух реагентов, а третья переменная – температуру. Модель характеризуется множественностью состояний равновесия, наличием зон гистерезиса и автоколебаний.

Исследуется параметрическая зона моностабильности модели, где единственным аттрактором детерминированной системы является устойчивое равновесие. Показывается, что под действием случайных возмущений происходит переход из равновесного режима в режим колебаний больших амплитуд. Даются оценки статистических показателей пространственных и временных характеристик формирующихся колебаний. Проводится анализ вероятностного механизма стохастической генерации колебаний с помощью функции стохастической чувствительности и доверительных эллипсоидов [3].

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 20-01-00165).

1. V. I. Bykov, V. F. Kim, G. S. Yablonskii, Y. Y. Stepankii, React. Kinet. Catal. Lett., 14 (1980).
2. I. Bashkirtseva, E. Slepukhina, Phil. Trans. R. Soc. A, 380, 20200314 (2022).

3. I. A. Bashkirtseva, L. B. Ryashko, *Math. and Comp. in Simulat.*, 66, Iss. 1, 55-67 (2004).

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗА В РАСПЛАВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ ФТОРИДОВ ЛИТИЯ, НАТРИЯ И КАЛИЯ

Смирнова В.В.¹, Волкович В.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина
E-mail: zakharova.viktoria@urfu.ru

REDOX PROPERTIES OF FERRUM IN MOLTEN EUTECTIC MIXTURE OF LITHIUM, SODIUM AND POTASSIUM FLUORIDES

Smirnova V.V.¹, Volkovich V.A.¹

¹) Ural Federal University

The study of the electrochemical behavior of iron in the melt of the eutectic mixture LiF-NaF-KF, at a temperature of 550-670 [над]оС and an iron concentration of 0.3-1.2 wt. %, by methods of cyclic, square wave and chronopotentiometry.

Изучение электрохимического поведения железа является важным аспектом, который нужно учитывать при разработке конструкции жидкосолевого ядерного реактора. Железо является продуктом коррозии конструкционных материалов и в результате коррозионных процессов может переходить в топливную соль и в теплоноситель. Электрохимические методы дают возможность определить качественный и количественный состав соли.

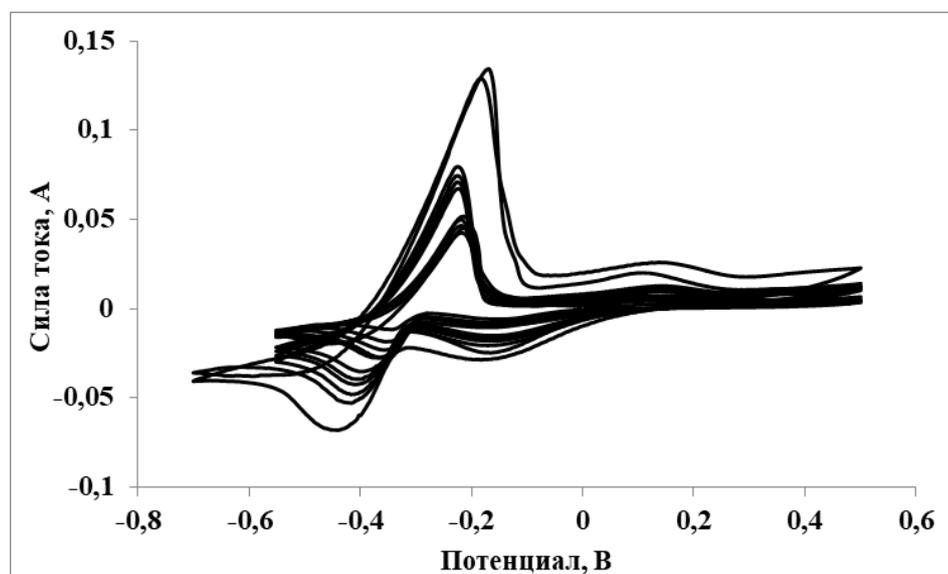


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы, зарегистрированные в расплаве LiF–NaF–KF–FeF₃ при 558 °С и различных скоростях поляризации рабочего электрода. Скорость поляризации рабочего электрода (начиная изнутри) 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, мВ/с.

Работу проводили в герметичной кварцевой ячейке, заполненной аргоном. Рабочим электродом и электродом сравнения служили вольфрамовые стержни, а противоэлектродом был стеклоуглерод. В качестве соли-растворителя была использована эвтектическая смесь фторидов лития, натрия и калия. Измерения проводили при 550–670 °С, и концентрации железа 0,3–1,2 мас. %. Были сняты вольтамперограммы в интервале от 0 до –0,7 В в катодной области, и от 0 до 0,5 в анодной области. Скорость поляризации изменяли в диапазоне от 0,1 до 2 В/с.

На циклических вольтамперограммах присутствуют два катодных и два анодных пика (рис.1).

Катодные пики соответствуют восстановлению ионов железа, $\text{Fe(III)} \rightarrow \text{Fe(II)} \rightarrow \text{Fe(0)}$. На основании полученных вольтамперограмм сделан вывод, об обратимости реакции, контролируемой диффузией. Рассчитаны коэффициенты диффузии. С целью проверки выводов, проведена серия экспериментов с использованием методов хронопотенциометрии и квадратно-волновой вольтамперометрии.

DEPENDENCE OF ALUMINUM OXIDE SORPTION PROPERTIES ON DEPOSITION PH VALUE AND COHERENT SCATTERING REGION SIZES

Solodovnikova P.A.¹, Mashkovtsev M.A.¹

¹) Department of Rare Metals and Nanomaterials, Institute of Physics and Technology, UrFU

E-mail: sol_polina@e1.ru

The authors synthesized samples of aluminum hydroxide by the method of controlled two-jet precipitation under various conditions, followed by thermal decomposition to aluminum oxides. Correlation between values of sorption capacity, pH and CSR values was observed.

Aluminum oxide is a readily available mechanically strong and hydrolytically stable sorbent [1]. It is widely used in the defluorination of industrial wastewater and groundwater. One of the suitable synthesis methods for the ability to control the characteristics of aluminum oxide is the method of controlled two-jet deposition [2]. Features of the method of controlled two-stream deposition allow to influence the properties of the final product and obtain oxides with the required characteristics. One of the adjustable precipitation parameters is the pH value.

The synthesis of samples was carried out as follows: a solution of an aluminum nitrate salt and a solution of ammonia was fed in a drop mode so that the pH during the deposition was constant. The adjustable precipitation parameters were the pH value.

The sorption properties of the samples were investigated by the potentiometric method. As a result of the experiments, the following correlation is observed and is presented in Fig.1: with an increase in the pH of the precipitation, an increase in the CSR values and a decrease in the sorption capacity are observed.

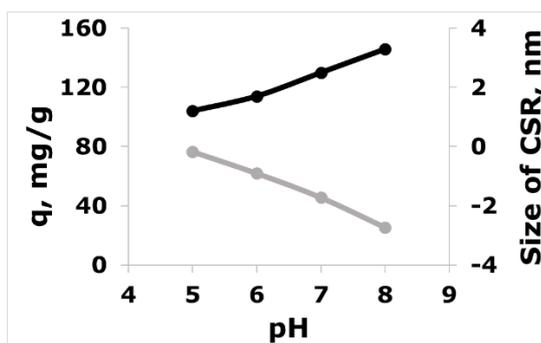


Fig. 1. Correlation between values of sorption capacity, pH and CSR values

1. S.S.Tripathy, Ab. of Fluor. from Wat. Us. Mang. Diox. -coat. Act. Al., (Journ. of Haz. Mat., 2008), 153.
2. V.A. Dzisko and A.S. Ivanova, The main meth. for prod. Act. Alum. Ox., (SO AN USSR, 1985), M215, 110.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛИНЕЙЧАТОЙ ГРАДУИРОВКИ ПРИ АТОМНО-ЭМИССИОННОМ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ФЕРРОБОРА

Спевак Р.А.¹, Зайцева П.В.^{1,2}, Пупышев А.А.^{1,2}, Шуняев К.Ю.²

¹) Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²) Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: rspevak.00@gmail.com

USE OF MULTILINEAR CALIBRATION IN ATOMIC EMISSION SPECTRAL ANALYSIS OF FERROBORON

Spevak R.A.¹, Zaitceva P.V.^{1,2}, Pupyshev A.A.^{1,2}, Shunyaev K.Yu.²

¹) Ural Federal University named B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Metallurgy UB RAS, Yekaterinburg, Russia

An article is focused on the possibility of using multi-line calibration and its advantage over one-line on the example of ferroboron analysis. The influence of operational spectrometer parameters on intensity of analytical lines is investigated.

Улучшение информационных и метрологических характеристик (пределов обнаружения, сходимости, воспроизводимости и точности определений) атомно-эмиссионного спектрального анализа, в том числе атомно-эмиссионного с индуктивно-связанной плазмой, всегда является актуальной задачей.

Для ее решения используют различные методологические приемы: классическое применение внутреннего стандарта, учет матричных спектральных и неспектральных помех, применение нескольких спектральных линий аналита (определяемого элемента) или внутреннего стандарта, использование одновременно нескольких спектральных линий аналита и внутреннего стандарта, учет нестабильности ввода пробы и нестабильности спектрального источника. Интегрированный подход, включающий в себя все эти приемы, был предложен в работе [1]. Но подбор оптимального варианта подхода пока происходит только экспериментально, что требует существенных затрат времени и не гарантирует, что найденное решение является наилучшим. По нашему мнению, необходима разработка теоретической модели данного подхода с подкреплением модели надежным экспериментом.

Эксперимент на примере анализа ферробора проводили с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой SPECTROBLUE SOP. Для измерений были приготовлены градуировочные растворы, содержащие бор, фосфор, медь, цинк, алюминий и железо. Состав градуировочных растворов выбран исходя из диапазонов возможных содержаний аналитов в ферроборе (например, Ф21, Ф21а, Ф22, Ф22б и др.).

Экспериментально для каждого элемента был выбран набор спектральных линии, свободных от спектральных помех, и изучено влияние операционных

параметров (скорость пробоподающего потока аргона, мощность разряда плазмы и скорость распыления образца) на интенсивность выбранных спектральных линий определяемых элементов. Влияние операционных параметров на интенсивность спектральных линий было рассмотрено не только экспериментально, но и также теоретически с использованием метода термодинамического моделирования (программный комплекс TERRA). Экспериментальные зависимости соответствуют теоретическим, что позволяет надеяться на построение адекватной модели многолинейчатой градуировки.

При оптимальных экспериментальных операционных параметрах были получены градуировочные зависимости при различных сочетаниях спектральных линий. В качестве основного критерия надежной градуировки принимали значение R^2 для линейной зависимости, отражающее близость значения линии тренда к фактическим данным. Например, для меди максимальное значение R^2 достигаются при использовании суммы линий цинка и фосфора в качестве внутреннего стандарта.

В дальнейшем планируется провести математическую обработку, полученных экспериментальных данных и сравнение результатов, полученных методом одномерной и многомерной градуировки.

1. А.А. Пупышев, Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 83 (1-2), 20-30 (2017).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ГАЛЛИЯ И ГЕРМАНИЯ НА СОРБЕНТАХ МАРКИ «ТЕРМОКСИД»

Спицина А.В.¹, Денисов Е.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: aspicina6@gmail.com

STUDY OF THE BEHAVIOR OF GALLIUM AND GERMANIUM ON SORBENTS OF THE BRAND «TERMOXID»

Spitsina A.V.¹, Denisov E.I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The study of the sorption properties of Ga and Ge was carried out under static conditions from a NaCl solution using a T-5 sorbent. To determine the interfacial distribution of Ga and Ge, the dependences "S - pH" was obtained. The results showed that the T-5 is promising for creating a generator.

Исследование выполнено в рамках магистерской диссертации по изучению сорбционного поведения Ge/Ga, весьма перспективного для ядерной медицины. Разработана методика исследования процесса сорбции Ga и Ge с использованием неорганического сорбента марки «Термоксид», представляющего собой гидратированный диоксид титана с примесью 5 мол. % оксида циркония, далее Т-5. Степень сорбции определяли измерением сорбента и сухого остатка от равновесного раствора на рентгенофлуоресцентном спектрометре QUANT'X, с последующим расчетом материального баланса. С помощью проб сравнения отработана методика измерения Ga и Ge в программе WinTrace и определен нижний предел концентрации Ga и Ge в сорбенте Т-5 (~100 ppm). При измерении микроколичеств Ga на фоне макроколичеств Ti мы имеем наложение спектров, что ограничивает достоверность результата.

В ходе исследований были получены зависимости «S – pH», при концентрации Ga и Ge 5 мг/л для Т-5. Использовали сорбент марки «Термоксид» разных годов синтеза и разной температуры отжига: 100–600 °С.

Сравниваются зависимости степени сорбции Ga, Ge от значения pH. Для германия эти зависимости имеют вид слегка возрастающей кривой. Для галлия при увеличении pH от 1,5 до 3,5 наблюдаем возрастание степени сорбции галлия до максимального значения при pH=4,0. После достижения pH=4,0 степень сорбции галлия начинает плавно убывать, наблюдается провал на изотерме «S-pH» при pH = 5,5. Полученные результаты влияния pH на степень сорбции можно объяснить процессами образования коллоидов, которые начинают конкурировать с сорбентом за Ga.

1. Денисов, Е.И. Технология производства радионуклидов в ядерной медицине / Е.И. Денисов. - Екатеринбург: УРФУ, 2021- 112 с.
2. Макаревич, Н.А. Теоретические основы адсорбции: учебное пособие / Н.А. Макаревич, Н.И. Богданович; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2015. – 362 с.
3. Золотов, Ю.А. Сорбционное концентрирование микрокомпонентов из растворов / Ю.А. Золотов, Г.И. Цизин, С.Г. Дмитриенко, Е.И. Моросанова. М.: Наука, 2007. С. 320
4. Кодина, Г. Е. Радионуклидные генераторы для ядерной медицины : учебное пособие / Г. Е. Кодина, Р. Н. Красикова. — Москва : МЭИ, 2014. — 282 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ Cs-137 В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ И ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Суетина А.К.¹, Воронина А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: annasuetina@mail.ru

DETERMINATION OF Cs-137 IN NATURAL WATERS IN THE SVERDLOVSK AND CHELYABINSK REGIONS

Suetina A.K.¹, Voronina A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The content of Cs-137 in natural water samples was analyzed using NKF-GDT sorbent for concentrating. Water bodies with increased radionuclide content were identified.

Особую значимость для Уральского региона занимают вопросы обеспечения радиационной безопасности, так как на его территории находится большое количество предприятий атомной отрасли. Уральские аварии (взрыв емкости – хранилища радиоактивных отходов в 1957 г., ветровой разнос в 1967 г. радиоактивных аэрозолей с озера Карачай) привели к обширному радиоактивному загрязнению окружающей среды. Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду оказывается не только в условиях радиационных аварий, но и в штатном режиме деятельности. Так сбросы жидких радиоактивных отходов в реку Теча с 1949 по 1956 гг. привели к загрязнению акватории речной системы Теча–Исеть–Тобол–Иртыш–Обь. По данным [1] в реку Теча было сброшено около 2,7 млн. Ки радионуклидов осколочного происхождения. След на территории Свердловской и Челябинской областей оставила авария на Чернобыльской АЭС.

В работе проведено исследование содержания Cs-137 в природных водах на территории Свердловской и Челябинской областей. Отбор проб воды осуществляли в период с сентября по апрель 2022 г. На рис. 1 представлена карта мест отбора проб. Концентрирование Cs-137 проводили из проб воды объемом 5-10 литров сорбентом НКФ-ГДТ в динамических условиях. Сорбент синтезировали по способу, описанному в [2]. Концентрат после высушивания измеряли на гамма-спектрометре Атомтех АТ-1315 (Беларусь). Концентрации элементов в пробе воды до и после фильтрации через сорбент измеряли на масс-спектрометре NexION 350X (Perkin Elmer, США), используя для обработки результатов программу TotalQuant.

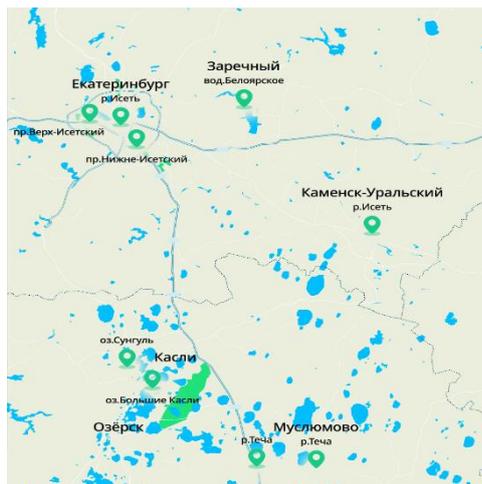


Рис. 1. Точки отбора проб природных вод на территории Свердловской и Челябинской областей.

Полученные результаты показали, что содержание Cs-137 в водах озёр Сунгуль, Большие Касли и р. Исеть в районе Муслюмова согласуется с данными, представленными в литературе. Загрязнение Cs-137 вод городского пруда и Нижне-Исетского водохранилища на реке Исеть в черте г. Екатеринбурга предположительно связано с Чернобыльским следом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-43-660055.

1. Мокров Ю.Г. Реконструкция и прогноз радиоактивного загрязнения реки Теча: Ч. 1. Озерск, Центр ВРБ, (2002).
2. Воронина А.В., Ноговицына Е.В., Семенищев В.С., Блинова М.О. Способ получения неорганического ферроцианидного сорбента (варианты). Патент на изобретение № 2746194.

СТАДИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СТРОНЦИЯ-90 И ИТТРИЯ-90 В МЕТОДИКЕ ЭКСПРЕССНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРОНЦИЯ-90 В ВОДНЫХ ПРОБАХ

Тарасовских Т.В.¹, Недобух Т.А.¹

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: tarasovskihtaya@yandex.ru

THE STAGE OF SEPARATION OF STRONTIUM-90 AND YTTRIUM-90 IN THE METHOD OF EXPRESS DETERMINATION OF STRONTIUM-90 IN AQUEOUS SAMPLES

Tarasovskikh T.V.¹, Nedobukh T.A.¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

The method of express determination of strontium-90 in water samples is proposed. The efficiency of the separation stage of strontium-90 and yttrium-90 radionuclides was evaluated.

Атомная энергетика несет риски радиоактивного загрязнения в результате радиационных аварий и инцидентов. Поэтому контроль за радионуклидами, образующимися в результате деятельности АЭС является важной экологической задачей. Так, одним из наиболее опасных техногенных радионуклидов является стронций-90 (^{90}Sr), который обладает большим периодом полураспада (28,9 лет) и имеет свойство прочно удерживаться в организме. При распаде ^{90}Sr образуется дочерний радионуклид иттрий-90 (^{90}Y) с периодом полураспада 64 ч и высокой энергией β -излучения [1].

В большинстве методик определения ^{90}Sr измерение проводят после установления радиоактивного равновесия между ^{90}Sr и ^{90}Y [2-3], что не удовлетворяет требованиям экспрессности.

Возможное решение проблемы – выделение чистого ^{90}Sr после его концентрирования с последующим измерением на бета-радиометре. Задача разделения была решена на основе различной способности стронция и иттрия образовывать комплексные соединения с органическими лигандами, в частности, с сульфосалициловой кислотой [4]. Концентрирование стронция проводили с использованием неорганического сорбента Термоксид-3К (Т-3К) производства АО «Неорганические сорбенты», г. Заречный.

Была предложена методика экспрессного определения ^{90}Sr в пресных водах, включающая концентрирование стронция с использованием сорбента Т-3К, обработку сорбента раствором сульфосалициловой кислоты для отделения ^{90}Y , десорбцию ^{90}Sr раствором соляной кислоты и его измерение на β -радиометре непосредственно после выделения. В рамках данной работы были определены

некоторые характеристики методики: выход ^{90}Sr и радионуклидная чистота (РНЧ). Результаты их определения представлены в таблице.

Таблица – Характеристики экспрессной методики определения стронция-90 в пресных водах

Условия измерения	^{90}Sr сразу после выделения	^{90}Sr в равновесии с ^{90}Y
Эксперимент 1		
Введено ^{90}Sr , Бк/л	$(5,46 \pm 0,16) \cdot 10^2$	
Определено A , Бк/л	$(5,52 \pm 0,19) \cdot 10^2$	$(4,74 \pm 0,13) \cdot 10^2$
Выход	$1,01 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,04$
РНЧ, %	86 ± 6	
Эксперимент 2		
Введено ^{90}Sr , Бк/л	$(1,11 \pm 0,03) \cdot 10^2$	
Определено A , Бк/л	$(1,19 \pm 0,09) \cdot 10^2$	$(1,0 \pm 0,06) \cdot 10^2$
Выход	$1,07 \pm 0,09$	$0,93 \pm 0,09$
РНЧ, %	86 ± 8	

Полученные результаты показывают, что уменьшение введенной активности ^{90}Sr не влияет на показатели методики. Значение выхода, рассчитанного в образце сразу после выделения ^{90}Sr превышает значение выхода, рассчитанного в условиях равновесия. Различие в выходах и значение радионуклидной чистоты указывают на присутствие в образце ^{90}Y . В тоже время, достигнутое значение РНЧ свидетельствует о разделении радионуклидов. Эффективность разделения может быть повышена в результате оптимизация процесса по скорости пропускания, концентрации кислоты и рН растворов.

Приведенные результаты свидетельствуют о достаточно высокой степени разделения ^{90}Sr и ^{90}Y и возможности реализации экспрессной методики определения ^{90}Sr в водных пробах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках проекта № 20-43-660055

1. Т.А. Nedobukh and V.S. Semenishchev, Handbook of Environmental Chemistry, 88, 1-23 (2020).
2. МР 2.6.1.0064-12. Радиационный контроль питьевой воды методами радиохимического анализа. Введ. с 09.06.2012. М., (2020)
3. Direct strontium determination in aqueous samples – Version 1.0 – 14/09/15 – ТКІ – URL: <https://www.triskem-international.com/tki-methods-ru.php>.
4. Тарасовских Т.В. Разделение стронция-90 и иттрия-90 в присутствии сульфосалициловой кислоты с использованием сорбента Т-3К. Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021». М.: Перо, 827, (2021).

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЛИЙСОДЕРЖАЩИХ ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ

Токарев О.В.¹, Волкович В.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: olegtokarev1999@gmail.com

POTENTIOMETRIC STUDY OF GALLIUM CONTAINING CHLORIDE MELTS

Tokarev O.V.¹, Volkovich V.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Zero current potentiometry was employed for studying electrochemical behaviour of gallium in LiCl–KCl and NaCl–KCl–CsCl eutectic based melts at 450–600 and 530–750 °C, respectively. Formal standard electrode potentials of gallium were determined.

В настоящее время возрастает интерес к разработке неводных пироэлектрохимических технологий переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Одним из перспективных направлений в данной области является метод разделения компонентов ОЯТ путем фракционирования в системе «солевой расплав – жидкий металл (сплав)». В случае разделения урана и редкоземельных продуктов деления данным методом предпочтение отдаётся легкоплавким сплавам, одним из компонентов которых может являться галлий. Для разработки процессов разделения необходимо обладать достоверной информацией об электрохимических свойствах всех элементов, присутствующих в системе, в том числе и галлия. Поэтому, целью данной работы являлось изучение электрохимического поведения галлия, в частности определение значений его электродных потенциалов, в расплавах на основе двух эвтектических смесей 3LiCl–2KCl и 6NaCl–9KCl–5CsCl, как наиболее перспективных рабочих электролитов [1].

В настоящей работе было проведено экспериментальное исследование электрохимического поведения галлия в хлоридных расплавах с использованием метода хронопотенциометрии при нулевом токе. Измерения проводили в температурном интервале 450–600 °C для электролита LiCl–KCl–GaCl₃, и 530–750 °C для NaCl–KCl–CsCl–GaCl₃. В качестве электрода сравнения был использован хлорный электрод.

В результате работы по экспериментально полученным величинам электродных потенциалов были рассчитаны значения условных стандартных электродных потенциалов Ga³⁺/Ga и Ga⁺/Ga для исследованных интервалов температур, для электролитов на основе эвтектических смесей LiCl–KCl и NaCl–KCl–CsCl. Полученные данные были сопоставлены с литературными [1], рис. 1.

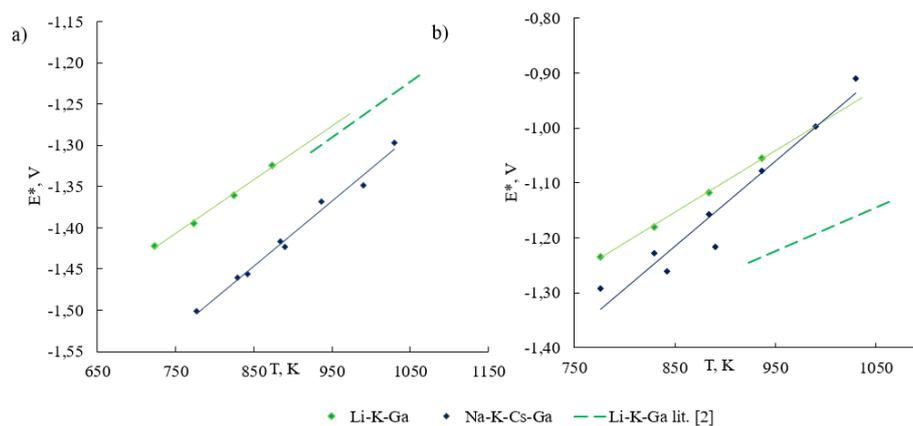


Рис. 1. Зависимости условного стандартного электродного потенциала галлия от температуры, для электролитов на основе $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$ и $6\text{NaCl}-9\text{KCl}-5\text{CsCl}$ относительно хлорного электрода сравнения для $n=3$ (a) и для $n=1$ (b)

1. V. A. Volkovich, D. S. Maltsev, E. V. Raguzina, A. S. Dedyukhin, A. V. Shchetinskiy, L. F. Yamshchikov, A. V. Chukin, "Thermodynamics of rare earth elements and uranium in gallium based quaternary metallic alloys", *J. Alloys Comp.*, 2019, vol. 787, 367–378.
2. P.M. Usov and E.A. Saltykova, *Rasplavy* 1(3), 110-113 (1987).

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДА ФОСФОРА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИОБИЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Кель И.Н.¹, Заякин О.В.¹, Ренев Д.С.¹, Толмачев М.^{1,2}

¹) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт новых материалов и технологий УрФУ, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: mixail.tolmachev.98@mail.ru

STUDY OF THE EFFECT OF PHOSPHORUS OXIDE ON THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF NIOBIUM CONCENTRATES

Kel I.N.¹, Zaiakin O.V.¹, Renev D.S.¹, Tolmachev M.^{1,2}

¹) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yekaterinburg, Russia

²) Institute of New Materials and Technologies UrFU. Yekaterinburg, Russia

In the paper, physicochemical characteristics of niobium-containing concentrate with high content P₂O₅ in its were determinate. Their beginning, end softening temperatures and temperature range were experimentally estimated. Also, the density of concentrates defined by the picnometric method.

Стандартные марки феррониобия получают алюминотермическим методом из высококачественных ниобиевых концентратов. Данный способ требует использования дорогостоящих импортных шихтовых материалов [1]. Большинство ниобиевых месторождений России представлены пироклоровыми, апатит-пироклоровыми и колумбит-пироклоровыми типами руд, которые содержат значительное количество фосфора [2]. В сложившейся экономической ситуации рациональным является изучение возможности получения ниобийсодержащих ферросплавов непосредственно из отечественных черновых концентратов с повышенным содержанием фосфора. Для этого необходима комплексная металлургическая оценка сырья, которая включает в себя изучение температур размягчения и плотности. Знание о совокупности этих характеристик, позволяют прогнозировать и осуществлять оптимизацию технологического процесса плавки.

Для исследований были синтезированы образцы оксидных материалов, аналогичные по составу материалы возможно получать из отечественных ниобиевых руд. Они содержали мас. %: 24-28 Nb₂O₅; 26-32 SiO₂; 31-37 CaO при увеличении концентрации P₂O₅ в диапазоне 0-15 %.

Температуры размягчения образцов определяли на высокотемпературной лабораторной установке в потоке инертного газа при скорости нагрева 10°С/мин, что соответствует условиям плавки в ферросплавной рудовосстановительной электропечи. За температуру начала размягчения принимали температуру, при которой шток погружался в пробу на 1%, а за температуру конца размягчения — температуру, при которой заглубление штока в материал составляло 40 % от

начальной высоты слоя пробы. Эксперименты проводили в соответствии с ГОСТ 26517-85. Определение плотности выполняли на специализированном лабораторном стенде пикнометрическим способом согласно ГОСТ 22524-77.

Выявлено, что увеличение концентрации P_2O_5 до 15% приводит к плавному снижению температур начала размягчения с 860 до 790 °С. А высокое содержание P_2O_5 в образцах вызывает резкое увеличение температур конца размягчения до 1210 °С и нежелательное, с технологической точки зрения, увеличение интервала размягчения с 80 до 420 градусов.

Количественная оценка плотности показала, что концентрация фосфора в рассматриваемых пределах не оказывает существенного влияния на показатели плотности. Все изучаемые образцы характеризуются очень близкими значениями плотности 3630-3650 кг/м³.

В целом, увеличение содержания P_2O_5 в рассматриваемых материалах не оказывает существенного влияния на плотность, но приводит к значительному ухудшению их температур размягчения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00252, <https://rscf.ru/project/21-19-00252/>.

1. Гасик, М.И. Теория и технология производства ферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. –Москва: Металлургия, 1988. – 784 с.
2. Мелентьев Г.Б. Перспективы обеспечения собственным редкометальным сырьем и развития производств феррониобия в России // Труды конф. «Перспективы развития металлургии и машиностроения»: ФЕРРОСПЛАВЫ. - Екатеринбург: ООО изд. «АльфаПринт», 2018. С. 36-45.

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА СПЛАВЕ Д16 СПОСОБОМ ПЭО

Чан Ван Туан¹, Хабибуллина З.В.¹, Ракоч А.Г.¹

¹) Национальный исследовательский технологический университет МИСиС,
Москва, Россия
E-mail: tuanmanu1993@gmail.com

ANTICORROSION PROPERTIES OF COATINGS OBTAINED ON D16 ALLOY BY PEO

Tran Van Tuan¹, Khabibullina Z.V.¹, Rakoch A.G.¹

¹) National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

In this work, anticorrosion behaviors of PEO coatings formed on D16 alloy with various thicknesses in 0,5 wt.% NaCl solution were investigated. Corrosion resistance of PEO coatings strongly depended on their microstructure. Thicker coatings provided better corrosion protection for D16 alloy.

Благодаря сочетанию высоких прочностных характеристик и низкой плотности, алюминиевый сплав Д16 находит широкое применение в различных областях промышленности. Однако, его существенным недостатком является низкая коррозионная стойкость [1], которая может быть повышена за счет применения различных видов покрытий. В последние годы большое внимание привлекают оксидные покрытия, получаемые методом плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) [2]. Данная работа посвящена изучению антикоррозионного поведения ПЭО-покрытий различных толщин на сплаве Д16 в 0,5%-ном растворе NaCl.

ПЭО-покрытия получали в щелочно-силикатном электролите, содержащем 3 г/л NaOH и 5 г/л жидкого технического стекла, используя переменный ток плотностью 15 А/дм². Толщины покрытий определяли с помощью толщиномера Fischer FNP10. Микроструктуру покрытий исследовали на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3SB. Для оценки антикоррозионной способности покрытий использовали методы потенциодинамической поляризации и электрохимической импедансной спектроскопии при помощи потенциостата Gamry Interface 1000.

После проведения ПЭО в течение 25, 65 и 105 мин были получены покрытия со средними толщинами приблизительно 17, 48 и 82 мкм, соответственно. Согласно микрофотографиям поперечных шлифов, полученные покрытия являются двухслойными. В покрытии со средней толщиной 17 мкм имеются крупные продольные поры, расположенные на границе слоев. Размер и количество продольных пор уменьшаются при толщине покрытия 47 мкм, и они практически отсутствуют в самом толстом покрытии. Поляризационные кривые, полученные после

выдержки в течение 60 мин в коррозионной среде, показывают, что, чем больше толщина покрытия, тем меньше плотность анодного и катодного токов. Таким образом, увеличение толщины покрытия приводит к повышению его защитных свойств. Поведение ПЭО-покрытий при длительном испытании (до 7 дней) изучали методом электрохимической импедансной спектроскопии. Стоит отметить, что модуль импеданса на самой низкой частоте (0,01 Гц) часто используют для общей оценки коррозионного сопротивления покрытий [3]. Для покрытия со средней толщиной 17 мкм модуль импеданса при частоте 0,01 Гц падает со временем. Это обусловлено наличием большего количества сквозных пор и присутствием крупных продольных пор в нем. В случае покрытия толщиной 82 мкм модуль импеданса при частоте 0,01 Гц увеличивается и практически не изменяется при увеличении времени выдержки от 3 до 7 дней. Причиной увеличения антикоррозионной способности данного покрытия, по-видимому, является заполнение сквозных пор небольших сечений, и, возможно, нанопор [4] вторичными продуктами коррозии. Для покрытия толщиной 47 мкм наблюдается незначительное уменьшение модуля импеданса при частоте 0,01 Гц. Таким образом, антикоррозионная способность ПЭО покрытий при нахождении в коррозионной среде в значительной степени зависит от их строения, в частности, от типа пор, их размеров и количества.

1. Томашов Н.Д., Чернова Г.П., *Металлургия* (1993).
2. Ракоч А.Г., Гладкова А.А., Дуб А.В., *Издательство Дом МИСиС* (2017).
3. Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Машталяр Д.В., Бузник В.М., Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б., *Физикохимия поверхности и защита материалов*, 47, 86 (2011).
4. Curran J.A., Clyne T.W., *Acta Materialia*, 54, 1985 (2006).

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНДИЯ ИЗ СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ТВЕРДЫМИ ЭКСТРАГЕНТАМИ

Трофимов А.В.¹, Свирский И.А.¹, Титова С.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: sasha.trofimov.90@mail.ru

RECOVERY OF INDIUM FROM SULFURIC ACID SOLUTIONS WITH SOLID EXTRACTANTS

Trofimov A.V.¹, Svirskiy I.A.¹, Titova S.M.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work, the processes of indium recovery from sulfuric acid solutions were studied. Model solutions containing 60 mg/L of indium were used for the study. Solid extractant brand Axionit 1 was chosen as the most effective for the extraction of indium.

Индий применяют в радиотехнике и электронике для изготовления специальных контактов из прессованной смеси оксидов индия и серебра. Используют его и в атомной технике для изготовления индикаторов нейтронов.

Большую часть индия получают как сопутствующий продукт при производстве и переработке сырья ряда других более распространенных металлов.

Экстракционный метод занимает важное место в химической технологии индия. Для жидкостной экстракции индия из сернокислых растворов применяют обычно ди-(2-этилгексил)фосфорную кислоту (Д2ЭГФК).

В настоящей работе экстракцию индия осуществляли с применением твердых экстрагентов (ТВЭКС). Для исследования были выбраны ТВЭКС отечественного производителя АО «Аксион-РДМ» (г.Пермь): Axionit 1 (50% Ди2ЭГФК), Axionit 22.3 (Д2ЭГФК+ТОФО+ТБФ), Axionit 39 (Cyanex 272), Axionit 17.3 (40% Д2ЭГФК), Axionit 5 (30% Д2ЭГФК), Axionit 30 (Д2ЭГФК+ТБФ).

Экстракцию в статическом режиме вели из модельного раствора. Масса навески ТВЭКС составила 0,025 г в воздушно-сухом состоянии. Концентрация индия в исходном растворе составила 59,08 мг/л. Навеску ТВЭКС с исследуемыми растворами помещали в центрифужные пластиковые пробирки объемом 50 мл, и в течение 1 суток осуществляли контакт твердой и жидкой фаз при постоянном перемешивании на лабораторном шейкере Ika KS 3000 Control. Этого времени достаточно для установления экстракционного равновесия. Соотношение фаз Т:Ж составило 1:2000 по массе. Температура процесса 18-23 °С. Затем фазы разделяли, остаточное содержания индия в водной фазе определяли методом ICP-AES. На рис. 1 представлены значения статической обменной емкости (СОЕ) ТВЭКС по индию.

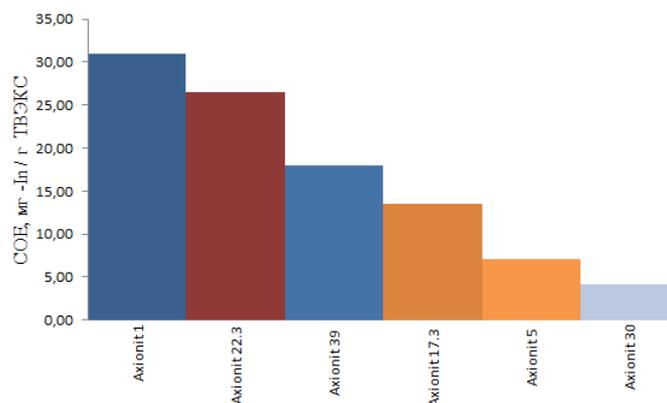


Рис. 1. Статическая обменная емкость ТВЭКС по индию при извлечении из модельного раствора

По результатам эксперимента установлено, что ТВЭКС Axionit 1, содержащий в качестве активного компонента – экстрагента 50% Ди2ЭГФК, обладает наибольшим значением емкости по индию 31,40 мг In/г ТВЭКС, а значит, является наиболее перспективным для экстракционного извлечения индия из сернокислых растворов.

1. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. С. С. Коровин, В. И. Букин, П. И. Федоров, А. М. Резник. Том III. 2003 г. - 95 с.
2. Индий. П. И. Федоров, Р. Х. Акчурин. - 165 с.

СИНТЕЗ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ЛАНТАНОМ И ГАДОЛИНИЕМ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ КОНТРОЛИРУЕМОГО ДВУХСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Тюшняков М.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: brulik501@gmail.com

SYNTHESIS OF LANTHANUM AND GADOLINIUM STABILIZED ZIRCONIUM DIOXIDE BY CONTROLLED DOUBLE-JET PRECIPITATION

Tyushnyakov M.I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work is aimed at obtaining lanthanum and gadolinium stabilized zirconia with a spheroidal particle shape and a narrow particle size distribution. It was shown that the stabilizing components have a different effect on the morphology and particle size distribution of the obtained oxides.

Материалы на основе стабилизированного диоксида циркония используется для формирования тепло-, эрозионно- и коррозионностойких покрытий на металлических поверхностях из высоколегированных сталей, черных и цветных металлов отдельных деталей машин и механизмов, а также узлов агрегатов. Известно, что диоксид циркония может существовать в трех кристаллических структурах: моноклинной, тетрагональной и кубической. Для стабилизации диоксида циркония в тетрагональной структуре могут быть использованы оксиды магния, кальция и РЗЭ [1]. Основной ролью стабилизатора является подавление фазовых переходов в кристаллической решетке при высоких температурах эксплуатации. Также, помимо кристаллической структуры, для формирования покрытий частицы диоксида циркония должны обладать сфероидальной формой и узким распределением частиц по размерам. Целью работы является исследование влияния добавки гадолиния и лантана как стабилизирующих компонентов в ходе контролируемого двухструйного осаждения на свойства диоксида циркония.

Для проведения осаждения готовили 3 раствора: нитрат циркония, нитрат циркония с добавкой нитрата лантана и нитрат циркония с добавкой нитрата гадолиния. Содержание гадолиния и лантана в растворе составляло 7 мас. % в пересчёте на оксиды, осаждение проводили при постоянном рН=5. Затем, полученные суспензии фильтровали на вакуумном нутч-филт্রে, сушили при 40°C в течение 12 часов и затем обжигали при 950°C. Свойства образцов исследовали при помощи оптического микроскопа и лазерного анализатора частиц.

На рисунке 1 представлены зависимости среднего диаметра и дисперсии частиц от длительности осаждения для образцов Zr, 7LaZr, 7GdZr и оптические изображения частиц на финальной стадии осаждения.

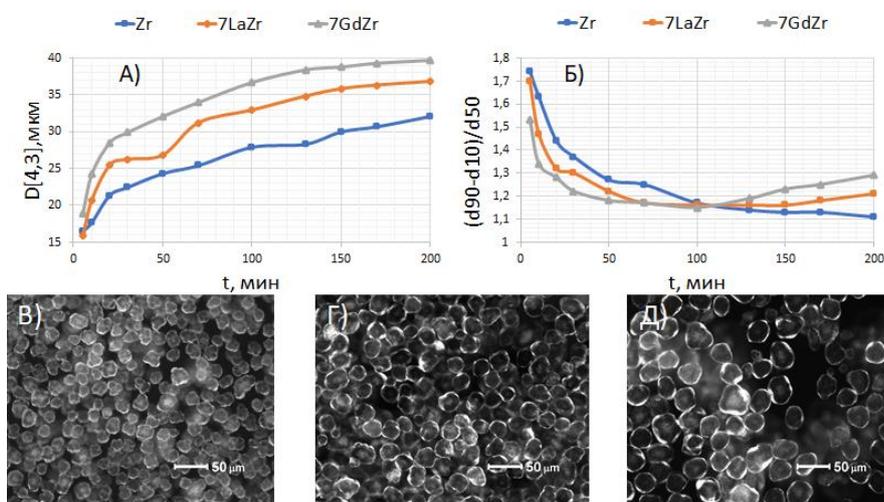


Рис. 1. Изменение свойств образцов во время осаждения. а) Средний диаметр частиц; б) дисперсия размеров частиц; в) г) и д) оптические изображения частиц образцов Zr; 7LaZr; 7GdZr в конце осаждения соответственно

Добавление лантана и гадолиния приводит к увеличению среднего диаметра частиц гидроксида циркония на всех этапах осаждения (рис. 1а). Так, для образца Zr средний диаметр частиц достигает 32,1 мкм к концу осаждения, а для образцов 7LaZr и 7GdZr 36,8 и 39,7 мкм соответственно.

Дисперсия частиц в ходе осаждения уменьшается и к концу осаждения составляет 1,11 для образца Zr, 1,21 для образца 7LaZr и 1,29 для образца 7GdZr (рис. 1б). Образцы обладают околосферической формой частиц, частицы образца Zr обладают наименее сглаженной поверхностью (рис. 1в) по сравнению с образцами 7LaZr и 7GdZr (рис. 1-Г, Д). После обжига форма частиц у всех образцов сохраняется, размер частиц уменьшается до 19,9 для Zr, до 25,2 для 7LaZr и до 27,5 мкм для 7GdZr.

Таким образом, метод двухструйного контролируемого осаждения позволяет получать диоксид циркония, стабилизированного в тетрагональной структуре. Добавка стабилизирующего компонента (гадолиния и лантана) приводит к увеличению среднего диаметра частиц в ходе осаждения, обеспечивает сглаживание границ и узкое распределение частиц по размерам. Полученные порошки могут быть использованы для создания термобарьерных покрытий.

3. Химия и технология редких и рассеянных элементов, Х46 Ч. II. Под ред. К. А. Большакова. Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа» (1976).

РАСТВОРИМОСТЬ ДВОЙНОГО СУЛЬФАТА СКАНДИЯ - ЦЕЗИЯ В СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ

Вармаховская Е.С.¹, Медянкина И.С.², Пасечник Л.А.²

¹) ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²) ФГБУН Институт химии твердого тела УрО РАН
E-mail: pasechnik@ihim.uran.ru

SOLUBILITY OF SCANDIUM - CAESIUM DOUBLE SULFATE IN SULFURIC ACID SOLUTIONS

Varpakhovskaya E.S.¹, Medyankina I. S.², Pasechnik L.A.²

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

²) Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences

Scandium is an important component for advanced applications ranging. Though, it is a trace element, which extraction and purification remains challenging. Despite of technological importance our study can update essentially the data about the solubility and crystallization of scandium compounds.

Серноокислые растворы являются одними из наиболее перспективных в технологии переработки редкометалльного сырья, в том числе скандия. Селективное извлечение скандия в присутствии макроколичеств примесей ранее было предложено кристаллизацией скандосульфатов аммония [1]. Благодаря различию в растворимости сульфатов скандия и иттрия $K_3Sc(SO_4)_3$ был использован для селективного осаждения скандия с выходом 98% [2]. Подобные двойные сульфаты скандия и аммония или щелочных металлов следует рассматривать как координационные соединения. Известно также, что при смешивании растворов индивидуальных сульфатов в случаях NH_4^+ , K^+ , Rb^+ или Cs^+ кристаллизуются безводные соединения, а для Na^+ или Li^+ – кристаллогидраты разных (различающихся) составов и структуры. Для сульфоскандиата лития $LiSc(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$, растворимость которого близка к растворимости чистого сульфата лития, определены только содержание кристаллизационной воды и условия термической дегидратации. Безводной структуры зафиксировать не удалось.

В настоящей работе мы попытались разработать условия кристаллизации сульфоскандиатов цезия при варьировании температурных и концентрационных режимов по цезию и серной кислоте. В результате были выделены два состава $CsSc(SO_4)_2$ и $Cs_3Sc(SO_4)_3$. СЭМ-изображения сульфоскандатов цезия показывают существенные различия в морфологии образцов. Для первого изучена растворимость в водных растворах в зависимости от концентрации кислоты. Показано, что небольшое количество кислоты примерно до 1 моль/л H_2SO_4 повышает растворимость $CsSc(SO_4)_2$, а при повышении вплоть до 6 моль/л существенно снижается. Экспериментальные результаты были описаны с использованием

методов оценки растворимости, учитывающие влияние комплексообразования и присутствия одноименных ионов в растворах.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Института химии твердого тела УрО РАН.

1. Pasechnik L. A. , Skachkov V. M. , Chufarov A. Yu., Suntsov A. Yu. and Yatsenko S. P. Hydrometallurgy, 202, 105597 (2021).
2. Волков В.П. , Гущин А.П., Соловьев Б.А., Югай А.В., Дуйсебаев Б.О., Целищев Г.К. Патент РФ 2079431 С1. 1997.

СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХАЛЬКОГЕНИДОВ КАДМИЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТАНДЕМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Мочалов Л.А.^{1,4}, Логунов А.А.^{1,4}, Кудряшов М.А.^{1,4}, Вшивцев М.А.¹,
Прохоров И.О.¹, Теруков Е.И.^{2,3}, Бобыль А.В.², Аболмасов С.Н.⁵, Пряхина В.И.⁶

¹⁾ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, Российская Федерация

²⁾ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

³⁾ Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург,
Российская Федерация

⁴⁾ Университет Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

⁵⁾ НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике, Санкт-Петербург, Российская
Федерация

⁶⁾ Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия
E-mail: mvshivtcev@mail.ru

SYNTHESIS OF THIN FILMS OF CADMIUM CHALCOGENIDES BY THE PLASMA-CHEMICAL METHOD FOR THE CREATION OF TANDEM SOLAR CELLS

Mochalov L.A.^{1,4}, Logunov A.A.^{1,4}, Kudryashov M.A.^{1,4}, Vshivtsev M.A.¹,
Prokhorov I.O.¹, Terukov E.I.^{2,3}, Bobyl A.V.², Abolmasov S.N.⁵, Pryakhina V.I.⁶

¹⁾ Nizhny Novgorod State Technical University n.a., R.E. Alekseev, Russian Federation

²⁾ Physical-Technical Institute n.a., A. F. Ioffe of the Russian Academy of Sciences, St.
Petersburg, Russian Federation

³⁾ Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russian Federation

⁴⁾ Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

⁵⁾ R&D Center of Thin Film Technologies in Energetics, St. Petersburg, Russian Federation

⁶⁾ Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

In this paper, we present a new method for obtaining the upper CdTe layer for cascade solar cells based on a-Si. The use of this method will make it possible to obtain cascade solar cells without destroying the lower cascade.

В настоящее время угроза глобального потепления и сокращение запасов традиционных источников энергии вынуждают многие страны мира наращивать темпы производства возобновляемых источников энергии, среди которых наиболее перспективной является солнечная энергия. На сегодняшний день однокаскадные солнечные элементы на основе монокристаллического кремния (c-Si),

доминирующие на рынке наземной солнечной энергетики (занимая более 90% рынка), достигли КПД 25–26% и приближаются к теоретическому пределу [1], который по Шокли-Квиссеру для кремния лежит в районе 29% (при освещенности, равной одному солнцу AM1.5G [2]). Как показывает практика, единственный способ сегодня преодолеть предел Шокли-Квиссера — это использование многокаскадных солнечных элементов.

Целью данной работы является разработка новых подходов к синтезу комбинированных наноструктурированных материалов с использованием плазменного инициирования химических реакций на основе халькогенидов кадмия.

Осаждение халькогенидов кадмия осуществляется из высокочистых элементов Cd, S, Se и Te, которые подаются в плазмохимический реактор методом термического испарения в вакууме, реакция взаимодействия летучих элементов иницируется плазменным разрядом, синтез халькогенидного материала осуществляется в условиях неравновесной плазмы высокочастотного индукционного (или емкостного) разряда при пониженном давлении, а твердые продукты реакции осаждаются на охлаждаемую/нагретую подложку. Схема установки представлена на рисунке 1 (Рис. 1)

Следует отметить, что материалы a-Si очень чувствительны к высоким температурам и превышение определенного температурного предела приведет к резкому снижению эффективности таких солнечных элементов. Для a-Si этот температурный предел лежит в районе 200–250 °C. В то время как температура роста тонких пленок CdTe традиционными методами превышает 300–400 °C [3]. Таким образом, прямое напыление верхнего каскада CdTe на высокоэффективный a-Si/c-Si солнечный элемент приведет к ухудшению его характеристик. Метод синтеза основан на инициировании плазмой химических превращений между исходными веществами с помощью электронного удара. Плазменное инициирование позволяет значительно снизить температуру стенок реактора и подложки. Это позволяет исключить возможность загрязнения конечного продукта материалами оборудования и регулировать температуру подложки в более широком диапазоне (вплоть до криогенных температур), задавая тем самым условия роста структуры, близкие к идеальным. Плазменное инициирование также позволяет добиться 100%-ной конверсии исходных веществ за счет снятия кинетических затруднений при протекании плазмохимических реакций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-12-00167)

1. Yoshikawa K. et al. Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26% // Nat. Energy. 17032. 2017.
2. Shockley W., Queisser H. J. Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells // J. Appl. Phys. 1961. P. 510 – 519.
3. Romeo A., Artegiani E. CdTe-based thin film solar cells: Past, present and future // Energies. 1684. 2021.

ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ЦИРКОНИЯ И СПЛАВОВ ЦИРКОНИЙ-ГАЛИЙ В РАСПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ LiCl-KCl-CsCl

Яковлев А.В.¹, Солдатова М.Н.¹, Волкович В.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: yakoblev121299@gmail.com

ELECTRODE POTENTIALS OF ZIRCONIUM AND ZIRCONIUM- GALLIUM ALLOYS IN MELTS BASED ON LiCl-KCl-CsCl EUTECTIC MIXTURE

Yakovlev A.V.¹, Soldatova M.N.¹, Volkovich V.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Electrode potentials of zirconium, Zr–Ga and Zr–Ga–In alloys were measured in LiCl–KCl–CsCl based melts containing added ZrCl₄ or K₂ZrF₆. Measurements were performed at 300–850°C.

Неводные методы переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) рассматриваются в качестве основы для реализации короткозамкнутого ядерного топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах. Наибольший интерес представляют пироэлектрохимические методы, реализуемые в среде солевых расплавов. Разделение компонентов ОЯТ осуществляется за счёт различных электрохимических свойств, которые зависят от состава электролита и природы материала электрода. Электродные потенциалы урана и циркония в хлоридных расплавах близки, что затрудняет глубокую очистку урана от этого продукта деления.

Одной из перспективных рабочих сред для пирохимической переработки ОЯТ является низкоплавкая эвтектическая смесь хлоридов лития, калия и цезия. Целью настоящей работы являлось определение электродных потенциалов циркония и сплавов циркония с легкоплавкими металлами в расплавах на основе эвтектической смеси LiCl–KCl–CsCl. Эксперименты выполняли при температурах от 300 до 850 °С с использованием метода измерения электродвижущих сил следующих гальванических элементов:

РЭ | (LiCl–KCl–CsCl)–ZrCl₄ || (LiCl–KCl–CsCl)–AgCl | Ag

РЭ | (LiCl–KCl–CsCl)–K₂ZrF₆ || (LiCl–KCl–CsCl)–AgCl | Ag

В качестве рабочих электродов (РЭ) использовали металлический цирконий, сплавы Zr–Ga и Zr–(Ga–In)_{эвт.}. Содержание циркония в сплавах составляло 7–10 мас. %, что превышает растворимость циркония в галлии во всём рабочем диапазоне температур. Электродом сравнения служила серебряная проволока, погруженная в расплав эвтектической смеси LiCl–KCl–CsCl с добавкой 1 мол. % хлорида серебра.

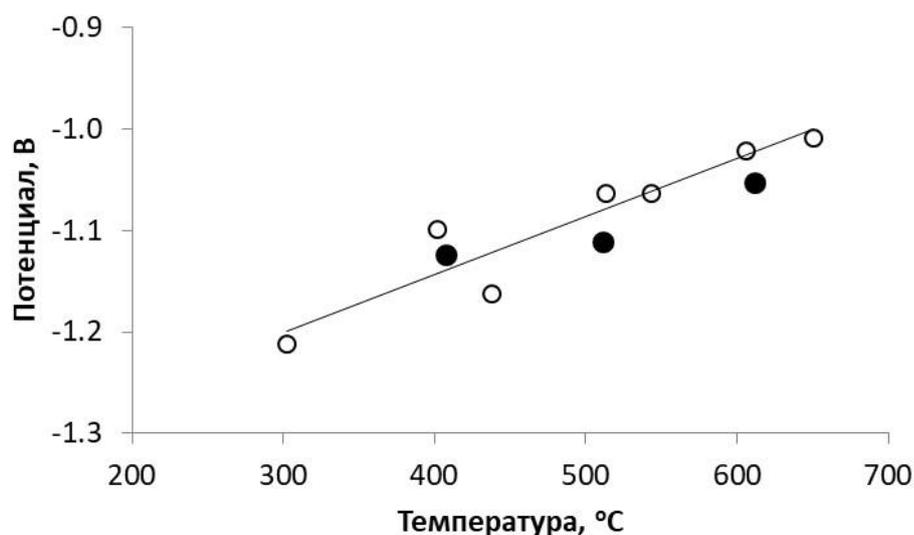


Рис. 1. Электродные потенциалы циркония в расплавах $(\text{LiCl-KCl-CsCl})\text{-K}_2\text{ZrF}_6$ (потенциалы приведены относительно Ag^+/Ag). Содержание K_2ZrF_6 , мас. %: 1,39 (светлые символы); 2,90 (тёмные символы).

Пример температурной зависимости электродных потенциалов циркония в расплавах $(\text{LiCl-KCl-CsCl})\text{-K}_2\text{ZrF}_6$ представлен на рисунке. Видно, что с повышением температуры потенциал выделения циркония закономерно смещается в область положительных значений, от $-1,2$ до -1 В.

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Яркова Е.А.¹, Газизуллина Е.Р.¹, Герасимова Е.Л.¹, Иванова А.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина
E-mail: elena.iarkova@urfu.me

DEVELOPMENT OF THE PORTABLE DEVICE PLATFORM FOR DETERMINING THE ANTIOXIDANTS CONTENT OF THE POTENTIOMETRIC METHOD

Yarkova E.A.¹, Gazizullina E.R.¹, Gerasimova E.L.¹, Ivanova A.V.¹

¹⁾ Ural Federal University

Prototypes of portable devices for determining the antioxidants content are proposed. AOC of model solutions of antioxidants were obtained using the devices. The correctness of the results was evaluated by the "introduced-found" method. The relative standard deviation does not exceed 8%.

В последние годы область применения портативных устройств для анализа различных объектов активно расширяется. Их несомненные достоинства: простота и экспрессность анализа, малые объемы анализа, а также миниатюризация оборудования, позволяют проводить анализ у постели больного и, таким образом, сделать шаг к персонализированной медицине.

Определение содержания антиоксидантов, биологически-активных молекул, позволяющих ингибировать свободно-радикальное окисление в организме человека, традиционно проводится с использованием оптических методов анализа, к недостаткам которых можно отнести высокую сложность в исследовании окрашенных образцов, использование сильных окислителей, высокую стоимость реагентов. С точки зрения создания портативных устройств наиболее перспективными являются электрохимические методы.

Ранее нами разработан потенциометрический метод с использованием системы $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ [1] в качестве модели окислителя, который в лабораторном варианте зарекомендовал себя как наиболее точный, воспроизводимый и универсальный.

В данной работе предложены некоторые варианты прототипов портативных устройств. Первый вариант представляет из себя микроячейку объемом 0,2 мл. Моделирование осуществлено с помощью системы автоматизированного проектирования «Компас-3D», печать осуществляли на 3D-принтере с технологией FDM-печати. Раствор системы и анализа вводятся в микроячейку, регистрация потенциала осуществляется с помощью электродной пары - платиновая проволока

и серебряная проволока с электрохимически осажденным хлоридом серебра. Фоновым электролитом служил 0,1М КСl. Угловым коэффициентом наклона зависимости потенциала от логарифма отношения концентраций $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ в микроячейке составлял 57 ± 1 мВ/декада.

Конструкция второй модели представлена в виде микрофлюидной ячейки сконструированной в онлайн-программе для 3d-моделирования Tinkercad. Печать микрофлюидного модуля производилась по технологии SLA LCD из фотополимерной смолы на 3d-принтере LONGER ORANGE 10. Подача системы гексацианоферратов калия и аналита осуществлена с помощью шприцевого насоса Syringe Pump. Раствор системы перемешивается с антиоксидантом и проходит по сети микрофлюидных каналов до околоэлектродного пространства, фиксируется изменение потенциала.

Правильность определения АОЕ в обоих случаях подтверждена методом «введено-найдено» на модельных растворах аскорбиновой кислоты, цистеина, глутатиона и пирогаллола. Относительное стандартное отклонение результатов измерений не превышает 8%.

Таким образом, потенциометрический метод определения содержания антиоксидантов, благодаря простоте аппаратного оформления, возможности миниатюризации измерительной ячейки и экспрессности, является достаточно перспективным с точки зрения реализации в портативном устройстве. Дальнейшие исследования будут направлены на усовершенствование конструкции разработанных прототипов с целью разработки аналитической платформы для определения антиоксидантов в различных объектах.

1. A.V. Ivanova, E.L. Gerasimova, Kh.Z. Brainina, Crit. Rev. Anal. Chem. 45, 311-322 (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Южакова А.А.¹, Салимгареев Д.Д.¹, Львов А.Е.¹, Жукова Л.В.¹,
Корсаков А.С.¹, Южаков И.В.¹, Барыкина С.Е.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: l.v.zhukova@urfu.ru

STUDY OF SILVER HALIDES PHASE DIAGRAMS FOR THE DEVELOPMENT OF NEW OPTICAL MATERIALS

Yuzhakova A.A.¹, Salimgareev D.D.¹, Lvov A.E.¹, Zhukova L.V.¹,
Korsakov A.S.¹, Yuzhakov I.V.¹, Barykina S.E.¹

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The work is devoted to the development of single crystals and optical ceramics. The materials are transparent in the visible and infrared spectral ranges, as well as in the terahertz frequency range. Optical materials are suitable for the production of lenses, windows and infrared fibers.

Развитие материаловедения в области оптики является важной и бурно развивающейся задачей. Одной из самых перспективных групп оптических материалов являются кристаллы и керамика на основе твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия. Твердые растворы обладают рядом преимуществ над индивидуальными соединениями, наиболее важными из которых являются фото- и радиационная стойкость, акустооптические свойства, что повышает их функциональность. При этом как индивидуальные соединения, так и твердые растворы на их основе являются негигроскопичными, пластичными, не обладающими эффектом спайности, что позволяет изготавливать на их основе оптические изделия, в том числе волоконные, методом экструзии и горячего прессования [1].

На сегодняшний день авторским коллективом разработаны новые оптические материалы на основе твердых растворов систем AgBr – AgI [2], AgBr – TlI и AgBr – TlBr_{0.46}I_{0.54} [3]. Кроме того, последними перспективными разработками являются оптические материалы (монокристаллы и оптическая керамика) на основе систем TlBr_{0.46}I_{0.54} – AgI и TlCl_{0.74}Br_{0.26} – AgI. Последние две системы характеризуются наличием устойчивых твердых растворов, где возможно выращивать методом Бриджмена монокристаллы. Также обнаружены области, где одновременно присутствуют твердые растворы заданного состава и химическое соединение Tl₂AgI₃ переменного состава. В данных областях применяя метод направленной кристаллизации можно синтезировать оптическую керамику. Проведенные исследования установили, что как оптическая керамика, так и

монокристаллы всех разработанных систем являются фото- и радиационно стойкими материалами, пластичными, а их диапазон спектрального пропускания составляет от 0,4 до 60,0 мкм без окон поглощения в инфракрасной области. Кроме того, оптические материалы прозрачны в терагерцовой частотной области в диапазоне от 0,05 до 10,0, что соответствует длинам волн 6000,0 – 30,0 мкм [4, 5].

Таким образом, легирование иодида и бромида одновалентного таллия твердыми растворами многокомпонентных систем позволяет расширить диапазон спектрального пропускания без окон поглощения в дальнюю ИК область. Это открывает широкие перспективы применения новых полученных материалов в инфракрасной оптике и фотонике, а также дает возможность получения новых ИК волокон на основе оптической керамики.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>

1. Жукова Л. В. Инфракрасные кристаллы. Теория и практика : учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев. — Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2015. — 215 с. — ISBN 978-5-8295-0407-6.
2. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals / D. D. Salimgareev [et. al] // Optical Materials. — 2021. — № 114. — 110903.
3. Crystals of AgBr – TlBr_{0.46}I_{0.54} system: Synthesis, structure, properties, and application / D. D. Salimgareev [et. al] // Materials Today Communications. — 2019. — № 20. — 100551.
4. The optical transparency investigation of crystals based on the AgHal – TlHal solid solutions systems in the terahertz range / L. V. Zhukova [et. al] // Optical Materials. — 2021. — № 113. — 110870
5. Перспективные терагерцовые материалы: кристаллы и керамика : учебник / Л. В. Жукова, Д. Д. Салимгареев, А. С. Корсаков, А. Е. Львов. — Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2020. — 308 с. — ISBN 978-5-8295-0742-8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ШЛИКЕРА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ 5Y-ZrO₂

Жестева А. Н.¹, Харисова К. А.¹, Жиренкина Н.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: alyona.zhesteva@bk.ru

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SLIP PREPARATION CONDITIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 5Y-ZrO₂ CERAMICS

Zhesteva A. N.¹, Kharisova K. A.¹, Zhirenkina N.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work samples of slurry based on 5Y-ZrO₂ were obtained. The influence of slip preparation conditions on the mechanical properties of ceramics was studied. It is shown that an increase in the powder content in the slip increases the density of the ceramic.

Керамические изделия на основе диоксида циркония способны удовлетворять потребности в различных высокотехнологичных областях применения благодаря повышенной прочности при высоких температурах и биосовместимости. В частности, диоксид циркония используют для получения высокоогнеупорных изделий, жаростойких эмалей, тугоплавких стекол, различных видов керамики, пигментов, твердых электролитов, катализаторов, в создании теплозащитных экранов космических аппаратов, в эндопротезировании и стоматологии, в ювелирном деле, для изготовления режущих инструментов, абразивных материалов и др [1].

Наиболее распространенными методами формования керамики на основе диоксида циркония являются прессование и шликерное литье. Шликерное литье в гипсовые формы позволяет получать объемные изделия сложной формы, свойства которых зависят от условий приготовления шликера.

Порошки частично стабилизированного иттрием диоксида циркония были получены методом контролируемого двухструйного осаждения (КДО) путем одновременного дозирования в реакционный объем растворов нитрата цирконила и иттрия и водного раствора аммиака. Полученную суспензию фильтровали, промывали аммиачной водой до $pNO_3=2$ и подвергали гидротермальной обработке. Далее гидроксид обжигали для получения диоксида циркония, который подвергали помолу в планетарной мельнице в водной среде. Соотношение Т/Ж=40 % и 50%. Полученный шликер заливали в гипсовую форму и оставляли до полного испарения влаги. Затем заготовки спекали в течение 2 часов при температуре 1400 °С. Плотность образцов измеряли методом гидростатического взвешивания.

Образец, полученный при соотношении Т/Ж=40 %, обладает меньшей относительной плотностью (81 %), чем образец, полученный при Т/Ж=50 % (89 %).

Данный факт можно объяснить снижением вязкости шликера и его устойчивости, что приводит к седиментации крупных частиц. При таком условии плотная упаковка не реализуется, плотность керамики снижается. Согласно литературным данным, рекомендовано содержание твердого от 30 до 70 мас. % на основании исследований устойчивости шликеров и влияния на плотность получаемой керамики.

1. Plasma-chemical synthesis of nanodispersed defects of yttrium and zirconium oxides from dispersed aqueous salt-organic compositions / I. Yu. Novosyolov, A. G. Karengin, I. V. Shamanin, E. S. Alyukov (2017)
2. Metal-based nanoenergetic materials: Synthesis, properties, and applications / Dilip Sundaram, Vigor Yang, Richard A. Yetter (2017)
3. Transparent ceramics of yttrium, alloyed with zirconium, by casting and sintering / Z. Yousefian, G. Dini, M. Milani, E. Arastoo (2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ФТОРИД-ИОНОВ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЦИРКОНИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВАХ

Жикина М.В.¹, Рыжов А.А.¹, Волкович В.А.¹

¹ Уральский Федеральный Университет
E-mail: a.a.ryzhov@urfu.ru

STUDY OF FLUORIDE IONS ADDITION EFFECT ON ZIRCONIUM ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR IN CHLORIDE MELTS

Zhikina M.V.¹, Ryzhov A. A.¹, Volkovich V.A.¹

¹ Ural Federal University

Electrochemical behavior of zirconium were studied in NaCl–2CsCl–ZrCl₄ and NaCl–2CsCl–K₂ZrF₆ mixtures based melts at 550–750 °C under inert atmosphere. Cyclic, square wave, differential pulse voltammetry and tungsten cathode polarization method were employed in this study.

Вопрос переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ) на сегодняшний день является одной из наиболее важных проблем в развитии концепции замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) и решении вопроса уменьшения объёмов радиоактивных отходов (РАО).

Так, цирконий является одним из основных конструкционных материалов в реакторах типа РБМК. Циркониевые сплавы, легированные ниобием, такие как Э110 (1 мас. % Nb) и Э125 (2 мас. % Nb), используются для изготовления топливных каналов и каналов стержней управления защиты (СУЗ) энергоблоков РБМК. Решение вопроса переработки этих материалов позволит уменьшить количество радиоактивных отходов, так как около 99 % от общей активности определяется активностью долгоживущего изотопа ниобия ⁹⁴Nb, в то время как его объёмная доля составляет почти лишь 2 %.

Одним из возможных способов переработки каналов является пироэлектрохимический метод с использованием расплавленных солей. В данной работе было исследовано поведение циркония в расплавах на основе эвтектической смеси хлоридов натрия и цезия NaCl–2CsCl. Цирконий же в расплав вводился в виде гексафторцирконата калия K₂ZrF₆. Концентрация гексафторцирконата калия варьировалась в диапазоне от 1 до 4 мас. %. Для исследования были использованы нестационарные методы – циклическая, дифференциально-импульсная, квадратно-волновая вольтамперометрия, а также метод поляризации твердого вольфрамового катода. Эксперименты были выполнены в диапазоне температур от 550 °C до 750 °C в атмосфере высокочистого аргона (99.998 % Ar).

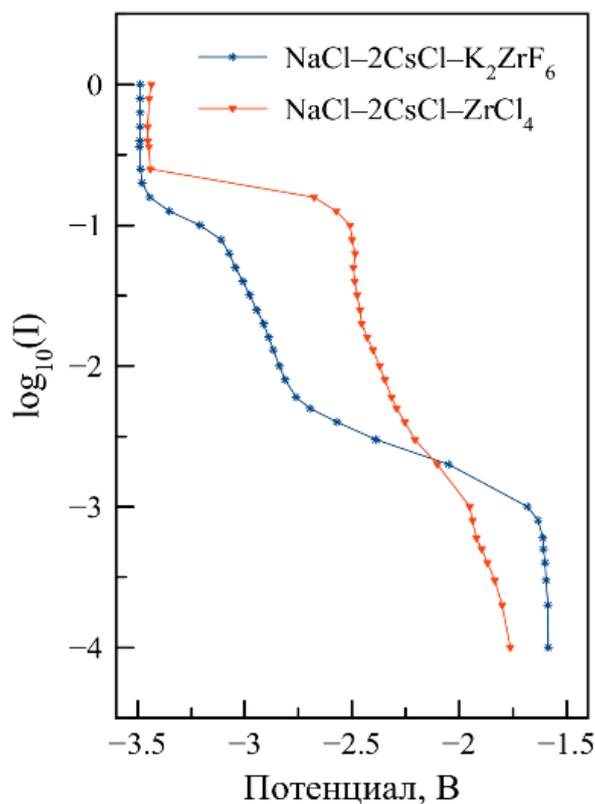


Рис. 1. Кривые поляризации твердого вольфрамового катода в расплавах NaCl-2CsCl-ZrCl_4 (1 мас. % Zr) и $\text{NaCl-2CsCl-K}_2\text{ZrF}_6$ (3 мас. %) K_2ZrF_6) при 550 °С.

На рисунке представлены кривые поляризации твердого вольфрамового катода в расплавах NaCl-2CsCl-ZrCl_4 и $\text{NaCl-2CsCl-K}_2\text{ZrF}_4$ при температуре 550 °С.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СУЛЬФАТИРОВАНИЯ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ

Жиренкина Н.В.¹, Харисова К.А.¹, Поливода Д.О.¹, Карташов В.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: nina_zhirenkina@mail.ru

INFLUENCE OF ZIRCONIUM OXIDE SULFATIZATION ON THE PROPERTIES OF CERAMICS

Zhirenkina N.V.¹, Kharisova K.A.¹, Polivoda D.O.¹, Kartashov V.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Samples of zirconium oxide were synthesized and ceramics were made on their basis. It has been studied that sulfatization of zirconium oxide leads to an increase in the density, strength, and hardness of ceramics.

Керамика на основе оксида циркония благодаря эстетическим свойствам и биосовместимости применяется в качестве зубных и ортопедических имплантов, благодаря высокой прочности, коррозионной стойкости и термостойкости используется в качестве функциональной керамики и режущего инструмента, благодаря ионной проводимости – в качестве электродов и электролитов высокотемпературных электрохимических устройств [1, 2]. Существует проблема производства порошков на основе оксида циркония для формирования керамики простыми способами, такими как холодное прессование и шликерное литье с последующим спеканием при низкой температуре. Перспективным является изучение влияния добавок анионов при синтезе порошков оксида циркония на свойства керамики.

Гидратированные оксиды циркония получали осаждением раствора оксонитрата циркония аммиаком при заданном значении рН от 5 до 8. С целью изучения добавки сульфат-ионов, в раствор оксонитрата циркония добавили серную кислоту в соотношении $Zr/SO_4=1/0,5$, далее проводили осаждение при заданном значении рН от 5 до 8. Далее полученные гидратированные оксиды подвергали фильтрации, сушке, обжигу, помолу в бисерной мельнице с добавкой 5 мас. % Y_2O_3 и 0,25 мас. % Al_2O_3 , после чего проводили распылительную сушку. Полученные порошки формовали методом холодного одноосного прессования и спекали при температуре 1350°C.

Показано, что керамика, полученная из оксидов циркония без сульфатизации, имеет низкий коэффициент линейной усадки после спекания и содержит всего 29-32% тетрагональной фазы. Высокое содержание моноклинной фазы связано с неомогенным распределением иттрия в керамике, вследствие чего керамика имеет низкую прочность на трехточечный изгиб 40-80 МПа и микротвердость

76-311 Н/мм². Низкая плотность 60-75% обусловлена низкой склонностью к спеканию порошков.

Сульфатизация оксида циркония перед спеканием приводит к резкому увеличению тетрагональной фазы оксида циркония до 89-94%. Благодаря сульфатизации, произошло изменение кислотно-основных центров на поверхности частиц порошка оксида циркония, что привело к гомогенному распределению иттрия в керамике и стабилизации тетрагональной фазы. Существенно возросли относительная плотность керамики до 91-92%, коэффициент линейной усадки до 29-30%, что говорит о высокой активности порошков к спеканию. Высокая прочность на трехточечный изгиб 400-580 МПа и микротвердость 716-1099 Н/мм² обусловлены наличием небольшого количества моноклинной фазы, которая приводит к торможению дислокаций на границах раздела фаз.

Синтез порошков оксида циркония с добавкой небольшого количества сульфат-ионов приводит к резкому уплотнению и упрочнению керамики за счет перестройки кислотно-основных центров на поверхности порошков. Вероятно, сульфат-ионы на начальной стадии спекания вытесняются на границы зерен керамики, что позволяет ограничить рост зерен и приводит к уплотнению зерен при повышении температуры за счет активации поверхностной энергии при разложении сульфатов.

Работа выполнена при поддержке совета по грантам Президента Российской Федерации СП-2022

1. M. Mohammadi, G. Becker, S. Diener, J.-M. Tulliani, N. Katsikis, P. Palmero, "Robocasting of dense zirconia parts using commercial yttria-stabilized zirconia granules and ultrafine particles. Paste preparation, printing, mechanical properties", *Ceramics International* (2021)
2. S. Sonal, B. K. Mishra, "A comprehensive review on the synthesis and performance of different zirconium-based adsorbents for the removal of various water contaminants", *Chemical Engineering Journal* (2021).
- 3.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ФТОРИДОВ ЛИТИЯ И БЕРИЛЛИЯ МЕТОДОМ АТОМНОЙ ЭМИССИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

Зотова Э.Л.¹, Лисиенко Д.Г.¹, Домбровская М.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: lina.9513.zotova@gmail.com

DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR THE ANALYSIS OF A FUEL COMPOSITION BASED ON LITHIUM AND BERYLLIUM FLUORIDES BY THE ATOMIC EMISSION METHOD WITH INDUCTIV

Zotova E.L.¹, Lisienko D.G.¹, Dombrovskaya M.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Method for determining the main and impurity elements in LiF-BeF₂ fuel composition by the ICP-AE method are developed. The optimal conditions were selected. Methods for acid digestion of samples were chosen. Using interelement correction to take into account the influence of uranium is considered.

В настоящее время стоит проблема с утилизацией радиоактивных отходов. Наибольший вклад в радиоактивность отходов вносят долгоживущие актиниды, которые можно дожигать в жидкосолевых реакторах. Один из перспективных расплавов для работы такого реактора является топливная соль на основе фторидов лития и бериллия (FLiBe). К топливной соли предъявляют жесткие требования по химическому составу. Для их соблюдения необходимо использовать методы анализа, позволяющие контролировать основной состав и содержание примесей.

Для определения основных (Li, Be, U) и примесных компонентов, которые сложны для измерения в масс-спектрометрии (Fe, K, Na, Ca, Mg), использовали метод атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой. Все измерения проводили на эмиссионном спектрометре последовательного действия Optima 2100 DV (PerkinElmer). Изучены различные способы кислотного разложения FLiBe, рекомендовано использовать растворение в полипропиленовых пробирках в сушильном шкафу при 100 °С азотной кислотой или в тефлоновых стаканах на плите при 200 °С хлорной кислотой.

Для всех определяемых элементов выбраны аналитические линии. Исследовано влияние основных операционных условий на интенсивность линий и повторяемость результатов измерений, установлены оптимальные значения концентрации анализируемых проб, расхода распыляющего газа и мощности высокочастотного генератора. Методом планирования эксперимента доказано отсутствие взаимных влияний основных элементов FLiBe. В тоже время выявлено

существенное влияние урана на интенсивность линий примесных элементов в результате спектральных интерференций. Показана возможность устранения таких влияний методом межэлементной коррекции, предусмотренных программным обеспечением спектрометра. Предложены системы градуировочных растворов, основанные на применении стандартных образцов растворов. Градуировочные зависимости для всех случаев имеют прямой пропорциональный характер. С использованием модельных растворов оценены методологические характеристики предложенной методики и пределы обнаружения примесей.

1. Francesco Carotti, Bonita Goh, Martin Shafer, Raluca O. Scarlat. Data in Brief: Datasets for elemental composition of 2LiF-BeF₂ (FLiBe) salt purified by hydro-fluorination, analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) using two digestion methods. – 2018.
2. Markus Tibi, Klaus G. Heumann. Multi-element trace determinations in pure alkaline earth fluoride powders by high-resolution ICP-MS using wet-chemical sample preparation and laser ablation. – 2003.
3. Jeffrey E. Seifried, Raluca O. Scarlat, Per F. Peterson, Ehud Greenspan. A General Approach for Determination of Acceptable FLiBe Impurity Concentrations in FHRs.

СЕКЦИЯ 5
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ BaLaIn_{1-x}Y_xO₄ (0 ≤ x ≤ 0.5)

Абакумова Е.В.¹, Галишева А.О.¹, Тарасова Н.А.¹, Анимитца И.Е.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г Екатеринбург, Россия
E-mail: e.v.abakumova@urfu.ru

SYNTHESIS AND STUDY OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF BaLaIn_{1-x}Y_xO₄ (0 ≤ x ≤ 0.5)

Abakumova E.V.¹, Galisheva A.O.¹, Tarasova N.A.¹, Animitsa I.E.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work, we synthesized samples based on BaLaInO₄ with doped Y³⁺. The samples BaLaIn_{1-x}Y_xO₄ (0 ≤ x ≤ 0.5) have the block-layered Ruddlesden-Popper structure. The transport properties of the sample were measured by varying the external parameters of the environment T, pH₂O, and pO₂.

На сегодняшний день остается актуальна концепция экологически чистой водородной энергетики в связи с глобальным потеплением, а также, загрязнением воздуха в мире. Во главе этой концепции лежит идея по созданию и введению в эксплуатацию твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ).

Использование протонных электролитов с более низкой рабочей температурой порядка 400 – 700 °С по сравнению с кислородно-ионными электролитами и низкой энергией активации протонного переноса (~0.5 эВ) может быть экономически выгодно, так как снижается себестоимость производства ТОТЭ. С точки зрения ионного транспорта из известных структур наиболее подробно описаны сложные оксиды, обладающие структурой перовскита ABO₃ или перовскитоподобной структурой. Одной из таких производных структур является блочно-слоевая структура или структура Раддлесдена-Поппера с общей формулой A_{n+1}B_nO_{3n+1}, где n число слоев октаэдров. Так, ранее [1] в соединениях с блочно-слоевой структурой на основе BaNdInO₄ была обнаружена возможность кислородно-ионного переноса. Позднее была показана возможность протонного переноса на примере донорно- [2] и акцепторно-допированных [3] соединений на основе BaLaInO₄.

В настоящей работе получены составы сложных оксидов BaLaIn_{1-x}Y_xO₄ (0 ≤ x ≤ 0.5) путем изовалентного допирования, исследована их структура, их проводящие характеристики по ионам кислорода O²⁻ и протонам H⁺. Установлено, что замещение индия на иттрий в In-подрешетке для соединения BaLaInO₄ увеличивает кислородно-ионную и протонную проводимости. В условиях влажного воздуха при температурах ниже 400 °С как недопированный, так и допированные

образцы являются протонными проводниками с долей протонного переноса ~90 – 95%.

1. Fujii K., Shiraiwa M., Esaki Y. // J. Mat. Chem. A, 3, 11985 (2015)
2. Tarasova N., Galisheva A., Animitsa I., Ionics, 26, 5075 (2020)
3. Tarasova N., Animitsa I., Galisheva A., J. Solid State Electrochem., 24, 1497 (2020)

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ AlN НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА МЛ12

Ахмадиева А.А.¹, Кахидзе Н.И.¹, Мубаракوف Р.Г.¹, Жуков И.А.¹

¹) Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: nas99.9@yandex.ru

EFFECT OF AlN NANOPARTICLES ON THE STRUCTURE, PHASE COMPOSITION, AND MECHANICAL PROPERTIES OF AZ91 ALLOY

Akhmadieva A.A.¹, Kakhidze N.I.¹, Mubarakov R.G.¹, Zhukov I.A.¹

¹) National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The paper investigates the effect of AlN nanoparticles on the structure and mechanical properties of the AZ91 magnesium alloy. The results of the study of the structure and microhardness, as well as the results of tensile and torsion tests are presented.

Современное развитие аэрокосмической и машиностроительной области выдвигает высокие требования к свойствам используемых материалов. Одними из перспективных материалов, позволяющих заменить тяжеловесные стали, является магний и его сплавы, сочетающие в себе низкую плотность и высокую удельную прочность. Повышения механических характеристик сплавов магния можно достичь при дисперсном упрочнении тугоплавкими наночастицами [1]. Целью данной работы является исследование влияния наночастиц нитрида алюминия на структуру и механические свойства магниевого сплава МЛ12.

В качестве матричного сплава был взят магниевый сплав МЛ12 (Mg 89.1–92.15 %, Al 7.5–9 %, Zn 0.2–0.8 %, Mn 0.15–0.5 % и др.), в качестве дисперсных частиц – наночастицы нитрида алюминия AlN. Наночастицы вводились в составе лигатуры, полученной методом ударно-волнового компактирования [2] из порошковой смеси Mg-5 мас. % AlN. 2000 г сплава МЛ12 расплавили и нагрели до 710 °С. Введение лигатуры сопровождалось механическим перемешиванием [3] со скоростью вращения смесителя 500 об/мин. Количество наночастиц AlN, введенных в расплав, составило 0.5 мас. %. Заливка расплава в кокиль сопровождалась обработкой вибрацией с частотой 60 Гц и амплитудой 0.5 мм. Исходный сплав без частиц изготавливали аналогичным образом.

Структура полученных материалов была исследована на сканирующем электронном микроскопе Philips SEM 515 (Томский региональный центр коллективного пользования (ТРЦКП)) и оптическом микроскопе Olympus GX71 (ТРЦКП). Измерение микротвердости проводили на твердомере Metolab 503 Vickers (ТРЦКП) при нагрузке 50 г на индентор. Эксперименты по одноосному растяжению проводили на испытательной системе Instron 3369 (ТРЦКП) со скоростью деформации 0.001 с^{-1} при комнатной температуре. Образцы полученных сплавов

подвергали механическому кручению до разрушения с одновременной регистрацией крутящего момента.

Установлено, что введение 0.5 мас. % AlN снижает средний размер зерна сплава МЛ12 с 490 до 310 мкм. Введение наночастиц не приводит к повышению микротвердости, которая составила 59 ± 6 НВ для сплава МЛ12 и 58 ± 8 НВ для сплава МЛ12–AlN. Установлено, что введение наночастиц AlN приводит к повышению прочности и пластичности магниевого сплава при растяжении со 176 до 214 МПа и с 6 до 10% соответственно. Введение наночастиц AlN также позволило увеличить предел текучести магниевого сплава МЛ12 при кручении с 63 до 73 МПа, предел прочности со 130 до 176 МПа и пластичность с 4.6 до 11.2 % соответственно.

Работа проводилась с применением оборудования Томского регионального центра коллективного пользования

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № FSWM-2020-0028

1. J. Chen, C. Bao, W. Chen, L. Zhang, and J. Liu, J. Mater. Sci. Technol. 33, Iss. 7, 668–674 (2017).
2. С. А. Ворожцов, О. Б. Кудряшова, М. И. Лернер, А. Б. Ворожцов, А. П. Хрусталёв и А. В. Первиков, Известия высших учебных заведений. Физика 60, № 7, 147–152 (2017).
3. S. Vorozhtsov, L. Minkov, V. Dammer, A. Khrustalyov, I. Zhukov, V. Promakhov and M. Khmeleva, JOM 69, Iss. 12, 2653–2657 (2017).

СИНТЕЗ И ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОПЛОТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТАННАТОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ТВЕРДОФАЗНЫМ МЕТОДОМ СИНТЕЗА

Акопян М.Т.², Звонарева И.А.^{1,2}, Медведев Д.А.^{1,2}

¹⁾ Уральский Федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: akopyan.mariam@bk.ru

A SOLID-STATE SYNTHESIS ROUTE ALLOWS THE PREPARATION OF DENSE CERAMIC MATERIALS BASED ON ALKALINE EARTH STANNATES

Akopyan M.T.², Zvonareva I.A.^{1,2}, Medvedev D.A.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of High Temperature Electrochemistry, Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Dense single-phase perovskites ceramic materials based on alkaline earth stannates BaSnO_3 , SrSnO_3 и CaSnO_3 were obtained. Scanning electron microscopy pictures were collected. A solid-state synthesis route used 0.5 wt% CuO as sintering additive is appropriate.

Материалы на основе станнатов щелочноземельных металлов имеют гибкую структуру перовскита с общей формулой $\text{A}^{2+}\text{B}^{4+}\text{O}_3$ ($\text{A} = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}$; $\text{B} = \text{Sn}$), позволяющую реализовать различные стратегии ионного замещения в А и В позициях, обеспечивая широкий спектр возможных технологических приложений [1]. Так, например, BaSnO_3 находит свое применение в качестве датчиков для определения аммиака, формальдегида, этанола и некоторых других газов, катализатора, конденсатора и электрода солнечных элементов [2], а также может быть использован как протонный проводник в твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) [3]. SrSnO_3 применяется в качестве диэлектрического материала в конденсаторах, барьерных слоев для высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), датчиков влажности. CaSnO_3 благодаря своим замечательным оптическим и электрическим свойствам, а также высокой физической и химической стабильности, используется как фотокатализатор для разложения органических соединений и производства водорода под действием УФ-излучения, компонент газовых сенсоров и термостабильных конденсаторов [4].

В рамках настоящей работы была поставлена цель получить однофазные газоплотные керамические материалы для последующих исследований их физико-химических свойств. Твердофазный метод синтеза – один из наиболее широко используемых из-за его простоты, воспроизводимости и низкой стоимости. В то же время, его серьезным недостатком являются высокие температуры спекания. Применение спекающих добавок позволяет снизить требуемую для получения

плотных материалов температуру [5]. Образцы составов BaSnO_3 , SrSnO_3 и CaSnO_3 были изготовлены путем смешивания и измельчения стехиометрического количества соответствующих карбонатов и оксидов металлов в шаровой мельнице в ацетоне и последующего синтеза при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 ч. Далее порошки были смешаны с 0.5 масс% CuO , спрессованы и спечены при $1500\text{ }^\circ\text{C}$ (BaSnO_3), $1400\text{ }^\circ\text{C}$ (SrSnO_3 и CaSnO_3).

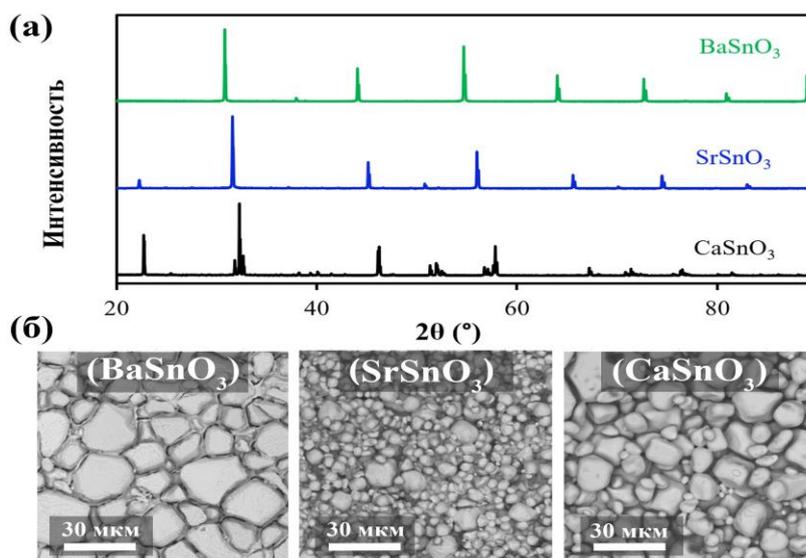


Рис. 1. Рентгенограммы (а) и микрофотографии (б) керамических образцов, полученных с использованием CuO в качестве спекающей добавки при температурах $1500\text{ }^\circ\text{C}$ (BaSnO_3), $1400\text{ }^\circ\text{C}$ (SrSnO_3 , CaSnO_3).

Полученные керамические образцы не имеют примесных фаз, что подтверждается данными рентгенофазового анализа. Плотность была рассчитана геометрически, и составила 90–95% от теоретической. Кроме того, была исследована их микроструктура методом растровой (сканирующей) электронной микроскопии.

Таким образом, твердофазный метод синтеза с применением оксида меди в качестве спекающей добавки при температурах до $1500\text{ }^\circ\text{C}$ является подходящим для получения заявленных составов, а микроструктурные данные будут использованы в рамках комплексного исследования свойств этих материалов.

1. Jibi John et al ; IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 195, 012007 (2017)
2. G. Manjunath, R. V. Vardhan, L. L. Praveen, P. Nagaraju, S. Mandal; Applied Physics A 127, Article number: 116 (2021)
3. Y. Wanga, A. Chesnaudb, E. Beviliona, G. Dezanneaua; Solid State Ionics, Volume 214, Pages 45-55 (2012)
4. A. M. Mineev, I. A. Zvonareva, D. A. Medvedev , Z. Shao; Journal of Materials Chemistry A, 9(25): 14553– 65 (2021).

RESEARCH OF PHYSICAL, OPTICAL AND RADIATION SHIELDING ABILITIES OF ZINC OXIDE (ZnO) FILLED POLYDIMETHYLSILOXANE

Aladailah M. W.¹, Tashlykov O.L.¹, Volozheninov T.P.¹, Kaskov D.O.¹, Iuzbashieva K. S.¹, Al-Abed R.², Bozeya A.², Al naimi A.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Nanotechnology, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan

E-mail: aladailehmotaz@gmail.com

Surface topography, UV-VIS visible, FTIR, and gamma radiation properties of zinc oxide (ZnO) filled poly(dimethylsiloxane) were studied in this study.

With the increasing use of radioactive materials in industry, the need for new radiation-protective materials is growing. Polymer composites can serve as a possible alternative to traditional shielding materials (lead, certain types of concrete). Modern studies have reported the use of nano- and microcomposite polymers for attenuation/absorption of high-energy radiation. Studies show that the ability of nanoparticles to absorb photons increases due to their large ratio of surface area to volume [1].

In this work, samples of polydimethylsiloxane with zinc oxide filler of various concentrations were studied. Atomic force microscopy (AFM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), ultraviolet spectroscopy, as well as theoretical calculation of radiation-protective properties using XCOM software and comparative analysis with previously studied similar polymers were carried out.

AFM images do not show significant aggregation of the nanofill or polymer exfoliation in the samples, which means that there is no formation of point holes in the material that allow gamma rays to penetrate through the samples.

Infrared spectroscopy has shown that with an increase in the concentration of ZnO, the cutoff λ shifts by a longer wavelength. Also, no new peaks were found in the samples, since the nanoparticles were physically mixed with the polymer matrix.

The results of FTIR and calculations of radiation protection indicators in XCOM are shown in Fig.1.

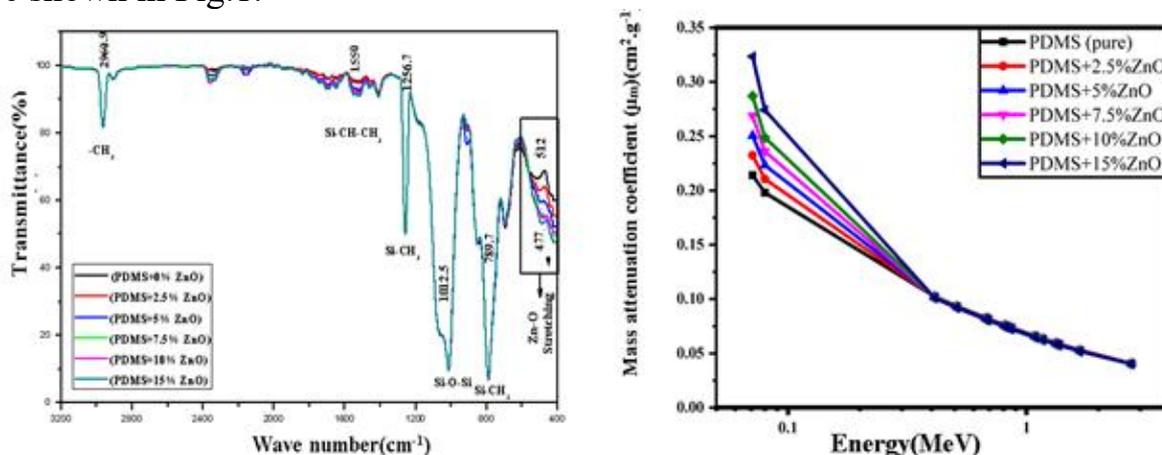


Fig.1 Results of FTIR and calculation of mass attenuation coefficient.

The study showed that polydimethylsiloxane with ZnO filler (10%) is a promising material in the field of radiation protection.

1. Xu, C., Tung, G. A., & Sun, S. (2008), Size and concentration effect of gold nanoparticles on X-ray attenuation as measured on computed tomography, *Chemistry of Materials*, 20(13), 4167-4169.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФИКСАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЯМИ ВРАЩЕНИЯ

Аникеев А.Н.¹, Алексеев И.А.²

¹) ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)", филиал в г. Златоусте, г. Златоуст, Россия

²) ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)", г. Челябинск, Россия

E-mail: alekseevia@susu.ru

NUMERICAL MODELING OF THE DISPERSED PARTICLES DISTRIBUTION AND FIXATION DURING THE CENTRIFUGAL CASTING WITH VERTICAL AND HORIZONTAL ROTATION AXES

Anikeev A.N.¹, Alekseev I.A.²

¹) Zlatoust branch of South Ural State University, Zlatoust, Russia

²) South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Numerical modeling of the dispersed particles distribution in the production billets has been carried out. Centrifugal casting machine with vertical and horizontal rotation axes has been used. Hardening particles distribution information has been obtained. Mathematical apparatus has been developed.

Функциональные композитные материалы являются важнейшим компонентом развития науки и техники. Современное видение будущего не представляется возможным без применения композитных материалов по причине их расчетных уникальных свойств. Разработка технологий получения металлических функционально-градиентных материалов – одно из наиболее перспективных и приоритетных направлений в металлургии, специализирующееся на получении материалов с уникальными свойствами, полученными за счет компенсаций сильных сторон и ликвидации недостатков взаимным сочетанием используемых компонентов. Однако, получение материалов с желаемыми свойствами не всегда возможно при использовании их в первоначальном доступном виде или без специального катализатора-связующего.

Для определения возможности взаимодействия необходимых компонентов результирующего металлического композитного материала проводится серия экспериментов, направленных на подтверждение или отрицание гипотезы о расчетном результате. Число подобных экспериментов может быть довольно велико, особенно при исследовании новейших материалов с принципиально новой конфигурацией используемых компонентов, что делает процесс исследования крайне затратным в части временных и материальных ресурсов.

Существуют методы разработки технологии получения различных материалов, основывающиеся на прогнозируемом численном моделировании с использованием электронных вычислительных машин. Разрабатываемый математический аппарат, достаточно полно описывающий исследуемый процесс,

пропускается через программный алгоритм, исполняемый на вычислительной машине, позволяет получить результаты, прогнозирующие поведение физического процесса, в матричном представлении числовых и векторных полей. Корректный анализ результатов численного моделирования позволяет получить предполагаемую пространственно-временную картину событий исследуемого процесса, которая затем может быть проверена небольшой серией валидационных экспериментов.

В рамках данной работы проведено численное моделирование распределения упрочняющих дисперсных частиц при центробежном литье на установках с вертикальной и горизонтальной осями вращения. Получены сведения о характере динамического распределения упрочняющих частиц, локализованы места скопления частиц различного геометрического размера и плотности, обнаружен градиент распределения, установлена расчетная концентрация упрочняющих частиц в продольных и поперечных сечениях получаемых цилиндрических заготовках. Разработан математический аппарат, алгоритм выполнения и расчетные сетки для исследуемого процесса. Выполнена постобработка результатов числовых полей. Моделирование проводилось в комплексах вычислительной гидродинамики Ansys Fluent и OpenFOAM.

1. Wang Q., Zhang L., Determination for the Entrapment Criterion of Non-metallic Inclusions by Solidification Front During Steel Centrifugal Continuous Casting, Metallurgical and materials transactions B, V. 47, P. 1933-1949, 2016.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СПЛАВА ХН62М В РАСПЛАВЛЕННОЙ СОЛИ НА ОСНОВЕ LiCl

Алимгулов Р.Р.¹, Абрамов А.В.¹, Трубченинова А.И.¹, Половов И.Б.¹,
Золотарев Д.А.¹, Беликов С.В.¹, Жилияков А.Ю.¹, Попкова Д.С.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: aimgulovruslan@gmail.com

INVESTIGATION OF KHN62M ALLOY CORROSION RESISTANCE IN MOLTEN SALT BASED ON LiCl

Alimgulov R.R.¹, Abramov A.V.¹, Trubcheninova A.I.¹, Polovov I.B.¹, Zolotarev
D.A.¹, Belikov S.V.¹, Zhilyakov A.Yu.¹, Popkova D.S.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Corrosion resistance of Ni-based KhN62M alloy was studied in fused LiCl-Li₂O(2%)-Li(5%) mixtures. The rate and the mechanism of the corrosion of the material studied were determined. The processes taking place during the interaction between perspective material and

Пирохимическая переработка ОЯТ в расплавленных солях рассматривается как один из наиболее перспективных способов сократить накопившиеся объемы высокоактивных отходов, так как по сравнению с водными методами имеет простое аппаратное оформление, в результате образуется меньшее количество вторичных отходов и благодаря радиационной стойкости расплавленных солей позволяет перерабатывать топливо с выдержкой 1-2 года.

Одним из ключевых стадией при высокотемпературной переработки является операция металлизации, проводимая в условиях восстановительной среды в расплаве LiCl с содержанием 2 масс.%, Li₂O и 5 масс.%, металлического лития. Для практической реализации данного процесса необходимо подобрать конструкционный материал, который будет успешно эксплуатироваться в условиях воздействия данной коррозионноактивной среды. Данный материал наряду с хорошими механическими свойствами обладает высокими эксплуатационными показателями при повышенных температурах в условиях нейтронного облучения и отличается высокой коррозионной стойкостью в хлоридных расплавах щелочных металлов.

Для данного исследования выбрали отечественный сплав на основе никеля ХН62М. Испытания проводили в атмосфере аргона при температуре 650 °С в течение 100 часов. Для изучения влияния режима деформации на коррозионную стойкость материала эксперименты проводились на образцах сортамента лист и труба. Также, была исследована зависимость коррозии материала от предварительного окисления части образцов на воздухе при температуре 650 °С.

По итогам испытаний установлены механизмы коррозии образцов сплава ХН62М. Для окисленных образцов сплавов наблюдаются пониженные значения скоростей коррозии. Причина наблюдаемых расхождений в значениях скоростей коррозии различных сплавов заключается в том, что на их поверхности при предварительном окислении образуется прочная оксидная пленка различного состава. Это может вызвать уменьшение скорости коррозии на первоначальном этапе взаимодействия образцов с расплавами, что и наблюдается при непродолжительных ампульных экспериментах (100 ч). Однако при длительной эксплуатации данные оксидные пленки не окажут значимого влияния на скорость коррозии и не будут выступать в качестве протектора, т.к. они растворимы в хлоридсодержащих расплавах.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Госкорпорации “Росатом”

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФАЗ В СИСТЕМАХ $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{-(Ba, Co)O-Fe}_2\text{O}_3$

Альхамова А.Д.¹, Волкова Н.Е.¹, Гаврилова Л.Я.¹, Черепанов В.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: aalkhamova.dim@mail.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF INDIVIDUAL PHASES IN THE $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{-(Ba, Co)O-Fe}_2\text{O}_3$ SYSTEMS

Alkhamova A.D.¹, Volkova N.E.¹, Gavrilova L.Ya.¹, Cherepanov V.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The homogeneity ranges of solid solutions $\text{EuFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$ and $\text{Ba}_{1-x}\text{Eu}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 1$) in air have been determined. Thermal expansion, electrical conductivity and Seebeck coefficient were measured within the temperature range of 25-1100°C in air.

Сложнооксидные материалы, обладающие высокой электронной и ионной проводимостью, привлекают внимание исследователей. Основное внимание уделяется оксидам с перовскитоподобной структурой на основе редкоземельных элементов и 3d-металлов. Поэтому целью настоящей работы является изучение структуры и физико-химических свойств индивидуальных фаз, образующихся в системах $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-(Co, Ba)O}$ при температуре 1100°C на воздухе.

Синтез образцов для исследования осуществляли по глицерин-нитратной технологии при температуре 1100°C на воздухе, с последующей закалкой до комнатной температуры. Фазовый состав образцов контролировался рентгенографически. Идентификацию фаз проводили при помощи картотеки ICDD и программного пакета «freak». Уточнение структурных параметров осуществляли методом полнопрофильного анализа Ритвелда в программе «FullProf 2008».

По данным рентгенофазового анализа установлено, в системе $\text{EuFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$ образуется непрерывный ряд твёрдых растворов в интервале составов $0 \leq x \leq 1$. Рентгенограммы всех образцов были описаны в рамках орторомбической ячейки (пр.гр. Pbnm). Из рентгенографических данных были рассчитаны параметры элементарной ячейки и координаты атомов. Установлено, что увеличение концентрации кобальта в образцах приводит к линейному уменьшению параметров и объема элементарной ячейки твёрдых растворов, что можно объяснить с точки зрения размерных эффектов. Концентрационные зависимости параметров и объема элементарной ячейки $\text{EuFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$ хорошо подчиняются правилу Vegarda.

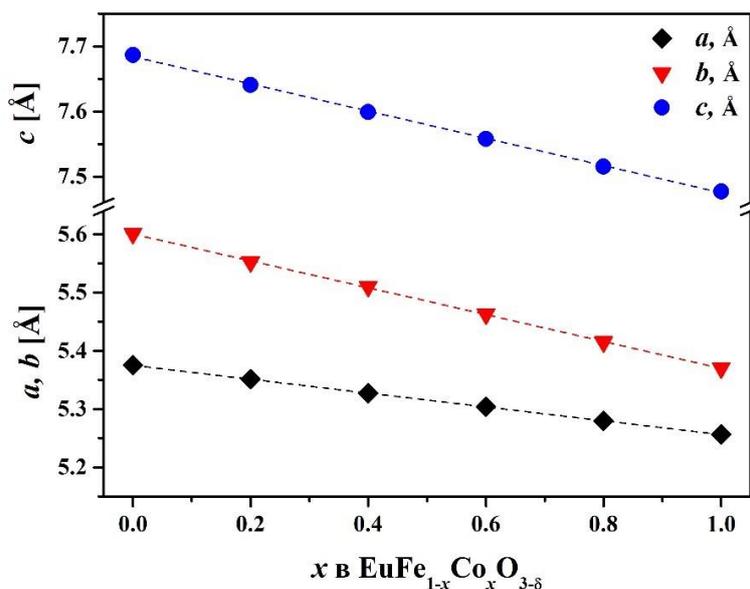


Рис. 1. Зависимости параметров элементарной ячейки оксида от состава твёрдого раствора $\text{EuFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$

По данным рентгенофазового анализа было установлено образование четырех однофазных соединений на основе феррита бария: $\text{Ba}_{0.9}\text{Eu}_{0.1}\text{FeO}_{3-\delta}$ (пр.гр. Pm-3m), $\text{Ba}_{0.1}\text{Eu}_{0.9}\text{FeO}_{3-\delta}$ (пр.гр. Pbnm), $\text{Ba}_{1.5}\text{Eu}_{0.5}\text{FeO}_4$ (пр.гр. P2₁/c) и $\text{BaEu}_{0.1}\text{Fe}_{0.9}\text{O}_{3-\delta}$ (пр.гр. Pm-3m), рассчитаны параметры элементарных ячеек данных сложных оксидов, координаты атомов и построены модели элементарных ячеек.

Содержание кислорода в образцах было определено методами высокотемпературной термогравиметрии, полного восстановления образцов в токе водорода и йодометрического титрования.

Коэффициент термического расширения (КТР) образцов был рассчитан из дилатометрических данных в интервале температур 25-1100°C. Электротранспортные свойства образцов изучали 4-х контактным методом на воздухе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования России (Соглашение № 075-15-2019-1924)

- Galayda A. P., Volkova N. E. [et al.], J. Alloys Compd., 718, 288–297 (2017).

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА УГЛЕРОДНОГО «ЗАГРЯЗНЕНИЯ» НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КЕРАМИК, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Андреев П.В.¹, Дрожилкин П.Д.², Сметанина К.Е.², Алексеева Л.С.²,

Болдин М.С.², Востоков М.М.², Мурашов А.А.²

¹) ФГБУН Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН,
г. Нижний Новгород, Россия

²) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государствен-
ный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

E-mail: andreev@phys.unn.ru

INFLUENCE OF THE EFFECT OF CARBON IMPURITY ON THE PHASE COMPOSITION OF CERAMICS PRODUCED BY THE METHOD OF ELECTRIC PULSE PLASMA SINTERING

Andreev P.V.¹, Drozhilkin P.D.², Smetanina K.E.², Alekseeva L.S.², Boldin M.S.²,
Vostokov M.M.², Murashov A.A.²

¹) G.G. Devyatykh Institute of Chemistry of High-Purity Substances RAS, Nizhny Nov-
gorod, Russia

²) N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Carbon impurity effect during spark plasma sintering due to the sample and graphite mold surfaces contact can lead to a changes in the phase composition of the sintered ceramics. The carbon influence effect on the phase composition in ceramics based on Si_3N_4 with Y_2O_3 - Al_2O_3 addition is observed.

Получение керамических образцов методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС) происходит за счет быстрого нагрева графитовой пресс-формы пропусканием через нее тока короткими импульсами большой мощности. Не исключается возможность возникновения температурного градиента в образце и перегрева вблизи поверхностей контакта пресс-формы и образца. Последнее может способствовать загрязнению углеродом с поверхности пресс-формы объема образца [1], что способно привести к существенным изменениям фазового состава и, как следствие, физико-механических свойств изготавливаемой керамики.

Исследовались керамические образцы на основе порошка Si_3N_4 (чистота: 99.6%, 90% масс. α - Si_3N_4 + 10% масс. β - Si_3N_4 , дисперсность не более 5 мкм, Alfa Aesar, Германия) с добавкой Y_2O_3 – Al_2O_3 (мольное соотношение компонентов 3:5) в количестве 3 (образец 1), 5 (образец 2), 10 (образец 3) и 15% масс. (образец 4).

Керамические образцы получены методом ЭИПС на установке Dr. Sinter model SPS-625 при одноосном давлении 70 МПа, скорость нагрева составляла 100°C/мин. до окончания усадки образца. Окончание усадки достигалось при

1900, 1890, 1710, 1630°C для образцов 1-4 соответственно. Относительная плотность всех полученных образцов превысила 95.5%.

Фазовый состав керамических образцов проводился методом рентгеновского фазового анализа на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu, Япония) ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$). Условия съемки: схема Брэгга-Брентано, “режим широкой щели” в диапазоне углов 2θ 15-70°, шаг сканирования 0.04°, время экспозиции 2 с. Между экспериментами поверхностный слой удалялся путем шлифовки образца алмазными дисками на установке Secotom-10 (Struers, Дания). При этом шлифовка проводилась таким образом, чтобы толщина удаленного слоя (не менее 60 мкм) превышала глубину падения интенсивности рентгеновского пучка в e раз (~40 мкм для Si_3N_4).

По результатам анализа была обнаружена фаза SiC в поверхностном слое полученных керамик. Причина ее образования связывается с диффузией углерода с пресс-формы в приповерхностные слои спекаемого образца. Также обнаружена фаза Si, ее наличие связывается с перегревом поверхности образца относительно зафиксированных температур, что привело к разложению Si_3N_4 ($> 1600^\circ\text{C}$) [2].

В слоях, превышающих по глубине 140 мкм, во всех образцах обнаружены только фаза $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ (образец 1 и 2), и дополнительно фаза $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ (в образцах 3, 4). Количественное отношение α/β для каждого образца является постоянным на всем диапазоне исследованных глубин, что косвенно свидетельствует о незначительной величине температурного градиента на рассматриваемых глубинах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-60084.

1. E.A. Olevsky, D.V. Dudina Field-Assisted Sintering (Springer), p. 354-379 (2018)
2. Bučevac D., Bošković S., Matović B. Kinetics of the α - β Phase Transformation in Seeded Si_3N_4 Ceramics // Science of Sintering. V. 40, P. 263-270 (2008).

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ СОСТАВА

$Ba_5In_{1.9}Ca_{0.1}Al_2ZrO_{12.95}$ И $Ba_5In_{1.9}Zr_{0.1}Al_2ZrO_{13.05}$

Андреев Р.Д.^{1,2}, Анимица И.Е.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andreev.roman@urfu.ru

ELECTRIC CONDUCTIVITY OF COMPOSITIONS

$Ba_5In_{1.9}Ca_{0.1}Al_2ZrO_{12.95}$ AND $Ba_5In_{1.9}Zr_{0.1}Al_2ZrO_{13.05}$

Andreev R.D.^{1,2}, Animitsa I.E.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of High Temperature Electrochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The aim of this work is investigation of physico-chemical properties of the hexagonal perovskite-like oxides $Ba_5In_{1.9}Ca_{0.1}Al_2ZrO_{12.95}$ and $Ba_5In_{1.9}Zr_{0.1}Al_2ZrO_{13.05}$. Compositions were obtained through the solid-state route. Structure, process of hydration and electric properties were investigated.

Ввиду увеличивающегося интереса к такой отрасли альтернативной энергетики как энергетика водородная значимой материаловедческой задачей является поиск соединений, проявляющих высокие значения протонной проводимости. Прежде всего, протонные проводники находят своё применение в качестве компонентов водородных топливных элементов; также они могут быть использованы в газовых сенсорах, водородных насосах и т.д. [1] Возникновение протонной проводимости в сложных оксидах обусловлено процессом диссоциативного поглощения молекул воды из газовой фазы. Инкорпорирование паров воды в структуру сложных оксидов возможно за счёт наличия вакантных позиций в кислородной подрешётке [2]. Среди кислород-дефицитных сложных оксидов, потенциально способных проявлять протонную проводимость, интерес представляют фазы со структурным разупорядочением кислородной подрешётки; в данных соединениях кислородная дефицитность связана с отсутствием части атомов кислорода в кристаллической решётке. Большинство работ посвящено исследованию кубических перовскитоподобных фаз; гексагональные же фазы изучены крайне мало. Недавние исследования показывают, что гексагональные фазы способны демонстрировать высокие значения протонной проводимости [3]. Таким образом, гексагональные перовскитоподобные фазы представляют интерес как перспективные протонные проводники.

Целью данной работы является физико-химическое исследование соединений состава $Ba_5In_{1.9}Ca_{0.1}Al_2ZrO_{12.95}$ и $Ba_5In_{1.9}Zr_{0.1}Al_2ZrO_{13.05}$. Подобные соединения можно рассматривать как перспективные материалы для протонообменных

мембран в топливных элементах. Соединения характеризуются весьма значительным кислородным дефицитом, что в атмосферах с высокими значениями парциальных давлений паров воды обеспечивает высокие концентрации протонов и, как следствие, высокие значения протонной проводимости.

В настоящей работе впервые были получены соединения $\text{Ba}_5\text{In}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Al}_2\text{ZrO}_{12.95}$ и $\text{Ba}_5\text{In}_{1.9}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_2\text{ZrO}_{13.05}$. Для синтеза использовался классический твердофазный метод. По результатам рентгенофазовой аттестации было установлено, что соединения характеризуются гексагональной сингонией и описываются пространственной группой $\text{P6}_3/\text{mmc}$.

Методом термогравиметрии впервые было произведено исследование процессов гидратации образцов. Установлено, что исследуемые образцы способны к обратимому диссоциативному поглощению водяных паров из газовой фазы. Методом импедансной спектроскопии впервые были исследованы транспортные свойства соединений в широком температурном диапазоне в атмосферах с различным содержанием водяных паров. Результаты импедансной спектроскопии показали, что соединения проявляют протонную проводимость в атмосферах с высоким содержанием паров воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-23-20003

1. Reijers R., Haije W., Energy research Centre of the Netherlands (2008)
2. Stotz S., Wagner C., Ber. Bunsenges Phys. Chem., V. 70, P. 781–788 (1967)
3. Murakami T., Hester J. R., Yashima M., Journal of the American Chemical Society, V. 142, P. 11653-11657 (2020).

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЕРАМИКИ $Gd_{2-x}Mg_xZr_2O_{7-\delta}$ С РАСПЛАВАМИ $LiCl-Li_2O$ И $LiF-NaF-KF$

Анохина И.А.^{1,2}, Павленко О.Б.^{1,2}, Карфидов Э.А.^{1,2}, Никитина Е.В.^{1,2},
Анимица И.Е.^{1,2}, Зайков Ю.П.^{1,2}

¹⁾ ИВТЭ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ianokhina24@gmail.com

STUDY OF THE PROCESS OF INTERACTION OF $Gd_{2-x}Mg_xZr_2O_{7-\delta}$ CERAMICS WITH $LiCl-Li_2O$ AND $LiF-NaF-KF$ MELTS

Anokhina I.A.^{1,2}, Pavlenko O.B.^{1,2}, Karfidov E.A.^{1,2}, Nikitina E.V.^{1,2},
Animitsa I.E.^{1,2}, Zaikov Yu.P.^{1,2}

¹⁾ Institute of High-Temperature Electrochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Oxygen-ion conductor gadolinium zirconate doped with magnesium is a high-density ceramic material, which shows the absence of interaction in the oxide-halide environment of lithium melts.

Различные технологические процессы, включая современные способы переработки техногенных отходов, требуют непрерывного контроля активности ионов O^{2-} . Кислородные датчики, применяемые в высокотемпературных расплавленных солевых электролитах, таких как $LiCl-Li_2O$ и $LiF-NaF-KF$ не должны взаимодействовать в процессе эксплуатации с расплавами солей, что, в свою очередь, обеспечит стабильность мониторинга показаний электрохимического устройства.

Цирконат гадолиния $Gd_2Zr_2O_7$, обладающий термостойкостью, фазовой стабильностью [1] и высокой кислород-ионной проводимостью [2, 3] один из кандидатов на использование в качестве материала кислородного датчика. Исследование [4] показало, что $Gd_2Zr_2O_7$ со структурами пирохлора и флюорита взаимодействует с расплавами $LiCl-Li_2O$, поэтому требуется модификация структуры цирконата гадолиния с целью снижения химического взаимодействия материала с расплавом.

В качестве гетеровалентного допанта А-подрешетки цирконата гадолиния был использован оксид MgO , который способен также улучшать спекаемость керамики $Gd_2Zr_2O_7$ [5]. Образцы $Gd_{2-x}Mg_xZr_2O_{7-\delta}$, где $x=0.03, 0.04, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$ были получены методом твердофазного синтеза и аттестованы методами рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной микроскопии и химического анализа. Установлена область гомогенности в исследуемой системе. Плотность полученной керамики находилась в диапазоне от 96-99 % от теоретической.

Проведены исследования взаимодействия полученных керамических образцов $Gd_{2-x}Mg_xZr_2O_{7-\delta}$ с расплавами $LiCl-Li_2O$ ($LiCl-2.5$ мас.% Li_2O , $LiCl-4$ мас.%

Li₂O, T=650 °C, τ=52 часа) и LiF-NaF-KF (46,5 мол. %LiF-11,5 мол. %NaF-42,0 мол. %KF, T=650 °C, τ=48 часов). Взаимодействие полученной керамики с расплавом 2.5 мас.% Li₂O-LiCl не происходило. Изменение плотности на 3-5% и концентрационное распределение элементов поверхностного слоя было выявлено для керамики Gd_{2-x}Mg_xZr₂O_{7-δ}, выдержанной в расплаве 4 мас.% Li₂O-LiCl. Существенная деградация поверхностного слоя, уменьшение массы на 7% и плотности на ~10% было установлено для образца Gd_{2-x}Mg_xZr₂O_{7-δ} (x=0.05), который выдерживался в расплаве LiF-NaF-KF.

1. Subramanian M. A., Aravamudan G., Rao G. V. S. Oxide pyrochlores—a review //Progress in Solid State Chemistry. – 1983. – V. 15., №. 2. – С. 55-143.
2. T. van Dijk, K.J. de Vries, A.J. Burggraaf, Electrical conductivity of fluorite and pyrochlore Ln_xZr_{1-x}O_{2-x/2} (Ln = Gd, Nd) solid solutions, Phys. Status Solidi– 1980. – V. 58. – С. 115.
3. M.P. van Dijk, K.J. de Vries, A.J. Burggraaf, Oxygen ion and mixed conductivity in compounds with the fluorite and pyrochlore structure, Solid State Ionics – 1983. – V. 9–10. – С. 913-919.
4. O.B.Pavlenko, I.A.Anokhina, A.E.Dedyukhin et al. Interaction between gadolinium zirconate and LiCl–Li₂O // Ceramics International. – 2021. – V. 47., I. 14. – С. 20151-20160.
5. Duan J. et al. Effect of MgO doping on densification and growth behavior of Gd₂Zr₂O₇ ceramics by microwave sintering process // Applied Physics A. – 2019. – V. 125., №. 8.– С. 556.

MACHINE LEARNING INTERATOMIC POTENTIAL FOR CoCrFeMnNi IN WIDE PRESSURE-TEMPERATURE RANGE

Balyakin I.A.^{1,2}, Rempel A.A.^{1,2}

¹) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

²) “NANOTECH” Centre, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation
E-mail: i.a.balyakin@gmail.com

A machine learning interatomic potential (MLIP) was parametrized for CoCrFeMnNi high-entropy alloy using DFT data as dataset. Obtained MLIP allows to reproduce DFT energies and forces with small error. Experimental pressure dependence of lattice parameter is reproduced well by presented MLIP.

Development of interatomic potentials for atomistic simulations is a relevant task of computational materials science. Over the past hundred years a huge number of potentials based on physical background were developed for different materials. However, there are some classes of materials, for which developing of interatomic potentials in a traditional way is very complicated task. An example of such materials is HEAs (high-entropy alloys): multi-component metallic materials with near-equiatomic concentration of elements, in which quite significant interest has been shown over the past 2 decades [1,2]. Luckily, around the same time, a new approach for developing interatomic potentials was discovered. This new approach is based on machine learning technique and thus potentials developed via this approach are called MLIPs (machine learning interatomic potentials) [3]. However, it should be mentioned that machine learning could be used for developing traditional potentials (Lennard-Jones, Tersoff, Embedded Atom Models etc.), but the thing which is principally new for MLIPs is their functional form – it is now almost completely arbitrary and must only to satisfy to three types of symmetry: rotational, translational and permutational. Satisfying of these requirements could be achieved by using local structure descriptors which map local surrounding of atom to the set of numbers which are invariant under rotation and translation of the system and permutation of two atoms of the same element. After that this set of numbers could be used in a construction of PES (potential energy surface) of the system.

In present work well-studied CoCrFeMnNi HEA was chosen as a model material. For this system MLIP in a form of a set of artificial neural networks was parametrized using DeePMD software. The active learning procedure implemented in DPGEN software was used. Active learning implies that training dataset was iteratively increased accordingly to special rules which allows to obtain representative dataset. Data frames (configurations, energies, forces, stresses) were obtained using VASP (Vienna Ab initio Simulation Package) [4]. Obtained potential allows to describe equiatomic CoCrFeMnNi material with almost DFT accuracy in FCC, HCP and liquid phases in range of temperatures up to 2800 K and pressures up to 50 GPa. For verification of obtained MLIP we compare predicted pressure-lattice parameter dependence for FCC

phase with experimental one [5] – figure 1. As it observed from the figure behavior of lattice parameter in MD simulations is very similar to experimental one. The difference of an absolute values of lattice parameter between experiment and simulation is about 2-3% which is typical for DFT simulations.

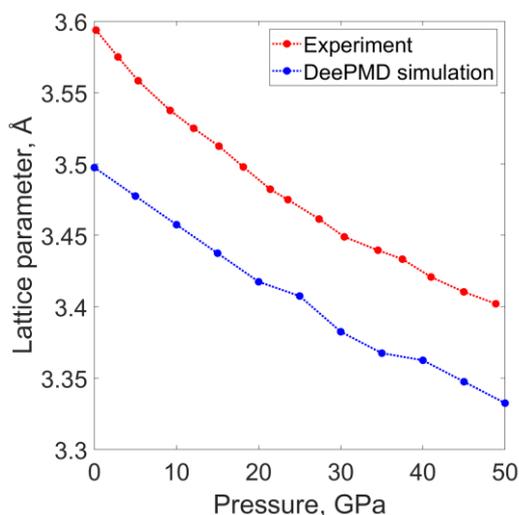


Fig. 1 – Comparison of experimental results [5] and presented simulation for pressure dependence of lattice parameter

Computations were performed on the Uran supercomputer at the IMM UB RAS.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20-33-90171.

1. Cantor B., Chang I.T.H., Knight P., Vincent A.J.B., Mater. Sci. Eng. A, 375, P. 213–218, (2004).
2. Yeh J.W., Chen S.K., Gan J.Y., Lin S.J., Chin T.S., Shun T.T., Tsau C.H., Chang S.Y., Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall., 35 A, P. 2533–2536, (2004)
3. Behler J., Parrinello M. Phys. Rev. Lett., 98, P. 146401, (2007)
4. G. Kresse, J. Furthmüller, Comp. Mat. Sci., 6, P. 15-50, (1996)
5. Ahmad A.S., Su Y., Liu S.Y., Ståhl K., Wu Y.D., Hui X.D., Ruett U., Gutowski O., Glazyrin K., Liermann H.P., Franz H., Wang H., Wang X.D., Cao Q.P., Zhang D.X., Jiang J.Z. , J. Appl. Phys., 121, P. 235901, (2017).

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР ZnO/h-BN

Барилюк Д. В.¹, Конопацкий А. С.¹, Калинина В. В.¹, Штанский Д. В.¹

¹) Национальный исследовательский технологический университет МИСиС,
г. Москва, Россия
E-mail: danybary@mail.ru

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR THE SYNTHESIS OF HETTEROGENEOUS STRUCTURES ZnO/h-BN

Barilyuk D. V.¹, Konopatsky A.S.¹, Kalinina V. V.¹, Shtansky D.V.¹

¹) National university of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

Heterogeneous h-BN/ZnO structures were obtained by alkaline hydrolysis and adsorption methods. The SEM results confirm the presence of regularly distributed ZnO nanoparticles on the h-BN surface.

На сегодняшний день в косметической промышленности четко вырисовывается тренд на отказ от любых потенциально опасных для здоровья и окружающей среды компонентов. Однако, материалов для их эффективной замены пока не существует, а удаление таких веществ из состава приводит к неприемлемому снижению функциональных свойств косметики. Так, перспективной заменой органическим УФ-фильтрам, которые могут нанести вред эндокринной системе организма и со временем теряют свои защитные свойства, могут стать неорганические материалы типа оксида цинка [1-3]. Однако, при достижении определённой концентрации наночастицы оксида цинка начинают образовывать агломераты, обладающие белящим эффектом, тем самым сильно снижая органолептические свойства косметики [4]. Перспективным методом предотвращения агрегации и образования агломератов наночастиц является их синтез на подложке из гексагонального нитрида бора [5]. Нитрид бора давно используется в косметике в качестве модификатора скольжения, полностью биосовместим и может быть относительно легко синтезирован в различных формах [6, 7]. Таким образом, целью данной работы является разработка методики синтеза гетерогенных структур ZnO/h-BN и изучение их структуры.

Гетерогенные структуры ZnO/h-BN были получены методом щелочного гидролиза ацетата цинка в изопропиловом спирте с последующей адсорбцией наночастиц ZnO на поверхность h-BN. 30 мг NaOH были растворены в 15 мл изопропилового спирта и охлаждены до 0°C. 100 мг (CH₃COO)₂Zn×2H₂O были растворены в 25 мл изопропилового спирта, а затем были добавлены к 125 мл охлажденного до 0°C изопропилового спирта. К полученному раствору медленно, при тщательном перемешивании, добавили охлажденный раствор NaOH и поставили в термостат, нагретый до 65°C. По прошествии 5 минут в раствор было добавлено

100 мг порошка гексагонального нитрида бора. Смесь была охлаждена в термостате до 5°C при постоянном перемешивании в течение часа. Полученные гетерогенные структуры были отфильтрованы и промыты изопропиловым спиртом.

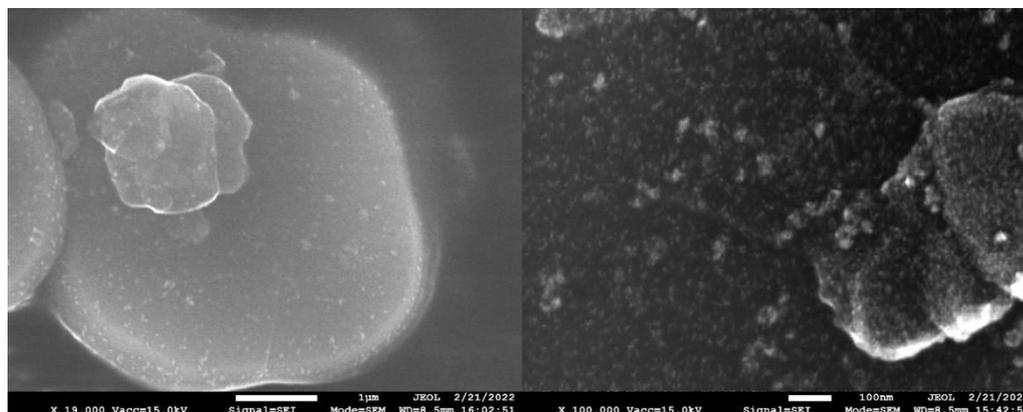


Рис. 1. Наночастицы ZnO на подложке h-BN.

Результаты СЭМ демонстрируют регулярное распределение отдельных наночастиц ZnO на поверхности частиц гексагонального нитрида бора. Таким образом, данный метод синтеза гетерогенных структур ZnO/h-BN позволяет предотвращать агломерацию наночастиц ZnO, а полученные материалы являются перспективной альтернативой органическим УФ-фильтрам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (соглашение № 20-79-10286).

1. Egambaram, O.P.; Kesavan Pillai, S.; Ray, S.S. Materials Science Challenges in Skin UV Protection: A Review. *Photochem. Photobiol.* 2020, 96, 779–797, doi:10.1111/php.13208.
2. Wang, J.; Pan, L.; Wu, S.; Lu, L.; Xu, Y.; Zhu, Y.; Guo, M.; Zhuang, S. Recent Advances on Endocrine Disrupting Effects of UV Filters. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, 782, doi:10.3390/ijerph13080782.
3. Lorigo, M.; Mariana, M.; Cairrao, E. Photoprotection of ultraviolet-B filters: Updated review of endocrine disrupting properties. *Steroids* 2018, 131, 46–58, doi:10.1016/j.steroids.2018.01.006.
4. Schneider, S.L.; Lim, H.W. A review of inorganic UV filters zinc oxide and titanium dioxide. *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* 2019, 35, 442–446, doi:10.1111/phpp.12439.
5. Konopatsky, A.S.; Firestein, K.L.; Leybo, D. V.; Sukhanova, E. V.; Popov, Z.I.; Fang, X.; Manakhov, A.M.; Kovalskii, A.M.; Matveev, A.T.; Shtansky, D. V.; et al. Structural evolution of Ag/BN hybrids via a polyol-assisted fabrication process and their catalytic activity in CO oxidation. *Catal. Sci. Technol.* 2019, 9, 6460–6470, doi:10.1039/C9CY01464K.

ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАСТЫ ДЛЯ ПАЙКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ВОЛНОВОДОВ ВЫСОКИХ ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ

Базан Д.А.^{1,2}, Горохов Ю.В.¹, Усков И.В.¹, Божко Д.Н.¹, Иванов А.В.²

¹⁾ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

²⁾ АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», ЗАТО г. Железногорск, Россия

E-mail: dimabazan2424@mail.ru

OBTAINING A LOW-TEMPERATURE PASTE FOR SOLDERING WAVEGUIDE PATHS

Bazan D.A.^{1,2}, Gorokhov Y.V.¹, Uskov I.V.¹, Bozhko D.N.¹, Ivanov A.V.²

¹⁾ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

²⁾ JSC "Information Satellite Systems" named after Academician M.F. Reshetnev", BUT Zheleznogorsk, Russia.

The purpose of this work was to study technological regimes and the development on the basis of computer simulation of technological equipment for dispersing powders of soldering aluminum alloys.

Известно, что главным фактором, определяющим дисперсность распыления частиц металлического порошка, является энергия дутья, регулируют которую, как правило, скоростью подачи газа - энергоносителя на струю расплава.

Целью настоящей работы являлось исследование технологических режимов и разработка на основе компьютерного моделирования технологической оснастки для диспергирования порошков припойных алюминиевых сплавов. Для ее достижения рассмотрены технические и технологические особенности схемы получения порошков из алюминиевых сплавов, предназначенных для пайки волноводов. Проведено компьютерное исследование в пакете инженерного анализа Solidworks Flow Simulation влияния геометрии конструктивных элементов оснастки на параметры диспергирования расплава АК12Ц10. При этом было принято, что скорость струи газа - аргона при температуре $T_{г}=20$ °С в месте соударения с расплавом должна быть максимальной при прочих равных условиях (начальное давление, температура газа и расплава). Установлены зависимости, необходимые и достаточные для проектирования конструктивных элементов оборудования и технологических режимов, обеспечивающих реализацию условий для стабильного протекания процесса диспергирования расплава металла при получении заданной величины фракции порошка – 70 мкм. на лабораторной установке. Приведено описание лабораторной установки для диспергирования расплава АК12Ц10, на которой была изготовлена опытная партия порошка фракции – 70 мкм массой 400 г и передана предприятию АО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева для промышленных испытаний при пайке прецизионных алюминиевых волноводов.

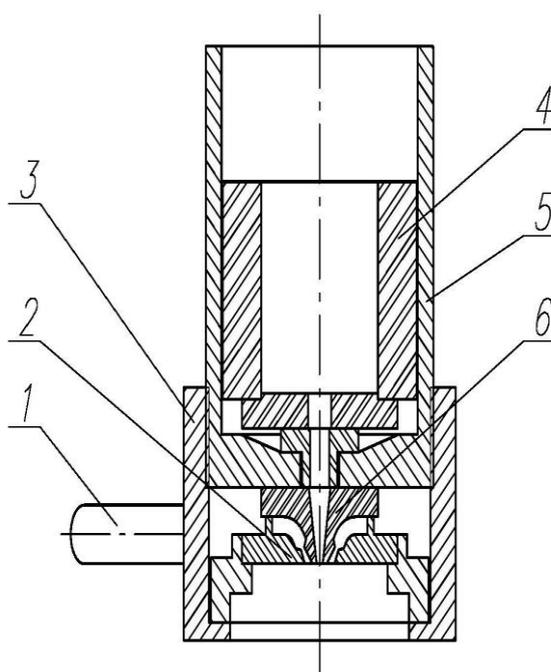


Рис. 1 – Диспергатор в разрезе: 1 – патрубок; 2 – сопло; 3 – корпус; 4 – футеровка; 5 – стакан; 6 –золотник

1. Кургузов, Н. В. Совершенствование технологии пайки конструкций из алюминиевых сплавов / Обмен производственно-техническим опытом. — 1987. — Вып. 5.
2. Балашов, В. М., Технология производства антенн и устройств СВЧ / В. М. Балашов, Е.Г. Семенова, Н.А.Трефилов — М.: Изд-во МПИ «Мир книги». - 1992.
3. Сторчай Е. И. Флюсовая пайка алюминия. — М.: Metallurgia, 1980
4. Усков И.В., Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Губанова М.И., Лесив Е.М. Разработка инструментальной оснастки и режимов диспергирования порошков припойных алюминиевых сплавов /Металлург. 2018. № 6. С. 96-99.
5. Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В. и др. Применение процесса совмещенного литья-прессования при изготовлении алюминиевой проволоки для пайки волноводов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2016. № 6. С. 65–70.

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕНИЯ НА СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ВНЕЗЕМНОМ ВЕЩЕСТВЕ

Бегунова А.С.¹, Яковлев Г.А.¹, Камалов Р.В.¹, Гроховский В.И.¹

¹) Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: n.s.begun@gmail.com

INFLUENCE OF OXIDATION ON THE SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES ON THE EXTRATERRESTRIAL MATTER

Begunova A.S.¹, Yakovlev G.A.¹, Kamalov R.V.¹, Grokhovsky V.I.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The synthesis was carried out by the CVD method with methanol as a precursor.

The hematite nanowires do not affect the nucleation of CNTs, but preliminary oxidation of sample leads to formation of CNTs. The presence of a fine-grained two-phase substrate (plessite) has greater effect on synthesis.

В предыдущих работах были синтезированы углеродные нанотрубки (УНТ) на поверхности сплавов Fe-Ni внеземного происхождения. Было выяснено, что синтез УНТ сопровождается окислением образцов и образованием гематитовых нанопроволок (НП) [1]. Вопрос получения углеродных наноматериалов с использованием вещества внеземного происхождения позволяет экспериментально определить условия образования некоторых углеродных структур, существующих в метеоритах, таких как клифтонит, наноалмазы и т.д. С другой стороны, использование уникального метеоритного вещества, которое было сформировано в экстремальных условиях [2] позволяет опробовать новые способы получения наноматериалов.

В экспериментах были использованы образцы металлической части палласита Сеймчан. Области анализа представляли собой сплавы Fe-Ni с различным структурным составом и соотношением Fe/Ni. Образцы были подготовлены по стандартной методике приготовления металлографических шлифов, затем потравлены в 2% нитале в течение 5 минут. Один образец был предварительно окислен при температуре 600°C в течении 10 мин. при давлении воздуха 10 кПа. Для синтеза УНТ в качестве прекурсора был использован метанол, так как его молекулы были найдены в космосе и ситуация их встречи с железными частицами или телами возможна [3]. Синтез проводили на CVDомна, в реакционную зону которой подавалась парогазовая смесь метанола и воздуха. Процесс проводился при температуре 550°C и давлении 15 кПа в течение 10 минут. Охлаждение образцов проводилось в разряженной атмосфере воздуха. Они были исследованы до и после синтеза методами оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии.

В результате синтеза на образце, который не был подвергнут предварительному окислению, не было получено УНТ. В результате окисления на поверхности α -фазы с содержанием Ni 7%, на границе γ -фазы с содержанием Ni ~40% и α -фазы были получены гематитовые НП со средним диаметром 20 нм. На плессите, который представляет собой субмикронную смесь α и γ фаз не было получено НП, однако поверхность была значительно деформирована в результате термического травления. На окисленных образцах затем были синтезированы многослойные УНТ, но только в области плессита. Образцы до и после синтеза УНТ показаны на рисунке 1.

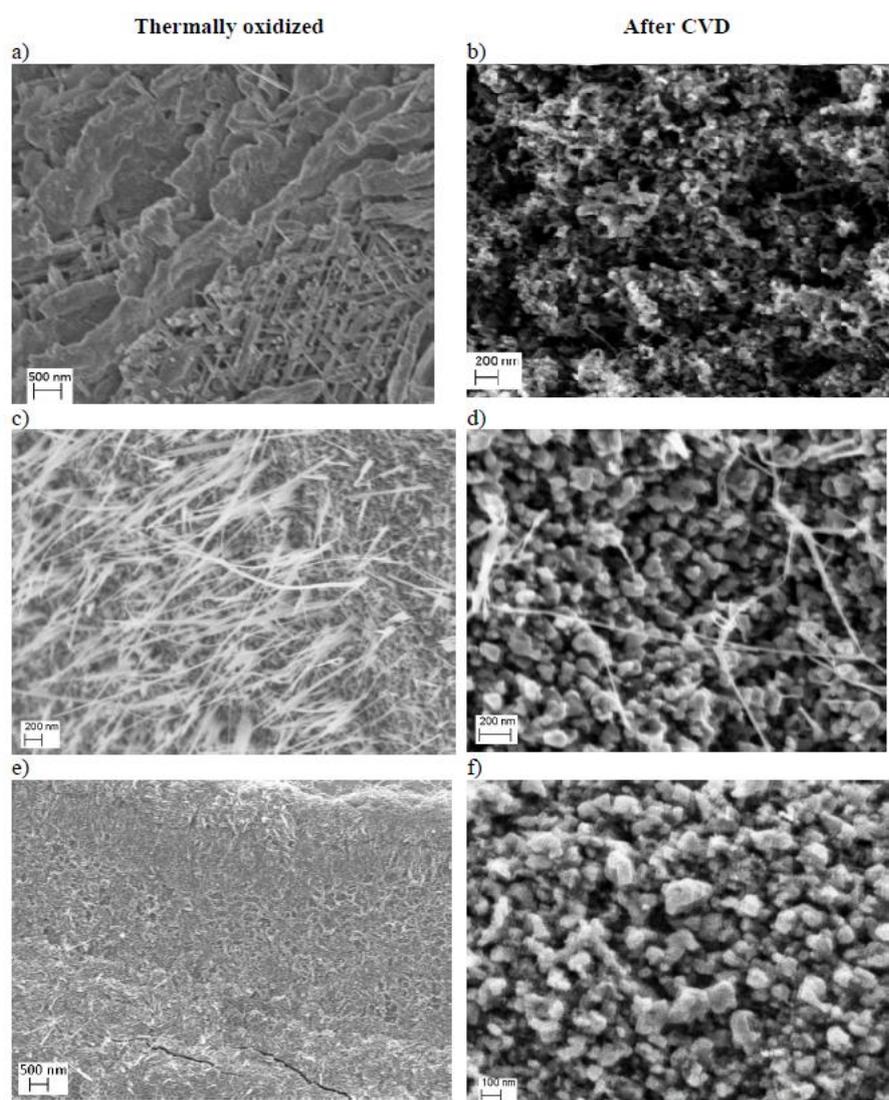


Рис. 1. СЭМ изображение поверхности образца после термического окисления (а, с, е) и последующего CVD (b, d, f): а) термически окисленный плессит; б) УНТ на поверхности плессита; с) гематитовые НП на камасите; д) аморфный углерод на камасите; е) тэнит; ф) аморфный углерод на тэните

Следует отметить, что при синтезе УНТ из метанола их аспектное отношение оказалось меньшим, чем при синтезе из этанола [1]. Диаметр УНТ оказался

равным 50 нм, они были сильно искривлены, их длина оказалась небольшой. У нас нет достоверных оснований полагать, что мы получили именно трубки, а не углеродное нановолокно, так как нет значительных отличий в рамановских спектрах нановолокна и МУНТ, а аспектное отношение полученных структур близко к нановолокну [4]. Выяснено, что образование УНТ никак не связано с наличием или отсутствием гематитовых НП, они не являются катализаторами роста, однако, окисление повышает количество ямок травления, позволяет получить более развитую структуру, что ведёт к образованию углеродных наноматериалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90243.

1. Begunova A.S. [et al.], Journal of Raman Spectroscopy, early view (2021)
2. Goldstein J.I. [et al.], Geochimica et Cosmochimica Acta, V. 140, P. 297-320 (2014)
3. Bockelee-Morvan D. [et al.], Astronomy and Astrophysics, V. 287, P. 647-665 (1994)
4. Mishakov I. V. [et al.], Catalysis Today, V. 288-289, P. 312-322 (2022)

ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ В СИСТЕМЕ $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{--BaO--CoO}$

Беляева М.В.¹, Базуева М.В.¹, Волкова Н.Е.¹, Гаврилова Л.Я.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: beljaeva.mary@gmail.com

PHASE EQUILIBRIA IN THE $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{--BaO--CoO}$ SYSTEM

Belyaeva M.V.¹, Bazueva M.V.¹, Volkova N.E.¹, Gavrilova L.Ya.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A series of samples with different ratios of metal components was obtained using glycerin-nitrate technology at a 1100°C. The primary triangulation of the phase diagram of the $\frac{1}{2}$ $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{--BaO--CoO}$ system at 1100°C in air has been constructed.

В настоящее время сложные оксиды с перовскитоподобной структурой, обладающие высокой электронной и ионной проводимостью, находят широкое применение в качестве компонентов топливных элементов, кислородных мембран, катализаторов, газовых сенсоров. В связи с этим целью данной работы является изучение фазовых равновесий и установление кристаллической структуры индивидуальных фаз в системе $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{--BaO--CoO}$ при $T=1100^\circ\text{C}$ на воздухе.

Образцы для исследования были получены по глицерин-нитратной технологии. Отжиг прекурсоров проводили при 1100°C на воздухе с последующей закалкой на комнатную температуру. Фазовый состав был охарактеризован методом рентгенофазового анализа.

В квазибинарных системах Pr-Ba-O и Ba-Co-O было подтверждено образование двух индивидуальных фаз составов $\text{PrBaO}_{2.5}$ и BaCoO_3 соответственно. Из рентгенографических данных установлено, что оба сложных оксида кристаллизуются в орторомбической ячейке пространственной группы $Pbnm$. Из РФА установлено, что образец $\text{Ba}_{1.5}\text{Pr}_{0.5}\text{CoO}_4$ содержит две фазы: BaCoO_3 с параметрами $a = 6.1765(4)\text{Å}$, $b = 6.2118(4)\text{Å}$, $c = 8.7196(6)\text{Å}$ и кубический $\text{Ba}_{1.5}\text{Pr}_{0.5}\text{CoO}_4$ (пр.гр. $Pm\bar{3}m$) с размером ячейки $a = 4.1089(2)\text{Å}$.

Согласно результатам РФА образцов в системе $\frac{1}{2}\text{Pr}_2\text{O}_3\text{--BaO--CoO}$ при 1100°C на воздухе было установлено, что образуются три однофазных соединения: $\text{PrBaCo}_2\text{O}_{6-\delta}$ со структурой двойного перовскита [1], $\text{Pr}_{2.8}\text{Ba}_{1.2}\text{Co}_3\text{O}_{10-\delta}$, относящиеся к гомологическому ряду Раддлесдена-Поппера и соединение неустановленного состава.

По результатам РФА всех полученных образцов, закаленных на комнатную температуру, была проведена первичная триангуляция фазовой диаграммы квазитройной системы $\frac{1}{2}\text{Pr}_2\text{O}_3 - \text{BaO} - \text{CoO}$ при 1100 °C на воздухе, при этом диаграмма была разбита на 9 фазовых полей.

1. A.L. Sednev-Lugovets, V.V. Sereda, D.A. Malyshkin, D.S. Tsvetkov, I.L. Ivanov, A. Yu. Zuev, A. Maignan Defect chemistry and high-temperature thermodynamics of $\text{PrBaCo}_2\text{O}_{6-\delta}$ // The Journal of Chemical Thermodynamics. 2021. V. 161. Art. № 106523.

СИНТЕЗ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ СТРОНЦИЙ ЗАМЕЩЕННЫХ СЛОИСТЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$

Черемисина П.В.¹, Галишева А.О.^{1,2}, Тарасова Н.А.^{1,2}, Анимитца И.Е.¹,
Кремеш Х.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г.Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г.Екатеринбург, Россия
E-mail: polinatcher@gmail.com

SYNTHESIS AND TRANSPORT PROPERTIES OF NEW STRONTIUM-SUBSTITUTED LAYERED PEROVSKITES BASED ON $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$

Cheremisina P.V.¹, Galisheva A.O.^{1,2}, Tarasova N.A.^{1,2}, Animitsa I.E.¹,
Kreimesh H.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of High Temperature Electrochemistry, Yekaterinburg, Russia

The complex oxide was synthesized using the solid state method. The possibility of water uptake was proved by thermogravimetry measurements. The conductivity was measured at T and pH_2O variation.

На сегодняшний день проблема создания высокоэффективных, долговечных и малозатратных устройств особенно актуальна, так как существует необходимость перехода на чистые и возобновляемые источники энергии. В связи с этим активно развивается такая отрасль, как водородная энергетика. Она предполагает создание различных электрохимических устройств, в частности, твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). В качестве электролитов в топливных элементах выступают сложные оксиды, обладающие высокими значениями ионной (O^{2-} , H^+) проводимости. Однако, использование протонных проводников в ТОТЭ по сравнению с кислородно-ионными проводниками имеет ряд преимуществ, таких как снижение рабочей температуры и повышение эффективности ТОТЭ.

Большинство протонпроводящих сложных оксидов характеризуются структурой перовскита ABO_3 или производной от нее. В таких структурах перенос протона обеспечивается диссоциативным поглощением воды из газовой фазы в кристаллическую решетку твердого оксида.

В структуре слоистых перовскитов $\text{AA}'\text{BO}_4$ чередование слоев соли $[\text{AO}]$ и слоев перовскита $[\text{A}'\text{BO}_3]$ приводит к появлению в структуре межслоевого пространства, которое обеспечивает возможность внедрения значимого количества протонсодержащих частиц при гидратации [1]. Этот фактор делает слоистые сложные оксиды со структурой Раддлесдена-Поппера перспективными с точки зрения изучения их в качестве протонных проводников.

Для сложных оксидов данной структуры ранее было показано, что при введении допанта увеличивается межслоевое расстояние, что приводит к росту

водопоглощения, что, в свою очередь, увеличивает концентрацию протонов в структуре. Другими словами, количество протонных носителей тока в структуре увеличивается с увеличением содержания концентрации допанта.

В настоящей работе изучена возможность проведения акцепторного допирования фазы $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$ в подрешетке La на атомы Sr, а также влияние допирования на величину протонной проводимости.

1. Tarasova N., Animitsa I., *Materials*, 15, 114 (2022).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Рыжков М. А.¹, Данилов С. В.¹, Урцев Н. В.², Лобанов М. Л.^{1,3}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Исследовательско-технологический центр «Аусферр», г. Магнитогорск, Россия

³) Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН,
Екатеринбург, Россия
E-mail: s.v.danilov@bk.ru

THE METHOD FOR DETERMINING THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF HSLA PIPELINE STEEL

Ryzhkov M. A.¹, Danilov S. V.¹, Urtsev N. V.², Lobanov M. L.^{1,3}

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Ausferr Research and Technology Center, Magnitogorsk, Russia

³) Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia

The method for determining the thermophysical properties of HSLA pipeline steel with different structural states was developed.

Технология контролируемой прокатки с ускоренным управляемым охлаждением (ТМСР) позволяет производить толстый лист, в том числе для изготовления магистральных нефте- и газопроводов, с уникальным сочетанием прочности, вязкости, хладостойкости и свариваемости [1]. При ТМСР осуществляются деформации полуфабриката, а также его нагревы и охлаждения, при которых реализуются фазовые и структурные превращения. Управление процессом ТМСР для получения в изделии заданных структуры и механических свойств требуют достаточно точной цифровой информации о теплоемкостях основных фаз и величинах тепловых эффектов превращений. Данная работа посвящена разработке методики измерения теплофизических свойств в малоуглеродистой низколегированной стали, характеризующейся различными структурными состояниями.

Исследование проводилась на образцах стали типа 06Г2МБ. Образцы, вырезались из центральной области листов, после промышленной ТМСР. Для образцов при нагреве и охлаждении проводилась калориметрическое и дилатометрическое исследования, а также металлографический анализ исходного и конечного состояний.

Оборудование и условия эксперимента соответствовали рекомендациям стандарта ASTM E1269-11 [2] для калориметрического и стандарта ASTM A1033-18 [3] для дилатометрического исследований. Температурный интервал исследований 20...1200 °С. Металлографический анализ исходной микроструктуры с направления поперечного направлению прокатки (ПН), а также микроструктуры

после реализованных циклов нагрев-охлаждение (также с ПН) осуществлялся в светлом поле с помощью оптического микроскопа Nikon Epihot 200.

Разработанная методика измерения теплофизических свойств стали, характеризующейся различными структурными состояниями, состоит в определении теплоемкости методом соотношений при нагреве исследуемых образцов со скоростью 20 °С/мин. Для уточнения получаемых при калориметрии данных применялся дилатометрический анализ, который проводился в идентичных условиях нагрева. Обработка результатов калориметрического анализа проводилась по данным, полученным в результате повторного нагрева образцов. Повторный нагрев микроструктуры позволил уменьшить влияние значительного количества тепловых эффектов структурных превращений на кривых теплоемкости, затрудняющих анализ тепловых эффектов фазовых превращений.

При определении величины тепловых эффектов фазовых превращений по кривым теплоемкости большое значение имеет вид и форма базовой линии. Для её построения теплоемкости α - и γ - фаз были описаны линейными уравнениями и экстраполированы. В интервале температур $A_{c1} \dots A_{c3}$ изменение базовой линии теплоемкости рассчитывалась по правилу аддитивности – общая теплоемкость складывалась из теплоемкости фазовых составляющих, отнесенной к их доле. Для определения доли образовавшихся фаз использовались дилатометрические данные. В результате были рассчитаны тепловые эффекты фазовых превращений при нагреве исследуемой стали. Они составили: 33,9 Дж/г для магнитного превращения, 16,0 Дж/г для $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации (проект СП-3775.2021.1).

1. Структура и свойства сталей для магистральных трубопроводов / И. Ю. Пышминцев, М. А. Смирнов – Екатеринбург: ЦМЦ УПИ, 2019. – 242 с.
2. ASTM E1269-11. Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry. ASTM International, 2018. 6 p.
3. ASTM A1033-18. Standard Practice for Quantitative Measurement and Reporting of Hypoeutectoid Carbon and Low-Alloy Steel Phase Transformations. ASTM International, 2018. 14 p.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОСФОРЗАМЕЩЕННЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ НА ОСНОВЕ ЦИРКОНАТА КАЛЬЦИЯ

Давлетбаев К.¹, Галишева А.О.¹, Тарасова Н.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: k.davletbaeff@yandex.ru

ELECTRICAL PROPERTIES OF PHOSPHORUS DOPED COMPLEX OXIDES BASED ON CALCIUM ZIRCONATE

Davletbaev K.¹, Galisheva A.O.¹, Tarasova N.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The complex oxides were synthesized using the solid state method. The possibility of water uptake was proved by thermogravimetry measurements. The conductivity was measured at T and pH₂O variation.

Из-за мировой экологической и экономической ситуации к развитию водородной энергетики приковано большое внимание, вследствие чего перед исследователями ставится задача нахождения наиболее эффективных и устойчивых материалов, которые впоследствии можно будет применять в качестве твердого электролита в твердооксидных топливных элементах. В развитии данного направления наиболее перспективными являются электролиты, представляющие собой сложные оксиды со структурой перовскита и обладающие протонной проводимостью. Как правило, для таких соединения оптимизация их свойств достигается путем различного рода замещений. Метод оксоанионного допирования ранее положительно зарекомендовал себя при модификации структуры и свойств перовскитоподобных соединений [1]. В настоящей работе данный метод применен для получения фосфорзамещенных сложных оксидов на основе цирконата кальция.

Исследуемые образцы получали с помощью твердофазного синтеза, используя в качестве исходных реагентов ZrO₂, CaCO₃, NH₄H₂PO₄. Спекание образцов проводили в интервале температур 800 – 1300 °С с шагом 100 °С, перетирая составы в керамической ступке в среде этилового спирта перед каждым термическим воздействием. Время выдержки на каждой стадии отжига составляло 24 часа. Фазовый состав полученных образцов определял методом порошковой рентгеновской дифракции. Электрические свойства полученных образцов исследовались методом импедансной спектроскопии при варьировании температуры и влажности атмосферы.

1. Hancock C. A., Porras-Vazquez J. M., Keenan P. J., Slater P. R., Dalton Trans., 44, 10559 (2015).

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Дрожилкин П.Д.¹, Андреев П.В.¹, Алексеева Л.С.¹, Болдин М.С.¹,
Мурашов А.А.¹, Щербак Г.В.¹

¹ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государствен-
ный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия
E-mail: pddrozhilkin@yandex.ru

PREPARATION OF SILICON OXYNITRIDE-BASED CERAMICS BY SPARK PLASMA SINTERING

Drozhilkin P.D.¹, Andreev P.V.¹, Alekseeva L.S.¹, Boldin M.S.¹, Murashov A.A.¹,
Sherbak G.V.¹

¹ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Production of ceramics based on silicon oxynitride by spark plasma sintering of silicon nitride nano powder with yttria and alumina additive is considered.

Ранее из порошковой композиции на основе нанопорошка Si_3N_4 и прекурсора спекающей добавки, синтезированной методом распылительной сушки и последующего отжига в атмосфере воздуха, нами была получена керамика состава $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ (оксинитрид кремния) [2]. Причиной образования $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$, предположительно, является взаимодействие наночастиц Si_3N_4 с кислородом в процессе атмосферного отжига при 1000°C , что обеспечивает условия роста фазы оксинитрида. Не исключено образование твердого раствора замещения – О'-сиалона, изоструктурного $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ [3].

В настоящей работе рассматривается получение методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС) керамического $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ из порошковой композиции на основе Si_3N_4 (99.5%, средний размер частиц 15 нм) со спекающей добавкой состава $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$ в количестве не более 5% масс, в различных стехиометрических соотношениях: 3:5 (образец 1), 1:2 (образец 2), 1:1 (образец 3), что соответствует фазам $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, YAlO_3 , $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$. Добавка вносилась в порошок Si_3N_4 методом соосаждения из геля в присутствии лимонной кислоты.

Спекание осуществлялось на установке Dr. Sinter model SPS-625 с приложением давления 70 МПа, скорость нагрева составляла $50^\circ\text{C}/\text{мин}$. до окончания усадки (образец при достижении температуры окончания усадки не выдерживался). Температура окончания усадки составляла $1640-1770^\circ\text{C}$. Относительная плотность образцов 1-3 соответственно составила 94.8%, 95.5% и 96.4%.

На рис. 1 показано, что процесс уплотнения для всех образцов качественно идентичен. Для всех образцов характерен скачок усадки при температурах около 1160 , 1230 и 1340°C для образцов 1, 2 и 3 соответственно. Предположительно, этот скачок связан с образованием оксинитрида кремния. Начало интенсивной

усадки наблюдается при ~ 1200 , 1240 и 1350°C , а окончание – при 1755 , 1730 и 1610°C для образцов 1-3 соответственно.

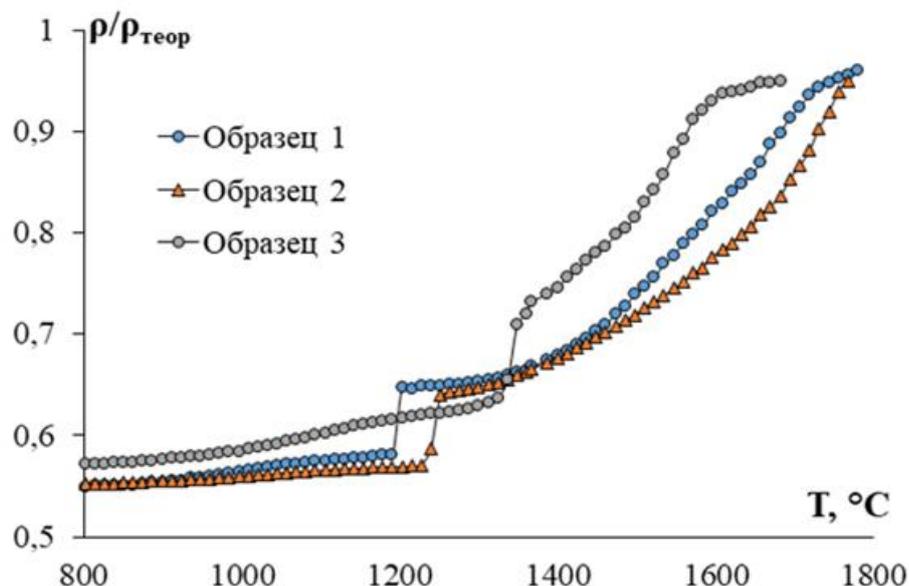


Рис. 1. Зависимости уплотнения образцов от температуры нагрева в процессе ЭИПС

Для полученных образцов керамик исследовался фазовый состав методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Также была исследована микроструктура методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе JEOL JSM-6490.

По данным РФА и РЭМ установлено, что в полученных керамиках превалирует фаза $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$, а также присутствует небольшое количество $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ (около 5% масс). Средний размер кристаллитов, оценённый по данным РФА и РЭМ, составляет около $0,7 \text{ мкм}$. Фаз с содержанием Y и Al обнаружено не было. Предполагается, что спекающая добавка, содержащая $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$, присутствует в виде аморфной фазы, распределенной между кристаллическими зёрнами $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских ученых №МК-4584.2021.1.3.

1. Riley F.L. J. Am. Ceram. Soc., V.83(2), pp. 245-265 (2000)
2. Andreev P., Rostokina E., Alekseeva L. et al. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., pp. 1-4 (2021)
3. Trigg M.B., Jack K.H. Journal of Materials Science, pp. 481-487 (1988).

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОИЛИТА ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТОВ РАЗНЫХ ТИПОВ

Дюндик С.С.¹, Максимова Е.М.¹, Наухацкий И.А.¹, Петрова Е.В.²

¹) Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,
г. Симферополь, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: dyundik.s@yandex.ru

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF TROILITE FROM ORDINARY CHONDRITES OF DIFFERENT TYPES

Dyundik S.S.¹, Maksimova E.M.¹, Nauhatsky I.A.¹, Petrova E.V.²

¹) Crimean Federal University, Simferopol, Russia

²) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The structural parameters of troilite from ordinary chondrites of different types were investigated.

Хондриты, каменные метеориты, представляют собой наименее дифференцированное метеоритное вещество. Комплексное исследование особенностей минеральных фаз хондритов позволяют получать информацию об условиях и механизмах их образования.

В настоящей работе методом рентгеновской дифрактометрии была изучена кристаллическая структура троилита – FeS, выделенного из фрагментов обыкновенных хондритов (Челябинск, Northwest Africa 869, Царев, Marsa Alam 009, Ravar, Харабали) методом магнитной сепарации с использованием сильного неодимового магнита.

Троилит является акцессорным минералом метеоритов разных типов [1], представляющий собой минерал гексагональной кристаллической системы и обладающий своими уникальными физическими свойствами [2].

В работе рассчитаны параметры элементарных ячеек и степень нестехиометрии (x) кристаллической структуры троилита, а также величины микродеформаций и размеры кристаллитов.

Установлено, что основной вклад в параметры микроструктуры троилита обыкновенного хондрита Челябинск вносят микродеформации образца, а для других образцов – малые размеры кристаллитов, которые были оценены по методам Селякова-Шеррера и Вильямсона-Холла. Наблюдается хорошая корреляция между значениями микродеформаций и величиной ударных нагрузок, которые испытали исследуемые образцы в своей эволюции.

Параметры микроструктуры троилита могут служить для оценки степени ударного метаморфизма, имевшего место в истории метеорита.

1. Rubin A.E. Meteoritics & Planetary Science. V.32. pp. 231-247. (1997).
2. Ricci F., Bousquet E. Physical Review Letters. V. 116, 227601. (2016).

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ЛАЗЕРНОЙ 3D ПЕЧАТЬЮ, НА ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИОННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

Ежов И.В.^{1,2}, Коэмец Ю.Н.¹, Казанцева Н.В.^{1,3}, Давыдов Д.И.^{1,3},
Афанасьев С.В.¹, Меркушев А.Г.¹

¹) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³) Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ezhov@imp.uran.ru

THE INFLUENCE OF POROSITY OF SAMPLES OF AUSTENITIC STEEL MANUFACTURED BY LASER 3D PRINTING ON THE PROCESS OF DYNAMIC DEFORMATION AGEING

Ezhov I.V.^{1,2}, Koemets Yu.N.¹, Kazantseva N.V.^{1,3}, Davydov D.I.^{1,3},
Afanasiev S.V.¹, Merkushev A.G.¹

¹) Institute of Metal Physics named after M.N. Mikheev Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

³) Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

The structure and process of deformation of porous samples of steel 316L manufactured by selective laser melting (SLM) with a density of 99.7% are studied. In the studied samples was found the depending on porosity on the process of deformational dynamic ageing (DDA).

Применение лазерной 3D-печати, использующей самый точный метод изготовления металлических материалов – СЛС, требует знания свойств этих материалов не только после изготовления, но и после механической нагрузки. Качество таких изделий зависит от параметров процесса печати [1]. При нарушении оптимального режима в готовом изделии возникают такие характерные дефекты, как нерасплавленные порошинки и пустоты, которые служат факторами повышения напряжения, оказывающие непосредственное влияние на механические свойства СЛС-изделия [2, 3]. В данном исследовании в структуре исходных образцов обнаружены поры размером от 50 мкм до 150 мкм (рисунок 1). Сферические поры характерны для материалов, полученных селективным лазерным плавлением [1-3].

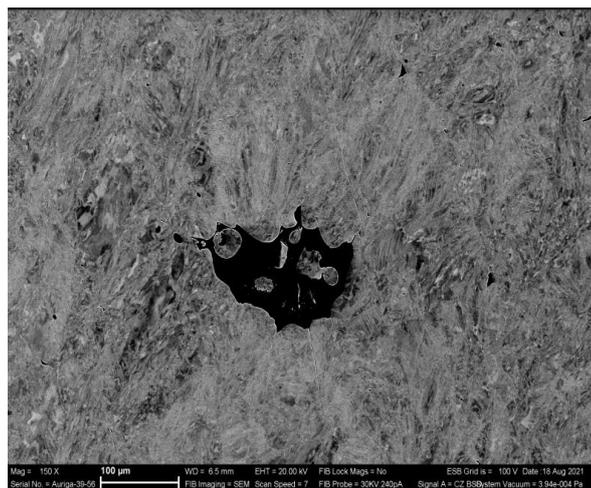


Рис. 1. Поры в деформированном СЛС-образце стали 316L, сканирующая электронная микроскопия.

При определенных температурно-скоростных режимах деформирования может иметь место динамическое деформационное старение. Эффект ДДС связан с повышением пластичности материала при увеличении скорости деформации в определенном диапазоне температур и скоростей [4]. Увеличение скорости деформации обычно снижает механические свойства материалов. Этот эффект наблюдался в традиционных титановых сплавах и сталях [4]. В настоящей работе при исследовании деформированных образцов было обнаружено, что присутствие большого количества пор влияет на характер деформации пористого СЛС-образца стали 316L.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-29-01514.

1. Yadroitsev I. Parametric analysis of the selective laser melting process / I. Yadroitsev, P. Bertrand, I. Smurov // Applied Surface Science. – 2007. – Vol. 253, no. 19. – P. 8064–8069.
2. Selective laser melting of stainless steel 316L with low porosity and high build rates / Z. Sun, X. Tan, S.B. Tor, W.Y. Yeong // Materials & Design. – 2016. – Vol. 104. – P. 197–204.
3. Kazantseva N. Main factors affecting the structure and properties of titanium and cobalt alloys manufactured by the 3D printing // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – Tomsk, Russia: 3rd International Conference on New Materials and High Technologies (3rd NMHT), 2018. – Vol. 1115. – 6 p.
4. Zh.P. Pastukhova, A.G. Rakhshadt, Yu.A. Kaplun, Dynamic aging of alloys. Moscow: Metallurgy, (1985).

СИНТЕЗ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ДОПИРОВАННЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ НА ОСНОВЕ $\text{BaNd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ СО СТРУКТУРОЙ РАДДЛЕСДЕНА-ПОППЕРА

Федорова И.С.¹, Галишева А.О.¹, Тарасова Н.А.¹, Анимитца И.Е.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: irina-fedo_19991999@mail.ru

SYNTHESIS AND TRANSPORT PROPERTIES OF DOPED COMPLEX OXIDES BASED ON $\text{BaNd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ WITH A RADDLESSEN-POPPER STRUCTURE

Fedorova I.S.¹, Galisheva A.O.¹, Tarasova N.A.¹, Animitsa I.E.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this work, we synthesized a sample based on $\text{Ba}_2\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ with doped $x= 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$.

Одной из главных проблем 21 века является изменение климата и загрязнение воздуха из-за высокого потребления ископаемого топлива. Огромное количество продуктов сгорания углеводородов, включая CO_2 , попадающих в окружающую среду каждый день, приводит к обострению таких глобальных проблем, как парниковый эффект и уменьшение озонового слоя. В то же время, истощение основных ископаемых источников энергии на Земле ожидается в ближайшем будущем, поэтому необходим переход к использованию источников чистой энергии. Соответственно, разработка высокоэффективных альтернативных источников энергии является актуальной задачей. Одним из возможных путей достижения этой цели является развитие водородных энергетических систем, в том числе, протонпроводящих твердооксидных топливных элементов.

В числе основных компонентов данных устройств является протонпроводящий электролит. Развитие класса данных материалов предполагает исследование соединений с блочно-слоевыми структурами. Перспективными протонными проводниками с такой структурой являются допированные сложные оксиды на основе $\text{Ba}_2\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$. Тем не менее, на настоящий момент фундаментальные закономерности переноса протона для блочно-слоевых структур в полной мере еще не установлены.

Кристаллическая структура $\text{Ba}_2\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ - двухслойная: катион А ($[\text{KЧ}]_{\text{A}=9}$ и $[\text{KЧ}]_{\text{A}=12}$) внутри перовскитного блока имеет два разных положения в элементарной ячейке в межслоевом пространстве. Такое расположение имеет место при наличии в этой структуре более крупных катионов или разных катионов типа А. В двухслойных структурах находятся три анионные позиции с шестью окружающими их катионами, но их комбинации также различны. Такое положение катионов и анионов создает предпосылки для образования этих структур в

кристаллах со смешанными анионами или в кристаллах с дефицитом анионов. Это делает исследование акцепторно-допированных блочно-слоевых соединений на основе $\text{Ba}_2\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ актуальным.

В настоящей работе впервые получены сложные оксиды $\text{BaNd}_{2-x}\text{Sr}_2\text{In}_2\text{O}_{7-0.5x}$ ($x=0.05, 0.1, 0.15, 0.2$), изучены их структура, процессы гидратации и транспортные свойства. Синтез образцов проводился твердофазным методом. Рентгенографически подтверждена однофазность. Присутствие кислородно-водородных групп в исследуемом веществе доказывалось методом синхронного термического анализа в совокупности с масс-спектрометрией. То есть, по убыли массы вещества при его нагревании оценивалось количество молей воды, приходящееся на формульную единицу сложного. Транспортные свойства полученных образцов исследовались методом импедансной спектроскопии. Исследования выполнялись в атмосферах с различными значениями парциального давления кислорода и паров воды для вычленения вкладов парциальных проводимостей (кислородно-ионной, электронной и протонной).

1. Tarasova N., Animitsa I., *Materials*, 15, 114 (2022).

ПРЕДСКАЗАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ УДВОЕННЫХ ПОЛУ-ГЕЙСЛЕРОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Филанович А.Н.¹, Повзнер А.А.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: a.n.filanovich@urfu.ru

PREDICTION OF THERMODYNAMIC AND ELECTRONIC PROPERTIES OF DOUBLE HALF HEUSLER ALLOYS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

Filanovich A.N.¹, Povzner A.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Based on data from the open Aflow database and other sources, a regression model is constructed that is used to predict properties of new class of double half Heusler alloys, such as lattice thermal conductivity, Grüneisen parameter, Debye temperature, band gap, magnetic moment per atom, etc.

Полу-Гейслеровы сплавы – это соединения с химической формулой XYZ, где X и Y – переходные металлы, а Z – p-элемент XIII-XV группы [1]. Полу-Гейслеровы сплавы демонстрируют особые решеточные и электронные свойства, которые обуславливают применение данных материалов в качестве термоэлектриков, топологических изоляторов, магнетокалориков и т.д [2]. С точки зрения применения в качестве термоэлектрических преобразователей энергии, важным является то, что полу-Гейслеровы сплавы демонстрируют исключительные электро-транспортные свойства, но в то же время они обладают достаточно высокой теплопроводностью, что ограничивает их термоэлектрическую эффективность. Недавно были синтезированы удвоенные сплавы полу-Гейслера, содержащие в своем составе четыре элемента и имеющие химическую формулу X'X"Y2Z2, X2Y'Y"Z2 и X2Y2Z'Z" [3]. За счет более сложной кристаллической структуры эти соединения обладают меньшей решеточной теплопроводностью, а значит потенциально могут демонстрировать более высокие значения термоэлектрической эффективности. В то же время, удвоенные сплавы полу-Гейслера образуют весьма большое число возможных составов (несколько тысяч), вследствие чего «прямое» исследование этих соединений, например, методами теории функционала плотности (DFT) (путем последовательного перебора всех возможных комбинаций) является нерациональным и трудно выполнимым.

В настоящей работе на основе данных открытой базы Aflow [4], а также ранее опубликованных в литературе данных по полу-Гейслеровым сплавам, построена регрессионная модель, позволяющая по составу соединения предсказывать его термодинамические и электронные свойства, такие как решеточная

теплопроводность, параметр Грюнайзена, температура Дебая, ширина запрещенной зоны, магнитный момент на атом и др. Регрессионная модель далее используется для предсказания перечисленных свойств для удвоенных полу-Гейслеровых сплавов с целью выявления составов наиболее перспективных для практического применения.

1. F. Casper, T. Graf, S. Chadov, B. Balke, C. Felser, *Semicond. Sci. Technol.*, 27, 063001 (2012).
2. S. Jiang, K. Yang, *J. Alloys Compds.*, 867, 158854 (2021).
3. S. Anand, M. Wood, Y. Xia, C. Wolverton, G.J. Snyder, *Joule* 3, 1226-1238 (2019).
4. S. Curtarolo, W. Setyawan, S. Wang, et al., *Comput. Mater. Sci.* 58, 227-232 (2012).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СОЛЕВОЙ СИСТЕМЫ KI-KBr-K₂CO₃-K₂SO₄

Финогенов А.А.¹, Фролов Е.И.¹

¹) Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия
E-mail: TonyFriman@yandex.ru

STUDY OF THE FOUR-COMPONENT SALT SYSTEM

KI-KBr-K₂CO₃-K₂SO₄

Finogenov A.A.¹, Frolov E.I.¹

¹) Samara State Technical University, Samara, Russia

A study of the components of a four-component salt system based on potassium salts was carried out. The phase complex of the composition has been studied. The dependence of the type of system of higher dimension on the type of systems included in it is revealed.

Интерес к изучению фазовых диаграмм и, в частности, системы с непрерывными рядами твёрдых растворов с минимумами, обусловлен необходимостью создания функциональных материалов на основе многокомпонентных систем.

Системы на основе йодида калия применяется для создания сцинтилляционных материалов [1], входят в состав шлама для улавливания ртути из газов [2]. На основе карбоната калия создан функциональный материал для улавливания летучей угольной золы с содержанием кремния [3]. Сульфат калия применяется в системах накопления тепловой энергии [4]

Исследования системы было проведено методом дифференциального термического анализа (ДТА) [5]. Скорость нагрева (охлаждения) образцов составляла 10 °С/мин. Масса навесок исходной смеси равна 0,3 г. Исходные реактивы квалификации “х.ч.” и “ч.д.а.”, были предварительно обезвожены.

Четырёхкомпонентная система KI-KBr-K₂CO₃-K₂SO₄, её геометрическим отображением на плоскости является тетраэдр. Вначале были определены все ранее исследованные системы меньшей мерности, те системы данных по которым не было, а именно KI-KBr-K₂CO₃ и KI-KBr-K₂SO₄, также дополнительно изучались. По итогу определено, что среди фазовых комплексов трёхкомпонентных, две представлены непрерывными рядами твёрдых растворов и две твёрдыми растворами с наличием точек минимума. Исходя из типа строения систем меньшей мерности, было выдвинуто предположение, что четырёхкомпонентная система не должна содержать в своём строении дополнительных характеристических точек и представлена двумя объемами твёрдых растворов $\alpha(KBr_xI_{1-x})$ и $\beta(K_2(CO_3)_x(SO_4)_{1-x})$. Для подтверждения была выбрана точка внутри объёма четырёхкомпонентной системы, вблизи тройного минимума, который является составом с наименьшей температурой

(M_2 582 °С). Эксперимент показал, что температура самого последнего экзотермического пика при охлаждении выше 582 °С. Таким образом, можно заключить, что внутри объема четырехкомпонентной системы не существует составов с температурой ниже самого низкоплавкого тройного минимума и, следовательно, в объеме проходит моновариантная линия без экстремумов от M_2 к M_1 с повышением температуры. Эскиз объема кристаллизации четырехкомпонентной системы KI-KBr-K₂CO₃-K₂SO₄ (рис. 1).

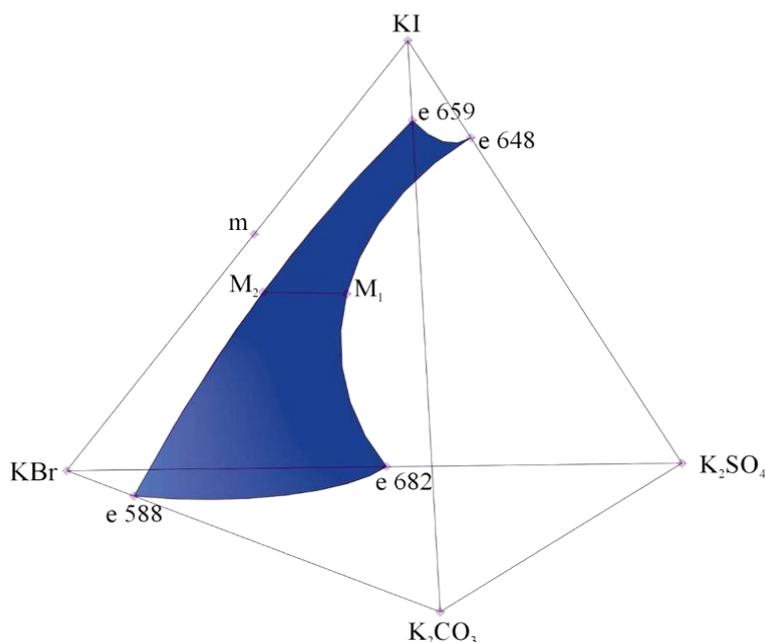


Рис. 1. Эскиз объема кристаллизации четырехкомпонентной системы

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проектной части государственного задания № 0778-2020-0005

1. Yui Takizawa, Kei Kamada, Naoko Kutsuzawa, Kyoung Jin Kim, Masao Yoshino, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Hiroki Sato, Satoshi Toyoda, Yuji Ohashi, Takashi Hanada, Vladimir.V. Kochurikhin, Akira Yoshikawa, *Journal of Crystal Growth*, Volume 573, 2021, 126287 (<https://doi.org/10.1016/j.jcrysgr.2021.126287>).
2. Wei Yang, Arshad Hussain, Jun Zhang, Yangxian Liu, *Chemical Engineering Journal*, Volume 341, 2018 (<https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.02.023>).
3. Guoliang Wang, Peter Arendt Jensen, Hao Wu, Flemming Jappe Frandsen, Yashasvi Laxminarayan, Bo Sander, Peter Glarborg, *Fuel Processing Technology*, Volume 194, 2019, 106115 (<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.05.038>).
4. K. Kant, A. Shukla, David M.J. Smeulders, C.C.M. Rindt, *Journal of Energy Storage*, Volume 38, 2021, 102563 (<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102563>).
5. Егунов В.П., Гаркушин И.К., Фролов Е.И., Мощенский Ю.В. Термический анализ и калориметрия. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. 583 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Гибадуллина А.Ф.¹, Хотинов В.А.¹, Ребрин О.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: A.F.Gibadullina@urfu.ru

THE INFLUENCE OF POST WELD HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES

Gibadullina A.F.¹, Khotinov V.A.¹, Rebrin O.I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The influence of post weld heat treatment nickel alloy Hastelloy® G-35® on the structure and mechanical properties were investigated. Also preferred annealing temperature was found and the regime of heat treatment was chosen.

Сплавы на основе никеля крайне чувствительны к термическому влиянию: в зависимости от типа сплава в широком диапазоне температур возможно выделение избыточных фаз, отрицательно воздействующих на механические и/или коррозионные свойства. Изменение структуры также происходит и в процессе охлаждения после сварки, к тому же добавляются остаточные напряжения и возможные дефекты сварных швов – всё это может привести к охрупчиванию, развитию трещин. Термическая обработка сварных соединений, выполненных из коррозионностойких сплавов на основе никеля, является необходимой, причём подобранный режим должен обеспечивать рекристаллизацию металла в области сварных швов и растворение избыточных фаз [1]

Данная работа посвящена исследованию влияния различных режимов термической обработки на структуру и прочностные свойства сварных соединений, выполненных из никелевого сплава Hastelloy® G-35®. Сварка образцов проводилась ручным аргонно-дуговым методом неплавящимся вольфрамовым электродом.

Была проведена серия экспериментов для определения подходящих режимов термической обработки, обеспечивающих рекристаллизацию металла и растворение избыточных фаз в области сварных швов, а также предотвращения образования вторичных фаз в процессе охлаждения. Кроме того исследовались изменения прочностных свойств материала в исходном состоянии и сварных образцов без и после различной термообработки.

1. J. C. Lippold, S. D. Kiser, J. N. DuPont, Welding metallurgy and weldability of nickel-base alloys, John Wiley & Sons Inc., (2009).

**ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО
АНАЛИЗА ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ГИГРОСКОПИЧНЫХ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЛЕЙ**

Ившина А.А.¹, Чукин А.В.¹, Денисова О.В.¹, Половов И.Б.¹, Ребрин О.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: anna08404312@gmail.com

**OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR X-RAY PHASE ANALYSIS FOR
QUALITATIVE AND QUANTITATIVE DETERMINATION OF THE
COMPOSITION OF HYGROSCOPIC CRYSTAL SALTS**

Ivshina A.A.¹, Chukin A.V.¹, Denisova O.V.¹, Polovov I.B.¹, Rebrin O. I.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The use of a non-standard X-ray cuvette can exclude the interaction of the object of study with air during XRD. As a result of the experiments, suitable shooting parameters and materials were selected using the example of crystalline zirconium tetrachloride.

Наиболее сложными объектами рентгенофазового анализа являются многофазные гигроскопичные системы. Стандартный рентгенофазовый анализ проводят в условиях атмосферы воздуха, в которой содержатся естественная влага и кислород, оказывающие негативное влияние на результат съемки – в результате гидролиза пробы происходит искусственное завышение фона и, как следствие, уточнение структуры является некорректным [1,2,3]. Также гидролиз приводит к изменению фазового состава исследуемого образца – образованию вещества с отличной от исходного соединения кристаллической структурой.

Для исключения взаимодействия гигроскопичных объектов анализа с атмосферой воздуха была опробована нестандартная рентгеновская кювета. Исследуемый образец помещали в кювету и отделяли его от воздушной атмосферы различными видами пленок, при этом к пленкам предъявлялись следующие требования: отсутствие собственной кристаллической структуры, прозрачность для рентгеновского излучения, отсутствие вклада в дифракционную картину в малых углах дифракции. Дифракционные картины от различных пленок представлены на рисунке 1.

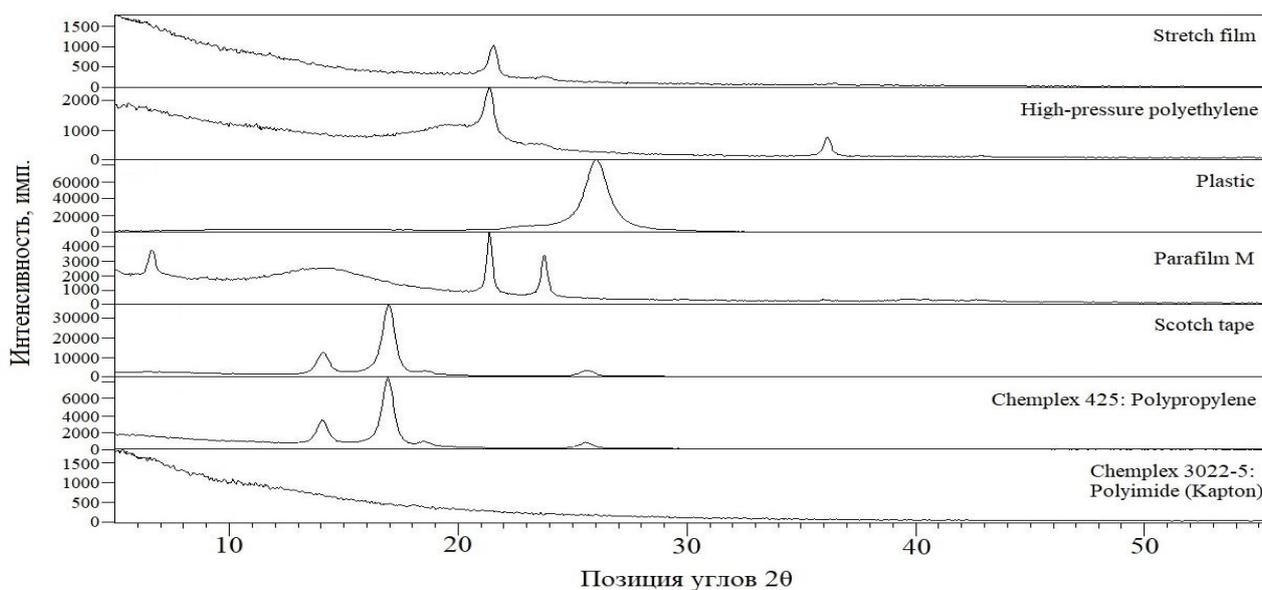


Рис. 1. Дифрактограммы различных пленок

В результате исследований был подобран наиболее подходящий тип пленки – Polyimide (Kapton). На основании проведенных экспериментов была разработана методика пробоподготовки образца перед съемкой; выбран режим проведения съемки для исследуемой системы на примере кристаллического тетрахлорида циркония.

1. М.Г. Кржижановская, В.А. Фирсова, Р.С. Бубнова, Учебное пособие «Применение метода Ритвельда для решения задач порошковой дифрактометрии» под ред. Кржижановская М.Г. (Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет, 2016 г)
2. S. Ichikawa, D. Fujimura, A. Ohbuchi and T. Nakamura. Crystalline Phase Quantitation of Sintered Ore with Powder X-ray Diffractometry with Rietveld Refinement ISIJ International, Vol 56, No 12, 2228-2235(2016)
3. Иванов А.Н., Учебное пособие, конспект лекций «Дифракционные методы исследования материалов». (Москва: Московский институт стали и сплавов, 2008 г).

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg-Er, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРИДНОЙ ЛИГАТУРЫ

Кахидзе Н. И.¹, Селиховкин М. А.¹, Синкина И. Л.¹

¹) Национальный исследовательский Томский государственный университет, г.
Томск, Россия
E-mail: nick200069@yandex.ru

INFLUENCE OF DEFORMATION TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AN ALLOY OF THE Al-Mg-Er SYSTEM OBTAINED USING A HYDRIDE MASTER-ALLOY

Kakhidze N. I.¹, Selikhovkin M. A.¹, Sinkina I. L.¹

¹) National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The work investigates the effect of erbium on the structure, mechanical properties and nature of the fracture of the Al-Mg alloy in the cast and deformed state. It is noted that the addition of erbium provides an increase in tensile strength by 24% and an increase in ductility by 1.5 times.

Внедрение в промышленность конструкционных материалов, сочетающих высокую прочность и низкий удельный вес, обеспечивает повышение энергетической эффективности. Деталь определённых габаритов из алюминия практически в 3 раза легче стального аналога, однако для замены ответственных элементов требуется повышение прочностных характеристик. Известны высокопрочные сплавы алюминия с добавкой скандия, однако их применение ограничено высокой стоимостью исходного скандия. По механизмам упрочнения алюминиевых сплавов эрбий аналогичен скандию, а его стоимость в 32 раза ниже. Отмечается недостаточная изученность влияния эрбия на свойства алюминиевых сплавов, что расходится с актуальностью разработки сплавов систем Al-Er.

Лигатуры Al-Er для введения в расплав были получены по гидридной технологии [1]. Сплавы для исследования были получены методом литья в стальной кокиль [2] из промышленного сплава AMg5 и изучались в литом и деформированном состоянии.

Структурные исследования производились методами растровой и оптической микроскопии. Элементный состав изучался методами рентгенофлуоресцентного анализа. Плотность сплавов измерялась методом гидростатического взвешивания. Прочностные параметры полученных сплавов были получены измерением твёрдости по методу Бринелля и по результатам одноосного растяжения плоских образцов.

Установлено, что в лигатурах Al-Er, полученных по гидридной технологии, содержатся микроразмерные частицы, переходящие в объём получаемых сплавов.

Средний размер зерна сплава АМг5 составил 390 мкм, введение 0.3 мас. % эрбия в составе полученной лигатуры не привело к измельчению зёрненной структуры: средний размер зерна сплава АМг5 + Er — 410 мкм. Значения плотности и твёрдости сплава АМг5 составляют 2.64 г/см³ и 57.9 НВ, для сплава АМг5 + Er — 2.65 г/см³ и 61.2 НВ соответственно. Установлено, что значения предела текучести, предела прочности и максимальных деформаций до разрушения сплава АМг5 составляют 65 МПа, 151 МПа и 6.4 % соответственно, введение 0.3 мас. % эрбия не влияет на значения предела текучести (64 МПа) и приводит к повышению значений предела прочности со 151 до 187 МПа и максимальных деформаций с 6.4 до 9.6 %. Деформационная обработка методом продольного проката сплава АМг5 приводит к повышению значений предела текучести с 65 до 100 МПа, предела прочности со 151 до 271 МПа и максимальных деформаций с 6.4 до 39.6 %. Деформационная обработка сплава АМг5 + Er приводит к повышению значений предела текучести с 64 до 107 МПа, предела прочности со 187 до 281 МПа и максимальных деформаций с 9.6 до 45.2 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № FSWM-2020-0028.

1. Белгибаева А. А. и др. Получение высокопрочных сплавов системы Ti-Al используя гидриды металлов // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. – Казахстан : мекенжайы, 2019.– № 1.– С. 21–27.
2. Хрусталёв А. П. и др. Влияние наночастиц вольфрама на структуру и механическое поведение алюминиевого сплава 1550 в условиях квазистатического нагружения // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика.– 2021.– №. 74.– С. 141–153.

СТРУКТУРА И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ YAG:Ce, Gd, Ga КЕРАМИКИ СИНТЕЗИРОВАННОЙ РАДИАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Жилгильдинов Ж.С.¹, Лисицын В.М.², Карипбаев Ж.Т.¹, Жунис Е.¹,
Мусаханов Д.А.¹

¹) Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
г. Нур-Султан, Казахстан

²) Национальный Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: zfl@mail.ru

STRUCTURE AND LUMINESCENCE OF YAG:Ce, Gd, Ga CERAMICS SYNTHESIZED RADIATION ASSISTED METHOD

Zhilgildinov Zh. S.¹, Lisitsyn V.M.², Karipbayev Zh.T.¹, Zhunis E.¹,
Mussakhanov D.A.¹

¹) L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²) National Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The work shows the possibility of radiation synthesis based on YAG:Ce ceramics. Synthesis was carried out by sintering samples from oxide powders in the field of high-energy electron flow. The lattice structure of synthesized samples of YAG:Ce and YAGG:Ce ceramics was compared with standards.

YAG:Ce люминофор самый распространенный при изготовлении белых светодиодов [1-3], материалы на основе YAG используются в качестве сцинтилляционных, дозиметрических, активных сред. Используются они в виде порошков, пленок, керамики, монокристаллов, композитов. Синтез YAG:Ce материалов любой морфологии сложен, поскольку формирование основной структуры, иттрий-алюминиевого граната, реализуется при температурах свыше 1700 °С. Поэтому постоянно ведется совершенствования существующих и поиск новых технологий.

В работе показана возможность радиационного синтеза на основе YAG:Ce керамики. Были синтезированы образцы керамики разных составов с содержанием по шихте: $Y_3Al_5O_{12}$: Al_2O_3 (40%) + Y_2O_3 (54) + Ce_2O_3 (1%) + Ga_2O_3 (2.5%) + Gd_2O_3 (2.5%). Синтез осуществлялся путем спекания образцов из порошков окислов в поле потока высокоэнергетических электронов. Структура решётки синтезированных образцов керамики YAG:Ce и YAGG:Ce сопоставлялась с эталонами. Измеренные дифрактограммы хорошо соответствуют стандартным.

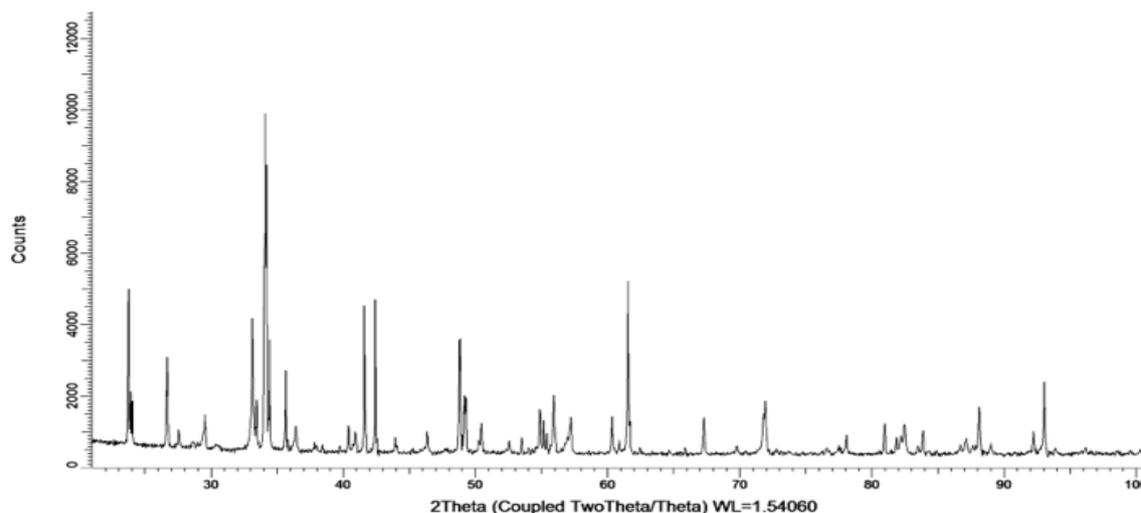


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма синтезированной YAGG:Ce керамики

Приведены результаты исследования спектров возбуждения люминесценции синтезированных образцов. В спектрах возбуждения всех образцов наблюдаются две полосы на 340 и ~ 460 нм, обусловленных $^4F_{5/2} \rightarrow ^5D_0$, 5D_1 в ионах активатора Ce^{3+} . Посредством воздействия мощного потока радиации на шихту возможно формирование люминесцирующей керамики на основе YAG:Ce с характеристиками, подобными известным для YAG:Ce люминофоров

The work was carried out within the framework of the grant AP08052050 of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

This research was supported by Tomsk Polytechnic University CE Program.

1. George, N.C.; Denault, K.A.; Seshadri, R. Phosphors for solid-state white lighting. *Annu. Rev. Mater. Res.* 2013, 43, 481–501. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-073012-125702>
2. Narukawa, Y.; Ichikawa, M.; Sanga, D.; Sano, M.; Mukai, T. White light emitting diodes with super-high luminous efficacy. *J. Physics D - Applied Physics.* 2010, 43, 354002.
3. Qiao, J.; Zhao, J.; Liu, Q.; Xia, Z. Recent advances in solid-state LED phosphors with thermally stable luminescence. *J. of Rare Earths.* 2019, 37, 6, 565–572.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА КЕРМЕТНОГО КАТОДА ТОЭ

Харисова К.А.¹, Гордеев Е.В.¹, Поливода Д.О.¹, Жестева А.Н.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: Ksenia.Kharisova@urfu.me

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF POWDER MATERIALS ON THE PROPERTIES OF SOEC CERMET CATHODE

Kharisova K.A.¹, Gordeev E.V.¹, Polivoda D.O.¹, Zhesteva A.N.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work is aimed at studying the patterns of cathode sintering depending on the granulometric composition of powder materials. It is shown that a decrease in the average diameter of the used zirconium dioxide powder leads to a decrease in the cathode porosity.

Растущее энергопотребление приводит к увеличению использования горючего топлива, что увеличивает выбросы CO₂ в атмосферу и негативно влияет на окружающую среду. Одним из способов противодействия этим изменениям является снижение выбросов CO₂ путем их улавливания и повторного использования с получением полезных продуктов с помощью электролиза. Твердооксидные электролизеры (ТОЭ) позволяют получать метан и водород, которые можно рассматривать в качестве альтернативных источников энергии [1]. Среди различных конфигураций ТОЭ планарная является самой перспективной ввиду сниженной стоимости и простоты изготовления. Конструкция с поддерживающим керметным катодом на основе никеля и диоксида циркония позволяет снизить толщину электролита, уменьшить омические потери и увеличить удельную мощность. При этом эксплуатационные и механические свойства керметов зависят от состава, микроструктуры и дисперсии исходных порошков оксида никеля и диоксида циркония [2].

Для исследования влияния гранулометрического состава на свойства керметного катода ТОЭ синтезировали порошки полностью стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония двух фракций со средним размером частиц 1-3 мкм и 30-50 мкм методом контролируемого двухструйного осаждения (КДО). Порошки двух фракций смешивали в различных массовых соотношениях: 50:50, 30:70 и 70:30, где первая цифра — содержание порошка со средним размером частиц 1-3 мкм, вторая — содержание порошка со средним размером частиц 30-50 мкм. Полученную смесь подвергали совместному помолу с оксидом никеля в среде изопропилового спирта. К суспензии добавляли поливинилбутираль и

диоктилсебацинат с получением шликера, который перемешивали в течение нескольких часов. Формирование пленки катода осуществляли методом шликерного литья на силиконизированную ленту с помощью литейной машины. Для получения заготовок катодов ленты нарезали, складывали друг на друга и прессовали при температуре 70 °С и давлении 70 МПа. Полученные заготовки спекали при температуре 1570 °С в течении 5 часов. Образцы катодов были исследованы методом гидростатического взвешивания.

Обнаружено, что усадка образцов в ходе спекания растет с повышением содержания фракции 1-3 мкм в шликере — с 20 об. % для образца с содержанием 30 мас. % до 65 об. % для образца с содержанием 70 мас. %. Кроме того, при увеличении усадки снижается общая пористость катодов практически в два раза — с 60 до 30 об. %.

Снижение общей пористости образцов, возможно, связано с ростом поверхностной энергии системы при увеличении массового содержания фракции 1-3 мкм. Таким образом, процессы диффузии во время спекания проходят более интенсивно. Предположительно, снижение пористости катода приведет к росту прочности на трехточечный изгиб и твердости.

1. Patryk Błaszczak, Adrian Mizera, Beata Bochentyn, Sea-Fue Wang, Piotr Jasiński, Preparation of methanation catalysts for high temperature SOEC by β -cyclodextrin-assisted impregnation of nano-CeO₂ with transition metal oxides, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 47, Issue 3, 2022, Pages 1901-1916.
2. Lingting Ye, Kui Xie, High-temperature electrocatalysis and key materials in solid oxide electrolysis cells, *Journal of Energy Chemistry*, Volume 54, 2021, Pages 736-745.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ И КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Хорошавцева Н.В.¹, Поимцева В.Ю.¹, Денисова Э.И.¹, Карташов В.В.¹,
Денисова О.В.¹, Марков А.А.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: Natahor98@mail.ru

PRODUCTION OF POWDERS AND CERAMICS BASED ON ZIRCONIUM DIOXIDE

Khoroshavtseva N.V.¹, Pointseva V. Y.¹, Denisova E. I.¹, Kartashov V.V.¹, Den-
isova O. V.¹, Markov A.A.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sci-
ences, Yekaterinburg, Russia

Powders of various compositions based on ZrO_2 , doped with Y_2O_3 and Sc_2O_3 were obtained to measure the density and electrical conductivity of ceramic samples based on them.

Создание топливных элементов на основе ZrO_2 , легированного оксидами РЗЭ, является актуальной материаловедческой задачей. Получаемые материалы должны обладать высокой электропроводностью и механической прочностью, химической и высокотемпературной стабильностью.

Предметом исследований была керамика из ZrO_2 с различным содержанием стабилизирующих добавок Y_2O_3 и Sc_2O_3 . Из порошков, полученных аммиачным соосаждением с последующей грануляцией замораживанием, при давлении 245 МПа прессовали образцы-таблетки, которые обжигали в воздушной атмосфере при температуре 1650 °С по режиму: нагрев до заданной температуры - выдержка в течение 6 часов - охлаждение со скоростью нагрева. И порошки, и таблетки имели 100 % кубическую структуру. Измеряли электропроводность образцов двухзондовым методом на переменном токе при частоте 20 кГц в интервале 873-1173 К. Результаты измерений представлены на рис.

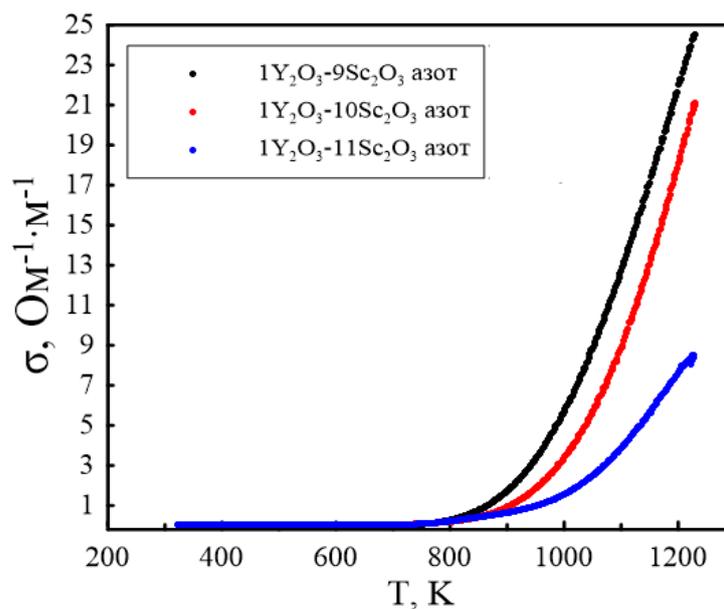


Рис. Температурная зависимость удельной электропроводности

Керамические образцы предназначены для дальнейшего измерения плотности, твердости и электропроводности.

ИНДУЦИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ НЕСВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОЕДИНЕНИЯ $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}$ ДОПИРОВАНИЕМ ХАЛЬКОГЕНИДАМИ ТИТАНА

Кислов Е.В.¹, Селезнева Н.В.¹, Баранов Н.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Рос-
сия

E-mail: evgeny.kislov@urfu.ru

INDUCING SUPERCONDUCTIVITY OF NON-SUPERCONDUCTING $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}$ COMPOUND BY DOPING WITH TITANIUM CHALCOGENIDES

Kislov E.V.¹, Selezneva N.V.¹, Baranov N.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterin-
burg, Russia

In the present study it is shown that the doping of $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}$ compound with titanium chalcogenides leads to the inducing of a superconducting transition, which, however, is not completed. This binds to the presence of extraneous phases and granular character of superconductivity.

Замещения по подрешеткам железа и халькогена в соединениях FeX ($X = \text{Se}, \text{Te}$) с тетрагональной структурой типа PbO (пространственная группа P4/nmm) могут влиять на их свойства [1]. Соединение FeTe является антиферромагнетиком с температурой Нееля $T_N = 70 \text{ K}$ и не демонстрирует перехода в сверхпроводящее состояние [2].

В работе исследованы возможности индуцирования сверхпроводимости в соединении $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}$ путем допирования дихалькогенидами титана $(\text{TiX}_2)_y$ ($X = \text{S}, \text{Se}; y = 0.1, 0.2$). Предполагалось, что при допировании атомы S и Se будут занимать позиции теллура, а атомы Ti – позиции железа в тетрагональной структуре FeTe . Кроме того, ожидалось, что при наличии сверхпроводящего перехода присутствие атомов титана будет влиять на пиннинг сверхпроводящих вихрей и величины критических токов соединений.

Образцы системы $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}(\text{TiX}_2)_y$ ($X = \text{S}, \text{Se}; y = 0.1, 0.2$) были синтезированы в два этапа: на первом этапе плавлением при $920 \text{ }^\circ\text{C}$ готовились матрицы $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}$, на втором этапе матрицы допировались халькогенидами титана $(\text{TiX}_2)_y$ ($X = \text{S}, \text{Se}; y = 0.1, 0.2$) и отжигались для гомогенизации. Структура соединений исследовалась с помощью дифрактометра Bruker D8 Advance. Измерение температурных зависимостей электросопротивления проводилось стандартным 4-хконтактным методом с использованием рефрижератора CryoFree204 в интервале температур $5 - 310 \text{ K}$.

Исходный образец $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}$ является однофазным и обладает тетрагональной структурой типа PbO , описываемой пространственной группой P4/nmm . Допированные образцы $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}(\text{TiX}_2)_y$ ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}; y = 0.1, 0.2$), помимо исходной фазы, также могут содержать фазы Fe_7Se_8 , FeS , $\delta\text{-FeTe}_{1.5}$ в зависимости от того, какой халькогенид был введен в матрицу.

При введении в исходную матрицу дисульфида или диселенида титана ожидалось, что замещение теллура халькогенами меньшего ионного радиуса будет приводить к сжатию решетки и уменьшению параметра c , что, в свою очередь, может приводить к индуцированию сверхпроводимости. Такое предположение, в свою очередь, обусловлено тем фактом, что наилучшими параметрами сверхпроводящего перехода в системе $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$ обладает состав $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ со значением параметра c кристаллической решетки $c = 5.942 \text{ \AA}$ [1]. Действительно, введение TiS_2 и TiSe_2 привело к заметному уменьшению значений параметра c при практически неизменных значениях параметра a основной тетрагональной решетки.

На температурных зависимостях сопротивления всех допированных образцов, в отличие от исходного, при понижении температуры наблюдается резкий спад значений электросопротивления, что свидетельствует о начале сверхпроводящего перехода, однако нулевых значения сопротивления ни для одного из образцов достичь не удалось. Такое поведение может быть связано с присутствием посторонних фаз и гранулированным характером сверхпроводимости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № FEUZ-2020-0054).

1. Takano Y., Mizuguchi Y., Journal of the Physical Society of Japan, 79, 102001 (2010).
2. Maheshwari P. K., Jha R., Gahtori B., Awana V. P. S., Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 28, 2893–2897 (2015).

СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ИЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ МИКРОСФЕР ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Кох Д.^{1,2}, Шабанова К.А.^{1,2}, Шабанова О.В.³

- ¹⁾ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия
- ²⁾ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия
- ³⁾ Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия
E-mail: diter.koh@gmail.com

SYNTHESIS OF THIN FILMS FROM MONODISPERSED POLYMETHYLMETHACRYLATE MICROSPHERES

Kokh D.^{1,2}, Shabanova K.A.^{1,2}, Shabanova O.V.³

- ¹⁾ Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Krasnoyarsk, Russia
- ²⁾ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
- ³⁾ Special Designing and Technological Bureau "Nauka" KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

A thin film of monodispersed polymethylmethacrylate particles whose size is a multiple of the light wavelength was obtained. The multiplicity and periodicity of the obtained materials makes them two-dimensional photonic crystals. The structure of the samples was studied by SEM method.

Монодисперсные или субмикронные частицы - частицы, которые обладают одинаковыми размерами, формами и внутренней структурой. Они были получены при помощи безэмульгаторной полимеризации. В качестве инициатора полимеризации использовался 2,2'-азобисдемитилпропионамид, который обеспечивает прохождение реакции без побочных негативных эффектов [1].

В реактор смесь из метилметакрилата и воды (с добавкой глицерина или ацетона) нагревалась до 75°C в азотной атмосфере. После того, как в колбе установилась нужная температура, в смесь добавлялся раствор инициатора. Через некоторое время наблюдался гель-эффект, который свидетельствовал о конечной стадии полимеризации, то есть происходит резкое увеличение вязкости смеси и обрыв большого количества цепей полимера. В результате была получена водная суспензия субмикронных частиц полиметилметакрилата (ПММА).

После того, как суспензия была приготовлена, ее капля была помещена на подложку в виде покровного стекла, а затем сверху клали еще одно покровное стекло такого же размера, как и предыдущее. Ряд таких действий привел к равномерному распределению капли взвеси по всей площади подложки. Спустя

какое-то время лишняя жидкость испарялась, а покровные стекла, между которыми находятся уже сферические частица ПММА, были механически разделены между собой. В результате после такого эксперимента были получены две тонких пленки из сферических частиц ПММА на подложке из покровного стекла. Такие структуры будут обладать свойствами двумерных фотонных кристаллов [2].

Пробоподготовка заключалась в напылении платины на образец с целью избежания накопления электростатического заряда на поверхности непроводящих частиц ПММА.

После этапа пробоподготовки образцы были исследованы методом РЭМ.

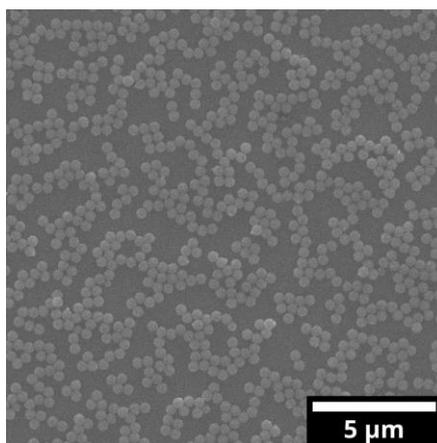


Рис. 1. Scanning electron microscope image of a thin film of monodispersed submicron PMMA particles

Исследования были выполнены на оборудовании центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

1. Шабанов А. В., Шабанова О. В., Коршунов М. А., Синтез монодисперсных субмикронных сферических частиц полиметилметакрилата и его моделирование методом молекулярной динамики, Коллоидный журнал, Т. 76. №1, С. 120-126, (2014)
2. Панфилова Е. В., Доброносова А. А., Особенности формирования и свойства тонких пленок и массивов частиц золота, получаемых на поверхности опаловых пленок, Инженерный журнал: наука и инновации, №8(68), С. 5, (2017).

АНАЛИЗ НА АУКСЕТИЧНОСТЬ БЕТА-ТВЕРДОГО РАСТВОРА С ОЦК-РЕШЕТКОЙ В БИОСОВМЕСТИМЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Коренев А.А.¹, Литшван Р.Н.¹, Илларионов А.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: alexander.korenev@urfu.ru

AUXETITY ANALYSIS OF A BETA-SOLID SOLUTION WITH A BCC LATTICE IN BIOCOMPATIBLE TITANIUM ALLOYS

Korenev A.A.¹, Litshvan R.N.¹, Illarionov A.G.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The auxetity of a β -solid solution with a BCC lattice was analyzed for various compositions of Ti-(Nb, Mo, Ta) and Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn) binary Ti-based systems, which are widely used in medicine for the production of implants.

Ауксетиками называют материалы, обладающие отрицательным коэффициентом Пуассона (ν), т.е. имеющих поперечное растяжение материала в ответ на прилагаемое продольное растяжение. Хотя долгое время считалось, что металлические кристаллы имеют строгий интервал значений коэффициента Пуассона ($0 < \nu < 0,5$), термодинамикой и теорией упругостью допускается существование металлических ауксетиков, и зафиксировано 69 % кристаллов с кубическими решетками, обладающих ауксетичностью [1]. Большинство из них характеризуются анизотропией физических свойств. Ауксетики можно разделить на три группы: полные ауксетики (обладающие отрицательным коэффициентом Пуассона во всех осевых направлениях кристалла), частичные (при определенных ориентациях) и неауксетики. Гольдштейн и др. [2] предложили в качестве анализа на ауксетичность материалов с кубическими решетками два безразмерных параметра Π и δ , которые связаны с упругими коэффициентами податливости решетки s_{ij} . $\Pi = -2s_{12}/\Delta$; $\delta = \Delta/s_{11}$, где $\Delta = s_{11} - s_{12} - 0,5s_{44}$ - фактор анизотропии для кубических кристаллов.



Рис. 1. Классификационная схема кубических аусетиков (а) и классификационная схема с наложением границ устойчивости кубических кристаллов (б)

Классификационная схема для кубических аусетиков представлена на рисунке 1. В последнее время в медицинской практике широко используются сплавы титана на основе β -фазы с ОЦК-решеткой систем Ti-(Nb, Mo, Ta) и Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn) [3], и целью данной работы является анализ на аусетичность β -твердого раствора титана в этих системах. Для расчета параметров П и δ использовались упругие константы c_{ij} , взятые из различных литературных источников.

В ходе расчетов установлено, что в двойных сплавах систем Ti-(Nb, Mo, Ta) ОЦК решетка высокотемпературного β -твердого раствора при низких содержаниях второго элемента (для Nb до 25 ат. %; 12 % для Mo и до 37,5 % для Ta) является частичным аусетиком с интервалами $0,65 < П < 0,9$ и $0,65 < \delta < 0,9$. Минимальные значения коэффициента Пуассона варьируются в интервале $-1 \dots -0,12$; максимальные от 1 до 2. Необходимо при этом отметить, что фиксация одной β -фазы при комнатной температуре возможна при закалке только в части анализируемых сплавов при содержании второго элемента ближе к максимальным анализируемым концентрациям. При повышении содержания Nb, Mo, Ta выше указанных пределов аусетичность β -фазы утрачивается.

Отмечено, что при добавлении в двойные сплавы систем Ti-(Nb, Mo, Ta) циркония и олова частичная аусетичность β -фазы возможна в сплавах Ti-25(Nb, Mo, Ta)-25(Zr, Sn), Ti-(11; 17; 21)Nb-(12; 21; 38)Zr и Ti-33(Nb, Mo)-33Sn. При этом значения П и δ варьируются в близких пределах, что и для ОЦК решетки в двойных сплавах. Минимальные значения коэффициента Пуассона β -фазы лежат в интервале $-0,63 \dots -0,23$, а максимальные - в пределах от 1 до 1,5.

Таким образом, расчетами показано, что ряд двойных (Ti-(Nb, Mo, Ta)) и тройных (Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn)) биосовместимых сплавов на основе β -твердого раствора титана является частичными аусетиками, что означает наличие в них отрицательного коэффициента Пуассона в определенных направлениях ОЦК решетки β -фазы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-13-00220).

1. Vaughman R.H., Shacklette J.M., Zachidov A.A. et.al. Nature. V.392. 362-365 (1998);
2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. и др. Физическая мезомеханика. т.16. №6. 13-31 (2013);
3. Q. Chen, G.A. Thouas. Materials Science and Engineering R. V. 87. 1–57.

РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПРОТИВ КАВИТАЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОКОРОЗИЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОГО ОКРАСА С ДОБАВЛЕНИЕМ УНТ

Коршаков Н.А.¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
г. Архангельск, Россия
E-mail: nikiporsh1998@gmail.com

DEVELOPMENT OF A PROTECTIVE COATING AGAINST CAVITATION AND ELECTRIC CORROSION EXPOSURE USING POWDER PAINT WITH ADDED CNT

Korshakov N.A.¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov",
Arkhangelsk, Russia

Cavitation and electric corrosion exposure is poorly studied. Planned to study impact the cavitation and electric corrosion exposure on titanium alloy that coated powder paint with added carbon nanotubes.

Влияние неаддитивности процессов кавитационного и коррозионного разрушения металлов мало изучено [1]. Такое разрушение в большей степени характерно изделиям, работающим в условиях гидродинамических нагрузок, к которым можно отнести: насосные агрегаты, винты судов и др. Из-за химического или электрохимического воздействия окружающей среды происходит разрушения металлических конструкций. Вследствие влияния этих факторов в течение определенного времени может возникнуть разрушения структуры металла.

Ранее были попытки использования лакокрасочных материалов с добавлением нанотрубок для повышения устойчивости металлических конструкций от факторов окружающей среды. В отличие от лакокрасочных материалов, порошковая краска имеет важные преимущества, такие как, более устойчивое сцепление с металлами, большая прочность покрытия, меньший расход материала. С учетом этих преимуществ и особенностей порошковой краски и так же особенностей углеродных нанотрубок, можно предположить, что новое покрытие будет работать и защищать от кавитационного и коррозионного разрушения.

Изучается в данный момент воздействием кавитации и электрокоррозии на титановые пластинки покрытых порошковой краской с добавлением нанотрубок в разных пропорциях.

1. Кузин И.В., Керимов Р.С., Капустин С.Н. Процессы разрушения поверхности титанового сплава ЗМ под действием электрокоррозии, Сборник научных трудов

- Международной конференции «Инновационные технологии и новые материалы: физика, химия, техника и инженерия», 23 - 26 апреля 2019 г., с 93-96
2. Бутырская Е.В., Запрягаев С.А., Нечаева Л.С. Способ получения антикоррозионного лакокрасочного материала, Патент 2662010, 2016 г.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Котенков П. В.¹, Гилев И.О.¹, Попова Э.А.¹, Подкин Е.С.¹

¹) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: p.kotenkoff@yandex.ru

DEVELOPMENT OF HIGH-ENTROPY EUTECTIC ALLOYS FOR STRUCTURAL APPLICATIONS

Kotenzkov P. V.¹, Gilev I.O.¹, Popova E.A.¹, Podkin E.S.¹

¹) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The systems AlCoFeNiTi, CoCuFeNiTi, AlCoCrFeNi are considered from the point of view of creating structural alloys with a eutectic structure.

Одной из современных концепций дизайна новых материалов, является использование многокомпонентных сплавов сложного состава, в которых отсутствуют доминирующие элементы (высокоэнтروпийные сплавы (ВЭС)) [1-3]. Огромный интерес к изучению ВЭС вызван перспективностью их практического применения и фундаментальностью проблемы структурообразования в многокомпонентных растворах сложного химического состава [4]. Большинство ВЭС не демонстрируют превосходных механических свойств по сравнению с обычными сплавами, если они образуют простые твердые растворы, которые стабилизируются за счет энтропии.

С точки зрения механических свойств известно, что однофазные ВЭС с ОЦК структурой имеют низкую пластичность, но высокую прочность, а ВЭС с ГЦК структурой имеют повышенную пластичность, но пониженную прочность. Изготовление ВЭС с композиционной эвтектической структурой с ГЦК/ОЦК фазами, которые обладают благоприятными механическими и литейными свойствами позволит устранить препятствие для их дальнейшего технологического применения. Эвтектические сплавы также обладают равновесной микроструктурой, сопротивлением ползучести при повышенных температурах, а некоторые и структурой *in-situ* композита.

В данной работе рассмотрены три системы AlCoFeNiTi, CoCuFeNiTi, AlCoCrFeNi с точки зрения создания высокоэнтропийных эвтектических сплавов. Во всех этих системах при эквимолярном составе наряду с многокомпонентным раствором наблюдается фазы эвтектического характера. Изучение процессов кристаллизации и фазообразования, а также условий увеличения доли эвтектики, будет играть важную роль в создании нового класса конструкционных материалов – высокоэнтропийных эвтектических сплавов.

1. B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight, A.J.B. Vincent. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys Mater. Sci. Eng. A, 375–377 (2004), pp. 213-218.
2. T.K. Chen, T.T. Shun, J.-W. Yeh, M.S. Wong. Nanostructured nitride films of multi-element high-entropy alloys by reactive DC sputtering Surf. Coat. Technol., 188–189 (2004), pp. 193-200.
3. C.-Y. Hsu, J.-W. Yeh, S.-K. Chen, T.-T. Shun. Wear resistance and high-temperature compression strength of FCC CuCoNiCrAl0.5Fe alloy with boron addition. Metall. Mater. Trans. A, 35A (2004), pp. 1465-1469.
4. D. Miracle, J. Miller, O. Senkov, C. Woodward, M. Uchic, J. Tiley, Exploration and development of high entropy alloys for structural applications//, Entropy 16 (2014) 494–525.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ЖИДКОГО РАСПЛАВА ПРИ АБЛЯЦИИ ОКСИДА ИТТРИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННОГО ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА

Кременецкий М.В.¹, Осипов В.В.¹, Евтушенко Г.С.³, Платонов В.В.¹,
Тихонов Е.В.¹, Васнев Н.А.², Гембух П.И.², Тригуб М.В.², Кочурин Е.А.¹

¹) Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

³) Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, г. Москва, Россия

E-mail: mihakremen@gmail.com

RESEARCH ON THE DYNAMICS OF THE LIQUID MELT SPLASHING DURING THE ABLATION OF YTTRIUM OXIDE WITH THE RADIATION OF A FIBRE YTTERBIUM LASER

Kremenetskii M.V.¹, Osipov V.V.¹, Evtushenko G.S.³, Platonov V.V.¹,
Tikhonov E.V.¹, Vasnev N.A.², Gembuh P.I.², Trigub M.V.², Kochurin E.A.¹

¹) Institute of Electrophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

²) V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences (IAO SB RAS), Tomsk, Russia

³) Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and
Consulting Services, Moscow, Russia

Dependences of the delay time of the appearance of the laser plasma, the delay in the departure or absence of melt droplets from the target crater of 1%Nd:Y₂O₃ were investigated.

Для получения нанопорошка из оксидов металлов, шпинели и керамик (TiO₂, SiO₂, MgAl₂O₄, Al₂O₃, 1%Nd:Y₂O₃, YSZ) используют метод абляции мишени из спрессованного материала излучением иттербиевого волоконного лазера $\lambda = (1,07 \pm 0,00325)$ мкм в импульсно периодическом режиме. Производительность получения нанопорошка может снижаться из-за разбрызгивания давлением пара множества капель расплава с 96 размерами 10÷100 мкм. Кроме того, при испарении сложных оксидов расплескивание расплава увеличивает отклонение химического состава наночастиц от состава мишени. В данной работе исследуются зависимости времени задержки появления лазерного факела, задержки вылета или отсутствия капель расплава из кратера мишени 1%Nd:Y₂O₃. Данные получены во время скоростной видеосъёмки разбрызгивания капель расплава. Эксперимент проводился совместно с Томским институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в марте 2021.

Для съёмки использовался лазерный монитор на основе усилителя яркости на парах CuBr с частотой следования импульсов излучения 22 кГц, что позволило устранить на изображениях собственное свечение лазерного факела и наблюдать

разбрызгивание каплей. Видеоизображение регистрировалось камерой AOS Q-PRI, форма импульса волоконного лазера - pin-фотодиодом SFN2500FA, свечение лазерного факела - фотоэлементом ФЭК-22-СПУ-М. Лазерное излучение направлялось на мишень по нормали и фокусировалось линзой с $F=400$ мм в круглое пятно диаметром 430 мкм. Иногда мишень устанавливалась под углом 45° , и пятно имело форму эллипса (430x610 мкм).

Установлено, что расплав расплескивается обычно отдельными струями, из края кратера, которые в воздухе разделяются на отдельные капли. Разбрызгиваются и одиночные капли. При падении излучения на мишень по нормали, длительности импульсов 1300 мкс и мощности излучения на мишени $P=670$ Вт ($I=0.46$ МВт/см²) расплав начинает расплескиваться спустя 70-200 мкс после образования факела, а при $P=260$ Вт ($I=0.18$ МВт/см²) задержка увеличилась до 570-850 мкс. При $P=205$ Вт ($I=0.14$ МВт/см²) расплав в половине случаев не смог оторваться от брусстера в виде капли, в одном случае капли образовались через 1050-23 мкс, а ещё в одном через 60-23 мкс.

В итоге, расплескивание расплава из кратера является сложным гидродинамическим процессом, и для выяснения механизма образования капель нужны дополнительные исследования.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ №20-38-70022 «Стабильность» и в рамках Гос. Задания №АААА-А19-119020790031-5. Усилитель яркости изготовлен в рамках проекта РНФ 19-79-10096.

1. Trigub M. V., Platonov V. V., Fedorov K. V., Evtushenko G. S., Osipov V. V., "DYNAMIC OF NANOPOWDER PRODUCTION DURING LASER TARGET EVAPORATION", Russian Physics Journal, Vol. 59, No. 8, December, 2016 (Russian Original No. 8, August, 2016)
2. Platonov V. V., Osipov V. V., Solomonov V.I., Snigireva O.A., Ivanov M.G., Lisenkov V.V., Laser Phys., 16 (1), 134 (2006)

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН НИТРИДОМ ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARC PVD МЕТОДА

Куклин И.Э.¹, Хлебников Н.А.¹, Поляков Е.В.², Барашев Н.Р.^{1,2},
Здоровец М.В.^{1,3,4}, Козловский А.Л.^{3,4}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург

³) Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

⁴) Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Ка-
захстан

E-mail: kuklin.ilya@urfu.ru

MODIFICATION OF THE POLYMER TRACK ETCHED MEMBRANES SURFACE BY ARC PVD SPUTTERED TIN THIN FILMS

Kuklin I.E.¹, Khlebnikov N.A.¹, Polyakov E.V.², Barashev N.R.^{1,2},
Zdorovets M.V.^{1,3,4}, Kozlovskiy A.L.^{3,4}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of solid state chemistry of UB RAS, Yekaterinburg, Russia

³) Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

⁴) L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

This article investigates the surface modification of polymer track-etched membranes by Arc PVD method sputtering of titanium nitride thin films to improve its physical and chemical characteristics.

В настоящее время идет бурное развитие технологий мембранного разделения сложных смесей. Для решения таких задач можно использовать трековые мембраны из полиэтилентерефталата. Производство в промышленном масштабе, дешевизна, высокая устойчивость в различных средах, малая толщина и высокая однородность пор, незначительное сопротивление течению фильтруемой среды, высокая селективность разделения, низкая адсорбция растворенных веществ и легкость регенерации говорят о перспективности использования таких мембран [1]. Однако, в некоторых случаях требуются особые поверхностные физико-химические свойства, которые позволят значительно расширить условия эксплуатации трековых мембран. В связи с чем возникла необходимость разработать способ модификации поверхности трековых мембран для придания им дополнительных функциональных свойств.

В данной работе рассматривается нанесение методом Arc PVD нитрида титана на поверхность трековых мембран при разном времени напыления. Выбор нитрида титана обусловлен широким спектром функциональных свойств, среди которых высокая стойкость в различных агрессивных средах, био- и химической

инертность, а также относительная дешевизна и экологическая безопасность[2]. Такие свойства позволяют говорить о возможности его применения в качестве функционального покрытия на полимерных трековых мембранах.

Для аттестации композитных трековых мембран, определения состава и морфологии покрытия были использованы методы сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионного анализа, рентгенофазового анализа, атомно-силовой микроскопии, оптического измерения угла смачивания.

В результате установлено, что при разном времени напыления наблюдается изменение морфологии частиц покрытия, шероховатости и волнистости поверхности композитных мембран, фазового состава покрытия, контактного угла смачивания. Как итог, композитные мембраны показали значительное улучшение физико-химических свойств по сравнению с исходными образцами.

1. B. S. Lalia, V. Kochkodan, R. Hashaikeh, N. Hilal, Des., 326, 77–95 (2013)
2. L.A. Cyster, Biomolec. Engin., 19, 171-175 (2002)

НОВЫЙ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ: СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Кузнецова Ю.В.¹, Путилова В.Д.², Попов И.Д.¹

¹) Институт химии твердого тела Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: jukuznetsova@mail.ru

NEW GLASS-CERAMICS MATERIAL: SYNTHESIS AND OPTICAL PROPERTIES

Kuznetsova Yu.V.¹, Putilova V.D.², Popov I.D.¹

¹) Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The synthesis of new luminescent glass-ceramics based on Ce doped garnet and CdS doped glass is reported. For the first time, the glass with CdS was used simultaneously as matrix and yellow-red phosphor to prepare material for the white light sources.

В настоящее время наблюдается огромный спрос на источники света с высокой энергоэффективностью в самых разных сферах деятельности человека [1]. Многие из этих сфер, например, художественные мастерские, музеи, полиграфия, медицина, автомобилестроение и др., предъявляют самые высокие требования к осветительным приборам: экстремальные условия работы, большой световой поток, высокий индекс цветопередачи и др.

Основным недостатком источника белого света на основе светодиодов является несбалансированное соотношение красного, синего и желтого цветов в спектре, что понижает его индекс цветопередачи. Также, основной проблемой при эксплуатации таких источников является перегрев люминофора и падение эффективности его работы вследствие деградации, вплоть до полного разрушения [2]. Поэтому в настоящее время активно развивается направление создания источников белого света, в которых данные проблемы будут преодолены.

Целью данного исследования являлось создание и исследование нового композитного материала для источников белого света с повышенной эффективностью и цветопередачей на основе алюмоиттриевого граната, допированного церием (YAG:Ce), и силикатного стекала с наночастицами сульфида кадмия (gCdS). Синтез порошка YAG:Ce проведен золь-гель методом [3]. Синтез стекла с наночастицами CdS провели по методике, отработанной ранее [4]. Образцы стеклокерамики получали путем смешивания исходных порошков YAG:Ce и gCdS в соотношении 1:8, последующего прессования в виде таблеток и отжига на воздухе при температурах 595-680 °С в течение 3 ч. Полученные образцы исследованы

методом рентгенофазового анализа, абсорбционной и люминесцентной спектроскопии.

В новом композитном люминесцентном материале стекло с наночастицами CdS одновременно выполняет функции матрицы, связывающей частицы YAG:Ce, и люминофора, излучающего в желтой и красной области спектра и, тем самым, дополняющим спектр излучения алюмоиттриевого граната.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 21-72-00060.

1. LED Lighting Market Share & Growth Report, 2021-2028, Gd. View Res. (2021) 1–140. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/led-lighting-market> (accessed January 31, 2022).
2. Xia Z., Meijerink A. Chemical Society Reviews, V. 46, P. 275-299 (2017).
3. Zhang K., Liu H.-Z., Wu Y.-T., Hu W.-B. Journal of Alloys and Compounds, V. 453, P. 265–270 (2008).
4. Popov I.D., Sochor B., Schummer B., Kuznetsova Y.V., Rempel S.V., Gerth S., Rempel A.A. Journal of Non-Crystalline Solids, V. 529, P. 119781 (2020).

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРНА

Ланцев Е.А.¹, Нохрин А.В.¹, Чувильдеев В.Н.¹, Сметанина К.Е.¹,
Мурашов А.А.¹

¹) Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия
E-mail: elancev@nifti.unn.ru

HIGH-TEMPERATURE DEFORMATION OF CERAMICS BASED ON TUNGSTEN CARBIDE WITH DIFFERENT GRAIN SIZES

Lantsev E.A.¹, Nokhrin A.V.¹, Chuvildeev V.N.¹, Smetanina K.E.¹,
Murashov A.A.¹

¹) Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

The aim of this work is to study the high-temperature deformation behavior of sintered tungsten carbide ceramics with different grain sizes. It is shown that the creep activation energy in UFG tungsten carbide with a grain size of $\sim 0.15 \mu\text{m}$, sintered from plasma-chemical nanopowder, is $\sim 31 \text{ kTm}$.

Целью работы является исследование высокотемпературного деформационного поведения спеченных керамик из карбида вольфрама с различным размером зерна.

В качестве объектов исследования выступали порошки монокарбида вольфрама $\alpha\text{-WC}$ с различным начальным размером частиц: нанопорошок №1 с начальным размером частиц $\sim 95 \text{ нм}$, а также порошки №2 и №3 промышленного производства Кировоградского завода твердых сплавов с начальным размером частиц по Фишеру 0.8 мкм и 3 мкм , соответственно. Нанопорошок №1 был получен методом плазмохимического синтеза с последующим восстановительным отжигом в водороде при температуре 1050°C (3 ч).

Компактирование цилиндрических образцов диаметром 12 мм и высотой $h = 12 \text{ мм}$ проводилось методом ЭИПС при помощи установки Dr. Sinter model SPS-625.

Испытания на ползучесть проводились в двух режимах. Образцы серии №1 нагревались со скоростью $25^\circ\text{C}/\text{мин}$ до температур $T_{h1} = 1300 - 1375^\circ\text{C}$ с шагом 25°C с постоянным временем выдержки 30 мин при каждой температуре T_{h1} и постоянным приложенным одноосным давлением 70 МПа (метод «изотермической выдержки»).

Показано, что величина энергии активации ползучести в ультрамелкозернистом (УМЗ) карбиде вольфрама с размером зерна $\sim 0.15 \text{ мкм}$, спеченном из плазмохимических нанопорошков, составляет $\sim 31 \text{ kTm}$. Эта величина в $1.5\text{-}2$ раза превышает энергию активации ползучести в мелкозернистых образцах карбида

вольфрама, полученных методом ЭИПС из субмикронных (~0.8 мкм) и микронных (~3 мкм) промышленных порошков. Установлено, что величина коэффициента n варьируется от 2.4 до 3.1, что соответствует случаю движения решеточных дислокаций в поле равномерно расположенных точечных препятствий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-33-90214.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПАКОВОЧНЫХ ПЛЁНОК С ЭЛЕКТРЕТНЫМ ЭФФЕКТОМ

Лаврова Д.Д.¹, Загидуллина И.А.¹, Гужова А.А.¹, Перушкина Е.В.¹

¹) ФГБОУ ВО "Казанский национальный исследовательский технологический университет", г. Казань, Россия
E-mail: polymers_knrtu@mail.ru

INVESTIGATION OF PACKAGING FILMS WITH ELECTRET EFFECT

Lavrova D.D.¹, Zagidullina I.A.¹, Guzhova A.A.¹, Perushkina E.V.¹

¹) Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

The possibility of using electret polymeric materials for milk packaging has been investigated. It is noted that the electric field of the packaging material can inhibit the growth of bacteria harmful to dairy production.

Рынок упаковочных материалов является наиболее значительным сектором применения полимеров, которые используются, как для изготовления различной тары и упаковки для пищевых и не пищевых продуктов. Полимерная упаковка по многим параметрам превосходит другие виды упаковки из стекла, бумаги, картона и т.д. Она стойкая ко многим типам веществ, не подвержена воздействию неорганических веществ, включая кислоты, щелочи и органические растворители. Полимерная упаковка не способствуют размножению микроорганизмов, термостойкая, может быть разной степени прозрачности и цвета, сравнительно легкая и рентабельна в промышленном производстве.

В работах [1, 2] показано, что электрические поля могут подавлять рост и развитие некоторых видов микроорганизмов.

Под действием электрического поля интенсивность дыхания, теплопродукция и другие энергетические параметры микробных клеток снижаются, что свидетельствует о замедлении метаболических процессов.

Исходя из этого, была высказана гипотеза о том, что в качестве способа увеличения срока хранения пищевого продукта можно использовать упаковку, обладающую постоянным электрическим полем.

Материалы, обладающие постоянным электрическим полем, называются электретами. Диапазон их использования простирается от бытовой техники (широко известны высококачественные электретные микрофоны) до техники специального назначения (например, электретные дозиметры, электретные гидрофоны и т.п.) [3].

В данной работе рассматривается возможность использования электретных материалов на основе промышленных упаковочных пленок из полиэтилена, полистирола, полипропилена, полиэтилентерефталата и биоразлагаемого полимера полилактида в качестве упаковочного материала для молочных продуктов.

Выявлено, что электрическое поле упаковочного материала может ингибировать рост бактерий вредителей молочного производства. На поверхности электретного полимера не развивается гнилостная микрофлора, а образуется биопленка с преобладанием молочнокислых бактерий и происходит формирование плотного сгустка при его сквашивании, что соответствует высоким показателям кислотности пищевого продукта. Активная электретная полимерная упаковка способствует сохранению естественной микрофлоры пастеризованного молока и препятствует размножению микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов.

1. Крыницкая А.Ю., Борисова А.Н., Галиханов М.Ф., Сысоева М.А., Гамаюрова В.С. Пищевая промышленность, 1, 27-29 (2011).
2. Галиханов М.Ф., Борисова А.Н., Дебердеев Р.Я. Пищевая промышленность, 12, 42-43 (2006).
3. Гороховатский Ю.А. Соросовский образовательный журнал, 8, 92-98 (1997).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Леухин С.А.¹, Шмидберский П.А.¹

¹) АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» (АО «НИИЭФА»), г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: a.l.serg@mail.ru

USE OF BEAM-PLASMA TECHNOLOGIES TO INCREASE THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF OIL AND GAS EQUIPMENT PARTS

Leukhin S.A.¹, Schmidbersky P.A.¹

¹) Efremov Scientific Research Institute of Electrophysical Apparatus (NIEFA Efremov), St. Petersburg, Russia

The article considers the main technologies for improving the functional properties of oil and gas equipment. The advantages of beam-plasma technologies are highlighted. The temperature fields in the samples under the action of a pulsed electron beam are calculated.

В качестве основных целей выдвигаемых при использовании пучково-плазменных технологий для повышения функциональных свойств изделий в современном машиностроении, наиболее часто выступают повышение коррозионной стойкости и износостойкости, что особенно важно для энергонагруженных деталей и узлов нефтегазопромыслового оборудования, инструмента и труб, эксплуатируемых в экстремальных условиях большинства месторождений нефти и газа Западной Сибири.

Среди методов нанесения коррозионностойких и износостойких покрытий на материалы, наибольшее распространение получили газотермическое напыление и наплавка защитного слоя при давлениях порядка атмосферного, а также ионно-плазменные методы при пониженных давлениях (вакуумно-дуговое и магнетронное напыление). Однако, при их использовании, основной проблемой является зона контакта материала покрытия с поверхностью изделия [1].

Альтернативным способом повышения эксплуатационных свойств рабочей поверхности деталей нефтегазового оборудования, могут быть технологии, направленные на изменения структуры и химического состава приповерхностного слоя. К таким технологиям можно отнести технологии ионного легирования и формирование защитного слоя пучками различных ионов, а также модификацию поверхностных свойств деталей мощными импульсными электронными пучками.

Основным преимуществом технологии ионного легирования является возможность введения строго заданного количества любого элемента в приповерхностный слой металлов, получая уникальные характеристики по коррозионной и износостойкости. Такая технология позволяет создавать в приповерхностном

слое сплавы с определенными свойствами на глубины 0,1-2 мкм, а также формировать на поверхности пучками ионов защитный слой заданной толщины и состава, используя легируемый слой как переходный. Создаваемый защитный слой, обладая высокой механической прочностью, является единым целым с основным материалом обрабатываемого изделия [2].

Обработка мощными импульсными электронными пучками материалов приводит к формированию нано-структурированных поверхностных слоев с повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью и динамической прочностью. При воздействии мощного импульсного электронного пучка на материал его слой глубиной порядка пробега частиц в данном материале может быть нагрет очень быстро до температур фазовых переходов (плавление, испарение, аустенитное превращение и т.д.). После окончания импульса пучка происходит быстрое охлаждение обработанного слоя за счет теплопроводности в глубь материала. Скорость нагрева может достигать 108-1011 град/сек, максимальная скорость охлаждения (107-109 град/сек). Для описания теплового источника рассматривалось пространственно-энергетическое распределение пучка электронов в веществе моделированием большого числа траекторий электронов в материале и выполнен расчет температурных полей в образцах под действием импульсного электронного пучка.

1. Р.Н. Плоmodityанов, А.А. Шмидберская, С.С. Штоколов, В.Н. Сызранцев, К.И. Ткаченко Сравнительный анализ технологий модификации поверхности деталей нефтегазового оборудования // Наука и техника, 2, 35-40 (2018).
2. А.А. Шмидберская, П.А. Шмидберский, А.А. Кислицын Использование пучков тяжелых ионов для обработки поверхности твердых тел // Теплофизика, гидродинамика, теплотехника: Сб. статей. Тюмень: ТюмГУ, 2008. Вып.4. С. 116–122.

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ БИОСОВМЕСТИМОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ Ti-Nb НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА, ФОРМИРУЕМЫЕ ПРИ ОТЖИГЕ

Лиштван Р.Н.¹, Коренев А.А.¹, Илларионов А.Г.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: raucka@mail.ru

THE EFFECT OF COMPLEX ALLOYING OF A BIOCOMPATIBLE TITANIUM ALLOY BASED ON THE Ti-Nb SYSTEM ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES FORMED DURING ANNEALING

Lishtvan R.N.¹, Korenev A.A.¹, Illarionov A.G.¹

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The effect of complex alloying of Zr, Sn, Ta alloy of Ti-Nb system based on β -solid solution in cold-rolled state on the evolution of structure and properties (microhardness and contact modulus of elasticity) during recrystallization annealing is investigated.

Титановые сплавы на основе β -твердого раствора на основе системы Ti-Nb являются более перспективным материалом для изготовления медицинских имплантатов по сравнению с другими металлическими материалами (нержавеющая сталь, кобальтовые сплавы, Ti-6Al-4V) за счет сочетания хорошей биосовместимости, коррозионной стойкости с низким модулем упругости [1]. Однако [1], относительно низкая прочность этих сплавов может привести к выходу из строя имплантата при эксплуатации. Способом повышения прочности сплава является комплексное легирование. В работе [2] показано, что многокомпонентный сплав Ti-39Nb-5Zr-2Sn-2Ta (мас. %) (TNZST) после закалки и последующей холодной прокатки более прочен по сравнению с двойным сплавом Ti-41Nb (мас. %). Кроме того, в работе [3] на сплавах системы Ti-Nb-Al установлено, что проведение отжига холоднодеформированного сплава может привести к снижению его модуля упругости за счет формирования благоприятной текстуры. В связи с этим, целью работы является изучение влияния режима отжига на изменение структуры и физико-механических свойств (микротвердость по Виккерсу, контактный модуль упругости) холоднокатаных сплавов Ti-41Nb и TNZST. Накопленная в сплавах степень холодной деформации составила 90%, отжиг проведен при температуре 700 °C в течение 2, 8 и 32 минут.

Обнаружено, что в холоднокатаных сплавах наблюдается вытянутые вдоль направления прокатки β -зерна. Отжиг при 700 °C приводит в обоих сплавах к образованию рекристаллизованной β -структуры, что согласуется с работой [4]. Образование и рост новых зерен в сплаве TNZST происходит медленнее, чем у

сплава Ti-41Nb из-за более низкой диффузионной подвижности Zr, Sn, Ta по сравнению с Nb.

Показано, что увеличение выдержки при отжиге с 2 до 32 мин за счет замедления протекания процессов рекристаллизации в комплексно-легированном сплаве TNZST приводит к меньшему снижению микротвердости (с 250 до 218 HV) по сравнению с двойным сплавом Ti-41Nb (с 235 HV до 204 HV) и малому изменению контактного модуля упругости, варьируемому в пределах 47 - 50 ГПа в отличие от значительного его снижения с 58 до 48 ГПа в сплаве Ti-41Nb. Фиксируемые изменения модуля упругости в сплавах при отжиге хорошо коррелируют с изменением их текстурного состояния, аттестованного методом рентгеноструктурного анализа.

Таким образом, установлено, что комплексное легирование Zr, Sn, Ta сплава TNZST обеспечивает в отожженном состоянии более высокий уровень твердости при сопоставимых характеристиках модуля упругости со сплавом Ti-41Nb.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-13-00220).

1. Q. Chen, G.A. Thouas. *Materials Science and Engineering R*. 87. 1–57. (2015)
2. A.A. Korenev, S.V. Grib, A.G. Illarionov. *AIP Conference Proceedings* 2313, 060007 (2020)
3. T. Inamura, R. Shimizu, H. Y. Kim and et.al. *Materials Science and Engineering C*. 61. 499–505. (2016)
4. А.А. Корнев, Н.С. Кочешева, А.Г.Илларионов. *Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2021: тезисы докладов VIII Международной молодежной научной конференции, Екатеринбург, 17-21 мая 2021. УрФУ, 800-801. (2021).*

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ In_2Se_3

Лобанов А.Д.^{1,2}, Сулимов М.А.¹, Сарычев М.Н.², Корх Ю.В.¹, Иванов В.Ю.²,
Кузнецова Т.В.¹, Бондарь И.В.³

¹⁾ Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

²⁾ УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³⁾ Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиотехники,
г. Минск, Беларусь
E-mail: lobaleks1999@mail.ru

INFLUENCE OF IRRADIATION SEMICONDUCTORS OF In_2Se_3 И Cu_2SnS_3 BY 10 MeV ELECTRONS ON ELECTRONIC STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES

Lobanov A. D.^{1,2}, Sulimov M.A.¹, Sarychev M.N.², Korkh Yu.V.¹, Ivanov V.Y.²,
Kuznetsova T.V.¹, Bondar I.V.³

¹⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics UB RAS, Ekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

³⁾ Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Single crystals In_2Se_3 и Cu_2SnS_3 were studied by photoluminescence spectroscopy, Kelvin's probe, current spectroscopy before and after irradiation with 10 MeV electrons with fluences 10^{13} - 10^{17} cm^{-2} .

Материал In_2Se_3 являются перспективными материалами для фотовольтаики [1,2]. В большинстве материалов при облучении электронами больших энергий наблюдается деградация электрических характеристик. В связи с этим, особое значение имеет исследование влияния облучения ускоренными частицами на электронные свойства, их радиационная стойкость.

Образцы In_2Se_3 были облучены различными дозами электронов 10^{13} - 10^{17} cm^{-2} с энергией 10 МэВ. Измерения спектров ФЛ проводились при температурах от 7 до 340 К до и после облучения. При больших дозах 10^{16} - 10^{17} для образцов In_2Se_3 наблюдалось незначительное уменьшение интенсивности основного пика при энергии 1.33 эВ и значительное увеличение интенсивности дополнительного пика при 0.98 эВ. При увеличении температуры интенсивность основного пика уменьшается и сдвигается в сторону больших длин волн. У облученных образцов при температурах больших 110К наблюдается большая интенсивность низкоэнергетического пика в сравнении с интенсивностью основного пика, затем при увеличении температуры происходит уменьшение интенсивности.

Таким образом, облучение приводит к увеличению относительной интенсивности низкоэнергетических полос ФЛ, которые обусловлены излучательной рекомбинацией неравновесных носителей заряда на дефектах. После облучения

уменьшается абсолютная интенсивность ФЛ из-за образования безызлучательных дефектов, действующих как глубокие ловушки.

По результатам метода зонда Кельвина для In_2Se_3 построена зависимость величины флуктуаций поверхностных потенциалов от дозы облучения электронами. При облучении происходит уменьшение флуктуаций детектированных поверхностных потенциалов, то есть распределение поверхностных зарядов становится более однородным, в отличие от исходного образца.

С помощью метода токовой спектроскопии для In_2Se_3 построена зависимость величины локального сопротивления растекания от дозы облучения электронами. Локальное сопротивление In_2Se_3 существенно уменьшается при небольших дозах облучения электронами и существенно возрастает при электронном облучении дозой 10^{17} см^{-2} .

1. M. A. Kenawy, H. A. Zayed, and A. M. A. El-Soud, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 1, 115 (1990).
2. S. T. Lakshmikumar and A. C. Rastogi, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 32, 7 (1994).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ $\text{La}_{1.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Ni}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_{4+\delta}$

Максимчук Т.Ю.¹, Пикалова Е.Ю.^{1,2}, Пикалов С.М.³, Филонова Е.А.¹,
Пикалова Н.С.^{2,3}, Гилев А.Р.¹, Яремченко А.А.⁴, Захарчук К.В.⁴

¹) Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

⁴) Институт материалов Авейро, г. Авейру, Португалия
E-mail: vfrcbvxernfyz@mail.ru

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF THE $\text{La}_{1.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Ni}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_{4+\delta}$ CATHODES

Maksimchuk T. Yu.¹, Pikalova E. Yu.^{1,2}, Pikalov S. M.³, Filonova E. A.¹,
Pikalova N. S.^{2,3}, Gilev A. R.¹, Yaremchenko A. A.⁴, Zakharchuk K. V.⁴

¹) Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

³) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

⁴) Aveiro Institute of Materials, Aveiro, Portugal

The results of present work demonstrate that the developed $\text{La}_{1.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Ni}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_{4+\delta}$ -based electrode can be considered as prospective cathode for intermediate temperature solid oxide fuel cells.

Среди систем производства и преобразования энергии на основе водорода твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) признаны одной из наиболее перспективных технологий. Современные тенденции к снижению рабочих температур данных устройств до 600-700 °С, требуют разработки недорогих оксидных электродов, имеющих высокую электрохимическую активность в данных температурных условиях.

Сложные оксиды со структурой Раддлесдена-Поппера $\text{Ln}_2\text{NiO}_{4+\delta}$ (Ln = La, Pr, Nd) были успешно протестированы в качестве катодных материалов среднетемпературных ТОТЭ [1]. $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$ характеризуется наиболее высокой термической стабильностью среди нелегированных фаз. Было показано, что одновременное легирование La-подрешетки Ca и Ni-подрешетки Cu имеет преимущества в увеличении общей проводимости и в улучшении электрохимической активности электродов в контакте с электролитами [2].

В связи с перспективой практического использования в ТОТЭ сложных оксидов $\text{La}_{1.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Ni}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_{4+\delta}$ (LCNC) представляет интерес изучение взаимосвязи их

кристаллической структуры, электротранспортных и электрохимических свойств. С данной целью, в рамках данного исследования материалы серии LCNC ($y=0.0-0.4$) были синтезированы методом твердофазной реакции. Показано, что все материалы обладают тетрагональной структурой с пространственной группой $I4/mmm$. Параметр элементарной ячейки c и объем ячейки увеличиваются при легировании Cu. Данные по прямому восстановлению образцов в атмосфере 50 об.% $H_2/50$ об.% Ar , свидетельствуют об уменьшении нестехиометрии кислорода δ с увеличением содержания Cu. Наблюдаемое поведение может быть объяснено способностью катиона меди быть акцептором электронов. При нагревании на воздухе составы с содержанием меди выше 0.2 становятся кислород-дефицитными, что сопровождается формированием кислородных вакансий в перовскитных слоях сложных оксидов.

Согласно полученным данным по электропроводности, измеренной на компактных образцах LCNC 4-х зондовым методом на постоянном токе, максимальное значение σ соответствует нелегированному образцу (106.5 См/см при 600 °С), для LCNC $y=0.2$ и $y=0.4$ σ составляет 98.2 и 90.7 См/см, соответственно. Тем не менее, слоевое сопротивление тонких слоев LCNC, припеченных на электролите $Se_{0.8}Sm_{0.2}O_{1.9}$ при 1000 °С, уменьшается (Рис. 1 а).

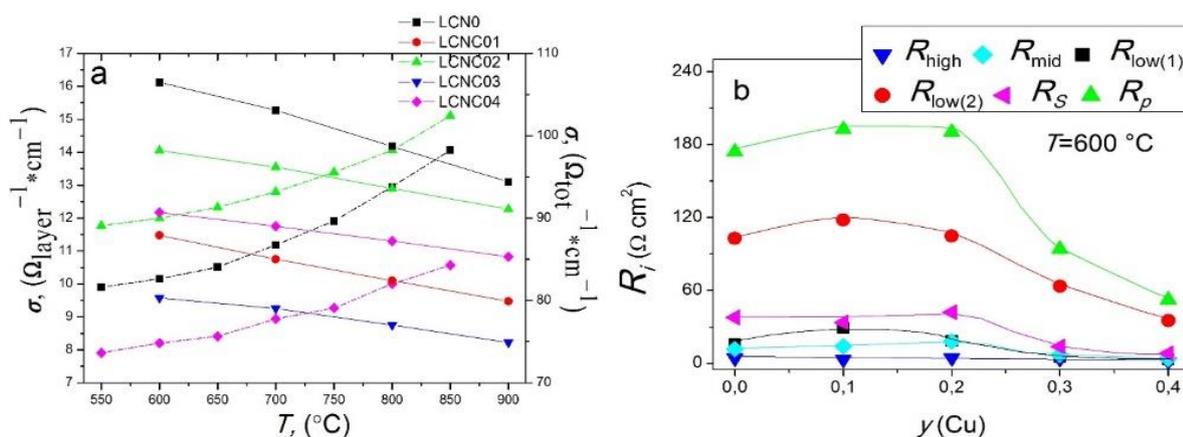


Рис. 1. Проводимость (компакты) и слоевая проводимость (слой 100 мкм на SDC, припекание 1000 °С) LCNC материалов (а); концентрационная зависимость сопротивления частичных вкладов и общее сопротивление поляризации электродов LCNC, припеченных при 1000 °С на SDC электролите (б)

Исследования электродов методом импедансной спектроскопии показали, что при увеличении содержания меди выше 0.2 общее поляризационное сопротивление электродов, R_p , снижается. Анализ спектров с применением метода распределения времен релаксации, свидетельствует об уменьшении электродного поляризационного вклада. Кроме того, уменьшается вклад процесса переноса заряда, что обусловлено улучшением адгезии электродов с медью с электролитной подложкой (Рис. 1 б).

Результаты настоящей работы демонстрируют, что разработанный электрод на основе LCNC0.4 может рассматриваться в качестве перспективного катода для среднетемпературных ТОТЭ.

1. Singh M., Zappa D., Comini E., *Int. J. Hydrogen Energy*, 46, 27643-27674, (2021).
2. Su H., Hu Y.H., *Chem. Engin. J.*, 402, 126235, (2020).

МЕТАМАТЕРИАЛЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ, АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

Манько И.Д.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: totaduna@mail.ru

METAMATERIALS. CLASSIFICATION, ANALYSIS OF DEVELOPMENT AND APPLICATION POSSIBILITIES

Manko I.D.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This paper provides a classification of metamaterials, as well as an analysis of their useful properties, comparing the possibilities of applying metamaterials in various industries.

В настоящее время в научном сообществе особое внимание уделяется метаматериалам. В общем определении метаматериалы являются композиционными материалами, свойства которых определяются искусственно созданной периодической структурой – кристаллической решеткой. Материалы, свойства которых были предсказаны ещё в конце 19го века, обладают в настоящее время высоким потенциалом к применению, являясь быстро развивающейся и привлекательной для изучения областью. Анализ полезных свойств метаматериалов приводит к необходимости сравнения, классификации, освещения и обсуждения уже известных разработок в области их исследований. В рамках классификации метаматериалов можно разделить их на материалы с особыми механическими, оптическими, а также электромагнитными свойствами.

Получившие широкое распространение, метаматериалы с оптическими и электромагнитными свойствами по праву занимают ведущее положение в многочисленных исследованиях, направленных на их дальнейшее изучение. Такое развитие обусловлено достаточно широко определенной областью применения метаматериалов – в микроэлектронике, радиоэлектронике, медицине. [1],[2].

Метаматериалы с особыми механическими свойствами, в том числе ауксетики (материалы с обратным коэффициентом Пуассона), обращают на себя несколько меньшее внимание, в силу более размытой, нечеткой области применения. Однако потенциал метаматериалов с механическими свойствами сложно переоценить – в ближайшем будущем они могут быть связаны с производством брони, медицинских инструментов, например, при коронарном шунтировании сосудов, при изготовлении деталей точных приборов и механизмов [3].

Цель данной работы – провести анализ области применения метаматериалов, оценить и сравнить потенциал применения, возможности производства не только метаматериалов с электромагнитными и оптическими свойствами, но и

метаматериалов с механическими свойствами. Для анализа и сравнения метаматериалов была приведена классификация по их свойствам. Для более подробного анализа области применения метаматериалов была введена практическая часть – разработанный и изготовленный на 3D принтере (FDM технология) макет модели решетки макроскопического ауксетика [4], с возможностью применения в качестве пособия при изучении дисциплин «материаловедение» и «теоретическая механика».

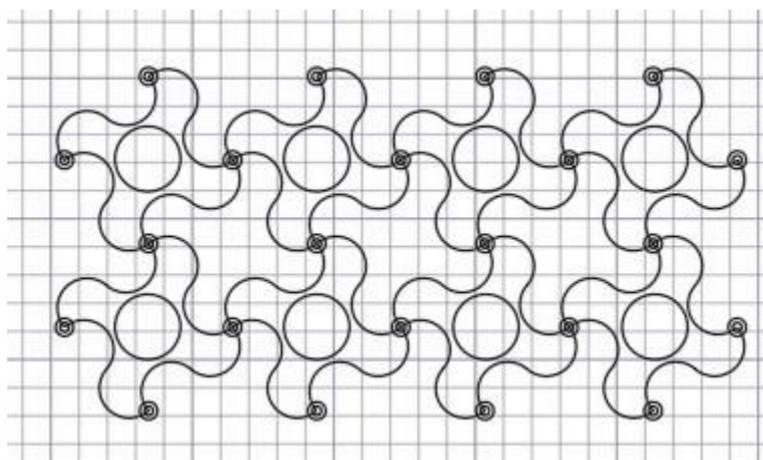


Рис. 1. Схема рассматриваемой в практической части модели моностабильного ауксетика в разобранном виде.

Выражаю благодарность Журавлевой Елене Юрьевне за научное руководство при проведении исследовательской работы, Тарасову Степану Станиславовичу за содействие при печати макета ауксетической решетки.

1. В. Слюсар. "Метаматериалы в конструкциях антенн" / - Access mode: URL: <https://www.electronics.ru>
2. В. Слюсар. "Метаматериалы в антенной технике: история и основные принципы" / - Access mode: URL: <https://www.electronics.ru/journal/article/287>
3. С.А. Муслов, В.А. Андреев. "СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ: СВОЙСТВА, ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ" / - Access mode: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43861963>
4. Stavrik Milena, Albert Wiltche "Geometrical Elaboration of Auxetic Structures" / - Access mode: URL: Geometrical Elaboration of Auxetic Structures.

ГИДРОДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ КАПЛИ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА В РАСПЛАВЕ ФЛЮСА

Матвеева М.А.¹, Чуманов И.В.¹, Сергеев Д.В.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия
E-mail: matveevama@susu.ru

HYDRODYNAMICS OF THE MOTION OF THE LIQUID DROPLET OF ELECTRODE METAL IN THE MOLTEN SLAG

Matveeva M.A.¹, Chumanov I.V.¹, Sergeev D.V.¹

¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

The results of mathematical modeling of liquid metal droplet hydrodynamics in the slag bath during ESR in the field of centrifugal forces are presented. The size of the bead affects its trajectory, the time of stay in the slag bath and the temperature of heating when passing the slag bath.

Наличие центробежных сил, возникающих при вращении расходуемого электрода в процессе электрошлакового переплава, придаёт отрывающимся каплям электродного металла криволинейную траекторию движения, тем самым увеличивая время пребывания капли в шлаковой ванне и повышая степень рафинирования [1]. Большее время пребывания капли металла в шлаковой ванне приводит к большему нагреву. Попадая в металлическую ванну, капли формируют геометрию её двухфазной границы. Из чего следует важность умения прогнозировать место доставки электродного металла с целью влиять на форму дна металлической ванны и формировать однородную кристаллическую структуру[2,3].

Для описания движения жидкой металлической капли создана гидродинамическая математическая модель. Для решения поставленной задачи выбрана декартова система координат с точкой отсчёта в центре торца расходуемого электрода. Считаем, что в начальный момент времени капля находится на поверхности торца на оси вращения электрода. Так же приняты допущения:

1. кинетическая энергия капли не переходит в тепло, диссипация ее кинетической энергии идет на приведение в движение расплава флюса;
2. капля жидкого металла ведет себя как твердое тело (частица) и имеет постоянную шарообразную форму радиуса;
3. химическое и тепловое взаимодействие между металлом и флюсом не влияет на движение капли;
4. процесс деформации расплавов металла и флюса в процессе их взаимного движения не сопровождается изменением их плотностей и вязкости;

5. движение капли металла в расплаве флюса (после ее отрыва от электрода) происходит в двух направлениях: в вертикальном и горизонтальном;

6. пренебрегаем влиянием на поведение частицы горизонтального течения флюса, возникающего под действием центробежных, вязкостных и электромагнитных сил.

Расчёт проводился в среде Mathcad. Создана компьютерная программа «Движение и теплообмен частицы металла в расплаве», которая может применяться для расчета и визуализации параметров движения и теплового состояния капли металла при ее отрыве от вращающегося электрода.

Результаты компьютерного моделирования гидродинамики и теплообмена при движении капли металла в расплаве флюса АНФ-6 приведены в зависимости от размера:

– для капли 1 мм вертикальная скорость движения 35 мм/сек, температура при её нахождении в шлаковой ванне 1 сек – 1490 градусов Цельсия;

– для капли 2 мм вертикальная скорость движения 80 мм/сек, температура при её нахождении в шлаковой ванне 1 сек – 1537 градусов Цельсия;

– для капли 3 мм вертикальная скорость движения 150 мм/сек, температура при её нахождении в шлаковой ванне 1 сек – 1580 градусов Цельсия.

Установлены особенности динамики поведения капель металла диаметром менее 1мм. Механизм их движения отличается от движения более крупных капель. При их отрыве от вращающегося электрода частицы «зависают» под действием вертикального потока флюса, его горизонтальным потоком выносятся на край электрода и далее опускаются с постоянной скоростью на поверхность металлической ванны.

1. Чуманов, И.В. Влияние вращения расходуемого электрода при электрошлаковом переплаве на анизотропию свойств получаемого слитка / И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, Д.В. Сергеев // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. 2019. Т. 62. №2. С. 91-96.
2. Чуманов, В.И. Кинетическая модель переплава вращающегося электрода / В.И. Чуманов, Б.П. Белозёров, И.В. Чуманов // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1994. – № 8. – С. 57–59.
3. Чуманов, И.В. Технология электрошлакового переплава с вращением расходуемого электрода / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов // Металлург. – 2001. – № 3. – С. 40–41.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДНАТЯНУТЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ЛОПАТОК ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Мелихов И.В.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: melikhovi@vk.com

SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PRELOADED GUIDE VANES OF AXIAL COMPRESSORS

Melikhov I.V.¹

¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin", Yekaterinburg, Russia

Discusses the effect of the stator blades tension in the compressor on their vibration and mechanical properties. Using the proposed mechanism, it is possible to increase the rigidity of the guide vanes, which makes it possible to reduce their thickness to improve aerodynamic characteristics.

В данной работе напряженно-деформированное (НДС) и вибрационное состояние [1] преднатянутых направляющих лопаток исследовалось на широко распространенной модельной ступени осевого компрессора.

В современном турбостроении приоритетной задачей является повышение энергоэффективности газотурбинных установок и снижение удельных массогабаритных показателей. Это возможно, в частности, за счет уменьшения толщины направляющих лопаток.

Исследование НДС выполнялось в программе конечно-элементного моделирования [2-3].

Разработана расчетная модель (рис. 1) для исследования напряженно-деформированного состояния статорной лопатки компрессора, что позволило исследовать возможность снижения толщины лопаток при сохранении их собственных частот за счёт предварительного натяжения в бандажных кольцах.

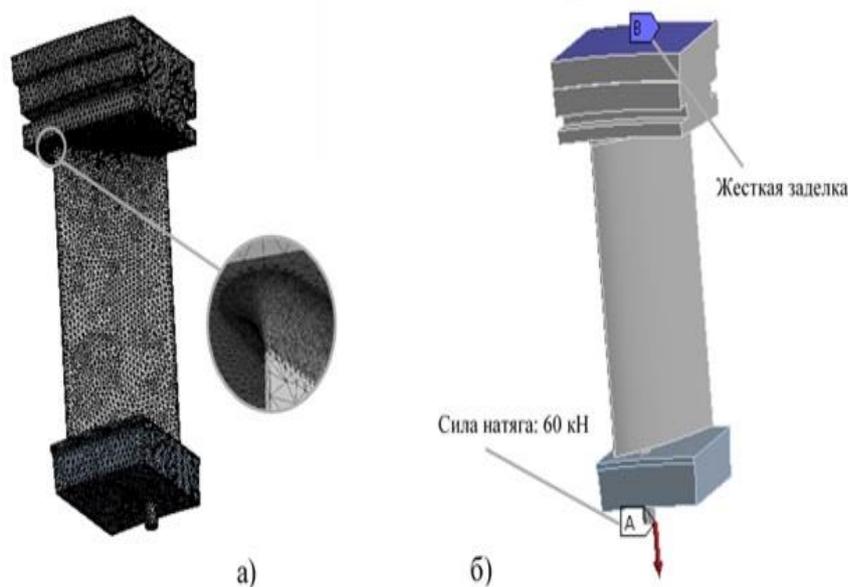


Рис. 1. Построение сетки конечных элементов и задание граничных условий лопатки в программе конечно-элементного моделирования

При достижении максимального возможного натяга с обеспечением требуемого запаса прочности ($n = 1,5$), собственная частота колебаний лопатки увеличивается в 1,8 раз. Это дает широкий диапазон настройки ЧСК, но оставляет высокую чувствительность к нагреву и дефектам во время эксплуатации.

Применение метода предварительного натяжения направляющей лопатки, позволяет регулировать ее ЧСК в широком диапазоне, что позволяет избежать резонанса.

Для того чтобы снизить толщину лопатки в 5 раз, и при этом оставить аналогичную частоту по первой форме колебаний, потребовалось натяжение в 13 кН, что вызывает предельно допустимые напряжения.

Сохранив лишь собственные частоты, мы не можем делать лопатку максимально тонкой, так как на направляющий аппарат действуют и другие нагрузки (осевые силы, крутящие моменты, силы от опор компрессора, термические напряжения). Поскольку предлагается значительное снижение толщины лопаток, то необходим более детальный учёт газодинамических усилий, особенно на переменных режимах работы компрессора.

1. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. М.: ИД МЭИ, 2007. 476 с.
2. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель В.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1978.
3. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Наука, 1980. 354 с.

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ МАРКИ ШХ15СГ ДЛЯ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Михайлов Л.В.¹, Михайлов А.В.^{1,2}, Костин В.Н.¹, Смородинский Я.Г.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: mikhaylov_lv@imp.uran.ru

METHOD FOR PREPARING SAMPLES OF BEARING STEEL GRADE ShKh15SG FOR METALLOGRAPHIC STUDIES

Mikhailov L.V.¹, Mikhailov A.V.^{1,2}, Kostin V.N.¹, Smorodinskii Ya. G.¹

¹) Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This paper describes a technique for preparing the surface of ShKh15SG samples for metallographic studies, which includes the stages of grinding and polishing.

При подготовке поверхности образцов для микроструктурных исследований используются последовательно операции шлифования, полирования и травления. Труды по металловедению [1] указывают на необходимость применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) при шлифовании образцов вне зависимости от исследуемого материала. В работе [2] отмечается недостаточность исследований влияния прилагаемого к шлифу усилия, а также природы и состава СОЖ.

На этапе полирования, после шлифования вручную образцов из стали марки ШХ15СГ с применением воды в качестве СОЖ наблюдается шероховатость, различимая глазом на макроуровне. Шероховатость представляет из себя лунки диаметром, равным размеру зерна на абразивном инструменте с наименьшей зернистостью. Это объясняется тем, что от применяемых в грубом шлифовании абразивов, наряду с типичными для данного абразива, образуются риски с большей глубиной. Данные риски не удаляются на следующих стадиях, и различить их невооруженным глазом в процессе подготовки образцов не представляется возможным. Такой результат пробоподготовки является неудовлетворительным для проведения металлографических исследований.

В настоящей работе описывается методика подготовки поверхности образцов из вышеупомянутого материала, включающая в себя этапы шлифования и полирования. Результат применения данной методики представлен на рисунке 1.

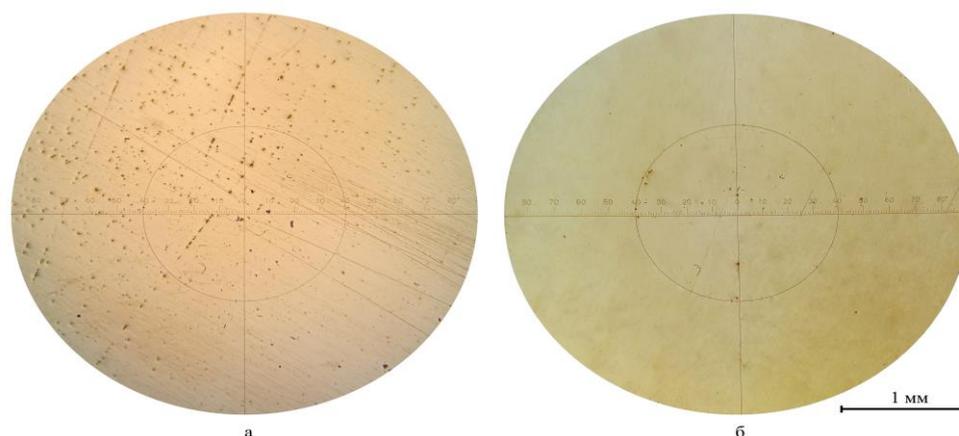


Рис. 1. Фотографии поверхности шлифа после применения методики (б), без применения методики (а)

Работа выполнена в рамках Г.р.№ АААА-А18-118020690196-3 (шифр «Диагностика»).

1. Металлография железа. Том. I. «Основы металлографии» (с атласом микрофотографий). Перев. с англ. Изд-во «Металлургия», 1972, с. 240
2. Казьмина К.В., Ахметшин Э.А. Изучение элементарного абразивного воздействия с участием смазывающе-охлаждающей жидкости на примере монокристаллического кварца // Успехи в химии и химической технологии – ТОМ XXXI – 2017 – № 6, С. 93-95.

IR SPECTROSCOPIC STUDY OF PHOTOSTIMULATED PROCESSES ON THE TITANIUM DIOXIDE SURFACE WITH ADSORBED CO MOLECULES

Mikheleva A.Y.¹, Bulanin K.M.¹, Rudakova A.V.²

¹) Department of Photonics, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

²) Laboratory "Photoactive Nanocomposite Materials", Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: st063698@student.spbu.ru

The photostimulated processes on the titanium dioxide surface in the presence of adsorbed CO molecules were studied by IR spectroscopy and volumetry methods and the main parameters of these processes were analyzed.

The processes of carbon monoxide desorption and following re-adsorption were studied by in situ IR spectroscopy and volumetry. The home-made transmission-mode IR cell with dual beam configuration was used for in situ experiments [1]. The scheme of the device and possible configurations are presented (Fig.1). The obtained data witnessed the presence of two CO bands on the TiO₂ surface, at 2210 cm⁻¹ and 2193 cm⁻¹. This finding corresponds with previous studies, where each band relates to certain type of titanium center with different coordination number [2].

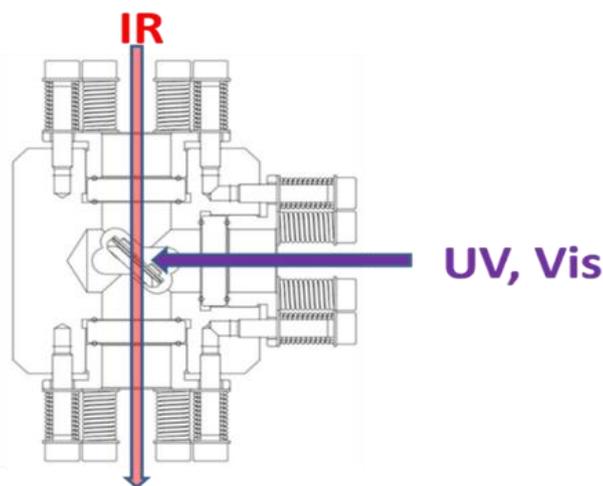


Fig. 1. The horizontal cross section of bottom part of IR cell.

At the same time the amount of adsorbed CO molecules was determined volumetrically and CO adsorption isotherm at room temperature before irradiation was constructed.

Simultaneously the kinetics of the intensity changes for the adsorbed CO bands before, during and after UV irradiation were studied under different light densities and CO coverages. Moreover, the reaction rates for desorption and re-adsorption processes were determined for variety of CO coverages and light intensities. It was stated that the

obtained dependences between reaction rate and CO pressure for constant light density as well as the same dependence for different light densities tend to grow. An analysis of these dependences enabled us to propose possible mechanism of CO photostimulated desorption on the TiO₂ surface.

1. Bulanin K.M., Bahnemann D.W., Rudakova A. V., Rev. Sci. Instrum. AIP Publishing, Vol. 90, P. 105–113, (2019)
2. Mikhaylov R. V. et al, J. Phys. Chem. C., Vol. 113, P. 20381–20387, (2009).

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХОНДРИТОВ С ИЗМЕНЕННОЙ УДАРОМ СТРУКТУРОЙ

Муфтахетдинова Р.Ф.¹, Гроховский В.И.¹, Хотинов В.А.¹, Яковлев Г.А.¹,
Брусницына Е.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: gizrozka91@bk.ru

THE MECHANICAL PROPERTIES OF CHONDRITES WITH STRUCTURE CHANGED BY IMPACT

Muftakhetdinova R. F.¹, Grokhovsky V. I.¹, Khotinov, V. A.¹, Yakovlev G. A.¹,
Brusnitsyna E. V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Studying the Chelyabinsk event helps us to better understand how vulnerable human life is to space object collisions and how to develop technologies to protect the Earth. The degree of threat depends on the mechanical properties of the substance and how the meteoroid is destroyed in the atmosphere.

Ударные события играют фундаментальную роль как в формировании поверхности безатмосферных тел в Солнечной системе, так и в формировании структуры метеороидов. Вещество этих объектов приобретает различную текстуру и различные механические свойства, что определяет процессы разрушения и фрагментации при вторжении их в земную атмосферу. В данной работе проведено исследование механических свойств хондритов со структурой ударного метаморфизма в космосе и после ударного нагружения их в лабораторных условиях.

Для исследований были отобраны образцы вещества метеоритов Челябинск LL5 и Царев L5. Для взрывного нагружения из фрагментов исследуемых метеоритов [1] были изготовлены шаровые образцы, после чего подвергнуты сферическому взрывному обжатию с использованием слоев взрывчатого вещества различной мощности и толщины [2]. Взрывные эксперименты с сохранением обжатых образцов проведены в РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск).

Поверхности образцов после распила была подготовлена по стандартной металлографической методике. Механические испытания вещества метеоритов на сжатие измерялись с помощью INSTRON 8801 (перемещение захвата 0,5 мм/мин) при комнатной температуре. Определение твердости по Виккерсу для различных структурных зон проводилось на установке Zwick/Roell Z 2.5 при нагрузке 50 Н.

В метеорите Челябинск наблюдаются три литологии: светлая (исходная порода), темная (содержащая долю переплавленных сульфидов) и ударный расплав (полностью расплавленное и закристаллизовавшееся вещество [3]). Материал метеорита Челябинск LL5 различной литологии имеет разные механические

характеристики. Светлая литология имеет тенденцию легко скалываться, темная литология и ударное плавление поддаются полировке гораздо быстрее. Мы измерили твердость каждого исследуемого образца, как в отдельных фрагментах с разной литологией, так и в более крупных образцах брекчии, аналогичных основной массе из озера Чебаркуль, а также в ударно-нагруженном шаре в разных зонах. Были получены средние значения твердости из серии измерений в каждой зоне при нагрузке 50 Н. В экспериментально нагруженном образце среднее значение твердости светлой литологии составила 1404 Н/мм², зоны черного кольца 3342 Н/мм², смешанной литологии 1996 Н/мм², зона полного расплава 1485 Н/мм². В брекчированных образцах со светлой литологией 1064, темной и серой 3261 и 1923 Н/мм² соответственно. В индивидуальных образцах с одной из видов литологий также были измерены значения твердости. Значение твердости образца со светлой литологии равна 1207, темной – 3930, ударного расплава – 2731 и смешанной литологии – 428 Н/мм². На основании полученных данных измерения макротвердости можно сделать вывод, что материал светлой литологией имеет наименьшее значение твердости, а черный компонент метеорита почти в три раза тверже.

Проведены сравнительные испытания на сжатие образцов из материала метеоритов Челябинск и Царев. $P_{max} = 6,18$ кН (Челябинский метеорит) и $P_{max} = 16,26$ кН (метеорит Царев), а прочность на сжатие составила 63,99 и 132,50.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки РФ (ГОСЗАДАНИЕ № FEUZ-2020-0059), а также при частичной поддержке РФФИ и DFG в рамках научного проекта № 20-55-12006.

1. Муфтахетдинова Р. Ф. Фазовое $\alpha \rightarrow \epsilon$ превращение в сплаве Fe-Ni метеоритного происхождения под действием ударно-волновой нагрузки / Гроховский В. И., Козлов Е. А., Хомская И. В., Яковлев Г.А. // Журнал технической физики – 2016 - 86 (12) - С. 73-77.
2. Козлов Е.А. Особенности плавления и кипения аустинитной стали 12X18H10T в сферических волнах напряжений / Елькин В.М., Литвинов Б.В., Теплов В.А., Дегтярев М.В. // Докл. Акад. Наук. – 1996. – Т. 351, №6. – С.756-759.
3. Grokhovsky V.I., Muftakhetdinova R.F., Yakovlev G.A., Brusnitsyna E.V. & Petrova, E.V. Post-impact metamorphism of the Chelyabinsk meteorite in shock experiment // Planetary and Space Science – 2020– том. 192, 105050. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.105050>.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖКРИСТАЛЛИТНЫХ ГРАНИЦ В СПЛАВЕ ВТ6

Насчетникова И.А.¹, Степанов С.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: naschetnikova@mail.ru

FEATURES OF THE GRAIN BOUNDARY NETWORK FORMATION IN Ti-6Al-4V ALLOY

Naschetnikova I.A.¹, Stepanov S.I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Features of the grain boundary network formation in Ti-6Al-4V alloy were investigated using by a method of EBSD. High temperature β was subjected to three different cooling regimes. The boundary analysis was used to study the role of orientation relationships in phase transformations.

Большинство титановых сплавов претерпевают фазовое $\beta \rightarrow \alpha$ превращение во время охлаждения, которое регулируется особым ориентационным соотношением (ОС), известным как ОС Бюргерса [1]. Получающееся в результате ориентационное соответствие между высокотемпературной β и низкотемпературной α фазами обеспечивает определенные кристаллографические варианты и наборы сеток границ зерен, которые, в свою очередь, влияют на микроструктуру и текстуру [2]. Целью данной работы являлось установление особенностей сети границ зерен в сплаве ВТ6 методом ориентационной микроскопии. Образцы подвергались отжигу при температуре 1115 °С в течение часа и охлаждению в воде, на воздухе и в печи.

В результате исследования было показано, что различные кристаллиты α -фазы имеют углы разориентации близкие к 4°, 10°, 60° и 90° при любой скорости охлаждения. Интересно отметить, что данные разориентации близки к ожидаемым разориентациям, которые выполняются при реализации ОС Бюргерса. Соответственно, фазовое $\beta \rightarrow \alpha$ превращение протекает согласно ОС Бюргерса при любой скорости охлаждения. Другими словами, это означает, что даже при медленных скоростях охлаждения имеет место сдвиговая составляющая фазового превращения.

1. W.G. Burgers, Physica 1, Iss. 7, 561–586 (1934)
2. М.Л. Лобанов, Методы исследования текстур в материалах, Изд-во Урал. ун-та (2014).

РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИКИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ОБЛУЧЕНИЮ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ

Назаров А.А.^{1,2}, Нохрин А.В.¹, Юнин П.А.¹, Андреев П.В.¹, Потанина Е.А.¹

¹⁾ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

²⁾ Институт физики микроструктур РАН — филиал ФГБУН „Институт прикладной физики Российской академии наук“, г. Нижний Новгород, Россия

E-mail: nazarov.artem6230@gmail.com

X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS OF CERAMICS IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY IONS

Nazarov A.A.^{1,2}, Nokhrin A.V.¹, Yunin P.A.¹, Andreev P.V.¹, Potanina E.A.¹

¹⁾ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

²⁾ Institute for Physics of Microstructures, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

NaNd(WO₄)₂ and NaNd(MoO₄)₂ ceramic samples subjected to ion implantation is considered. The degree of amorphization of the near-surface layer of the samples depending on the fluence were obtained. The depth of the amorphized layer was also investigated.

Исследованы две серии керамических образцов, полученных методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС) NaNd(WO₄)₂ (NNW) и NaNd(MoO₄)₂ (NNMo). Рассматриваемые керамики являются перспективными материалами для консолидации радиоактивных отходов [1]. В результате спекания были получены цилиндрические образцы диаметром $d = 12$ мм и толщиной $h = 2$ мм. Предварительно образцы подвергались испытаниям на устойчивость к радиационному воздействию, для этого их облучали ионами высокой энергии Ar ($E = 46$ МэВ), Kr (107 МэВ) и Xe (160 МэВ) с флюенсом в интервале $6 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^{12}$ см⁻². Такие параметры имплантируемых ионов характеризуют жёсткие условия радиационного воздействия. Известно, что имплантация ионов в кристаллическую решётку образца приводит к образованию нульмерных дефектов – вакансий и межузельных атомов, а частицы имплантата становятся точечными дефектами внедрения [2].

Эксперимент по рентгеновской дифракции в скользящем падении первичного пучка проводился на дифрактометре Bruker D8 Discover (CuK α -излучение). Для формирования параллельного пучка в дифрактометре применяется параболическое зеркало Гёбеля и коллиматор диаметром 1 мм, а перед детектором располагаются щели Соллера с угловой апертурой 0.2°. Угол падения пучка РИ α варьировался от 1° до 10°, сканирование осуществлялось поворотом детектора по углу 2θ . Съёмка осуществлялась в окрестностях высокоинтенсивного отражения (112) фаз NNW и NNMo.

На рис. 1 приведены результаты эксперимента – 2θ -сканы отражения (112) облучённой керамики NNW при разном угле падения α . Подобные дифрактограммы были получены для двух серий керамик, облучённых разными типами ионов с разными энергиями и флюенсом.

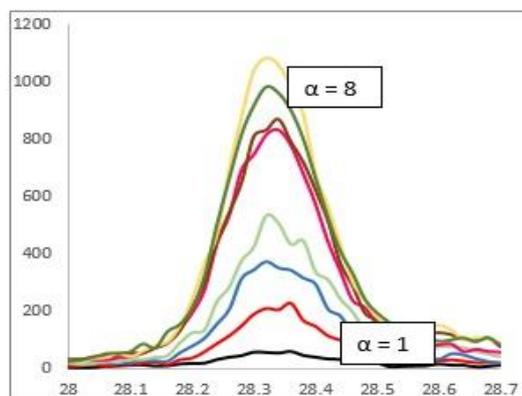


Рис. 1. Дифрактограммы образца NNW Кг, отражение (112) $2\theta = 28.3^\circ$ под разным углом падения α .

При обработке массива экспериментальных данных показан рост степени аморфизации с ростом дозы облучения от 20% при дозе $6 \cdot 10^{10}$ для керамики NNMo до 85% при дозе $2 \cdot 10^{12}$ для керамики NNW. Керамики NNMo при меньшей плотности, показали большую стойкость кристаллической фазы к внешнему радиационному воздействию по сравнению с NNW при одинаковых дозах облучения. Формирования новых кристаллических фаз в облученных образцах не наблюдалось. Глубина аморфизованного слоя оказалась больше глубины проникновения рентгеновского излучения в образцы (2 мкм). Нарушенный слой однородно аморфизован в пределах этого диапазона глубин. Такие оценки согласуются с результатами моделирования облучения этих материалов, проведенного в программном комплексе SRIM.

Рентгенодифракционные исследования образцов до и после облучения выполнялись в лаборатории диагностики радиационных дефектов в твердотельных наноструктурах ИФМ РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (з/з № 0030-2021-0030).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-21-00145_Росатом.

1. Jantzen C.M., Lee W.E., Ojovan M.I., "Radioactive Waste Management and Contaminated Site Clean-Up. Processes, Technologies and International Experience". Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi, Woodhead Published Limited, Chapter 6, P. 171, (2013).
2. М. А. Штремель, Прочность сплавов ч. 2 Деформация, МИСИС, г. Москва, (1997).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ КОРПУСА КЛАПАНА-ОТСЕКATEЛЯ

Рыбалко С.В.¹, Новгородов Д.В.², Сурков А.Ю.²

¹) ООО «НПП «Нефтегаздиагностика», г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН (ИФМ УрО РАН), г. Екатеринбург, Россия
E-mail: novgorodov@imp.uran.ru

IDENTIFICATION OF THE CAUSES OF THE DESTRUCTION OF THE BODY OF THE SHUT-OFF VALVE

Rybalko S.V.¹, Novgorodov D.V.², Surkov A.Yu.²

¹) NPP Neftgazdiagnostika, Yekaterinburg, Russia

²) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IMP UB RAS), Yekaterinburg, Russia

A study was made of the causes of the emergency destruction of the shut-off valve. The fracture surface was studied, the mechanical properties of the material and the structure of the metal were evaluated. The accident was caused by deviations from standard properties and equipment overload.

Клапан отсекающий является одной из важнейших частей нефтегазодобывающей колонны. Клапан работает в сложных термомеханических условиях испытывая колоссальные нагрузки и обеспечивая безопасность работы всего оборудования добывающей скважины. Во время эксплуатации произошло разрушение корпуса клапана отсекающего. Для определения причин аварийного разрушения обе части корпуса, после извлечения, были доступны для исследования.

Цель работы- определение возможных причин разрушения клапана-отсекающего управляемого КО-У 89.

В процессе исследования проводился металло-фрактографический анализ структурного состояния материала корпуса и поверхности разрушения. Для аттестации материала аварийной трубы проводились механические испытания на растяжение, ударный изгиб и замеры твердости, а также определялся химический состав металла.

В результате проведенных исследований установлено, что материал корпуса клапана отсекающего соответствует стали 08X17H5M3. Химический состав и твердость соответствуют интервалу свойств предъявляемым к поковкам из стали 08X17H5M3 по ГОСТ 25054-81 Поковки из коррозионностойких сталей и сплавов. При этом показатель трещиностойкости (ударная вязкость), относительного удлинения и относительного сужения не соответствует минимальным требованиям ГОСТ 25054-81. Металло-фрактографическое исследование показало, что наиболее вероятной причиной разрушения корпуса клапана отсекающего являлась силовая перегрузка, вызвавшая чрезмерные изгибные напряжения и повлекшая

образование сквозной трещины (очага) при хрупком разрушении по последней нитке резьбы между корпусом и ниппелем. С дальнейшим симметричным распространением трещины в обе стороны от очага. Основной причиной разрушения является заниженные прочностные характеристики металла корпуса клапана отсекающего.

1. A. Márquez, A. Ibarra Pino, J. De Bona Failure analysis of a let-down valve at a petrochemical plant Eng. Fail. Anal., 16 (2009), pp. 1894-1902.

ИССЛЕДОВАНИЕ $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}$ МЕТОДОМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В СИММЕТРИЧНОЙ ЯЧЕЙКЕ НА ОСНОВЕ $(\text{Ce}, \text{Sm})\text{O}_{2-\delta}$

Ожиганов М.Э.¹, Гилев А.Р.¹, Киселев Е. А.¹, Черепанов В.А.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: maksim.ozhiganov@urfu.ru

ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY ANALYSIS OF $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}$ IN THE $(\text{Ce}, \text{Sm})\text{O}_{2-\delta}$ BASED SYMMETRIC CELL

Ozhiganov M.E.¹, Gilev A.R.¹, Kiselev E.A.¹, Cherepanov V.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}/\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{2-\delta}$ symmetric cell has been studied by impedance spectroscopy at different temperatures and oxygen partial pressures. The polarization resistance (R_p) of $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}$ can include up to five contributions. The R_p value of $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}$ is equal to $1.5 \Omega \text{ cm}^2$ at 800°C in air.

Никелат лантана с формулой $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7-\delta}$ (LNO) рассматривается как катодный материал для среднетемпературных твердооксидных топливных элементов. Процессы, обуславливающие его поляризационное сопротивление, до сих пор не были изучены. Целью данной работы было синтезировать LNO, собрать симметричную ячейку на основ электролита $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{2-\delta}$ (SDC) и исследовать её методом импедансной спектроскопии. Для более точной расшифровки импеданса был использован метод распределения времён релаксации (DRT).

Синтез LNO и SDC был осуществлён цитрат-нитратным методом. После пиролиза LNO отжигали при 900°C в виде порошка, затем в прессованных таблетках три раза по 9 ч при 1050°C с промежуточными перетирами в этиловом спирте. SDC отжигали при 950°C , затем прессовали в таблетки и спекали в течение 20 часов при 1500°C . Далее на каждую из сторон таблетки наносили спиртовые суспензии образца площадью 0.08 cm^2 и припекали при 1100°C в течение 1 ч. После этого на поверхность электродов наносили суспензию платины и припекали при 950°C в течение 1 ч. Съёмку годографов импеданса симметричной ячейки проводили при $600, 700$ и 800°C в интервале парциальных давлений кислорода $-0.67 \leq \log p_{\text{O}_2} \leq -3$. Для получения функций DRT использовали метод регуляризации Тихонова с параметром регуляризации равным 0.01 .

Из анализа функций DRT при различных p_{O_2} было установлено, что поляризационное сопротивление состоит из пяти вкладов. Обработка спектров импеданса была выполнена с помощью эквивалентной схемы, состоящей из последовательно соединённых сопротивления электролита (R_1) и пяти R-CPE элементов. Для соотнесения вкладов с электрохимическими процессами необходимо рассчитать ёмкости (C) и тангенсы углов наклона (m) соответствующих

зависимостей сопротивлений от PO_2 . Величины емкостей могут быть рассчитаны по формуле:

$$C=R^{(1-n)/n}Q^{1/n} \quad (1)$$

где Q и n – псевдоемкость и экспоненциальный показатель фазового отклонения, соответственно, уточняемые в ходе фитинга спектров импеданса. Рассчитанные значения емкостей и m указывают на то, что наблюдаемые вклады можно отнести к следующим процессам [1,2]: перенос заряда через границу электрод/электролит (R_2 , $C=10^{-6}$ Ф/см², $m \approx 0$), перенос заряда через границу электрод-коллектор тока (R_3 , $C=10^{-5}$ Ф/см², $m \approx 0$), перенос заряда – кислородно-ионная диффузия в электроде (R_4 , $C=10^{-4}$ Ф/см², $m=-0.27 \pm 0.04$ и R_5 , $C=10^{-3}$ Ф/см², $m=-0.13 \pm 0.03$, соответственно), диссоциация кислорода на поверхности электрода (R_6 , $C=10^{-1}$ Ф/см², $m=-0.5 \pm 0.07$). Общее поляризационное сопротивление LNO составило $1.5 \text{ } \Omega \text{ см}^2$ при $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ на воздухе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение №075-15-2019-1924)

2. Adler S.B., Lane J.A., Steele B.C., J. Electroanal. Chem., 143(13), 3554, (1996)
3. Fleig, J., Merkle, R., Maier, J., Phys. Chem. Chem. Phys., 9(21), 2713, (2007).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{In}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_{2.95-0.5x}$

Пачина С.П.¹, Белова К.Г.^{1,2}, Егорова А.В.^{1,2}, Анимитца И.Е.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ ИВТЭ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: biyvash@yandex.ru

ELECTRICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS

$\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{In}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_{2.95-0.5x}$

Pachina S.P.¹, Belova K.G.^{1,2}, Egorova A.V.^{1,2}, Animitsa I.E.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of High Electrochemistry, Yekaterinburg, Russia

This work is devoted to the synthesis of solid solutions based on LaScO_3 . Samples of Mg-codoped solid solutions were synthesized by a solid-phase reaction at 700-1400°C. The structure and electrical properties of solid solutions are investigated.

Перовскит LaInO_3 является перспективной матрицей для синтеза новых электролитов с высокой кислород-ионной или протонной проводимостью. Этот сложный оксид толерантен к различного рода добавкам, но обладает низкой проводимостью. Твердые растворы с замещением лантана на стронций проявляют достаточно высокие значения проводимости, однако они ограничены составом $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{InO}_{2.95}$, т.е. в данных составах реализуется невысокий уровень кислородного дефицита [1, 2]. Однако его увеличение может положительно сказаться на электрических свойствах, поэтому в данной работе исследована электропроводность содопированных твёрдых растворов $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{In}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_{2.95-0.5x}$ (далее будут обозначаться LSiMg_x), где ($x = 0.0 - 0.3$). В качестве допанта В-подрешётки нами был выбран ион магния (0.72 \AA), так как его размеры близки к размеру иона индия (0.80 \AA). Варьирование содержания двухвалентного металла в В-подрешётке должно создавать большее количество вакансий, что и должно положительно влиять на проводимость.

Твердофазный синтез образцов LSiMg_x был проведён из предварительно прокаленных оксидов соответствующих металлов. Прокаливание проводили для удаления излишней влаги. Синтез проводили на воздухе при ступенчатом повышении температуры в температурном интервале 700 – 1400°C. После каждого шага синтеза образцы тщательно перетирали в среде этилового спирта в агатовой ступке.

Кристаллическая решетка перовскитов LSiMg_x описывается ромбической симметрией с пр.гр. $R\bar{3}m$. Размер иона магния меньше иона индия, поэтому содопирование ионами магния вызывает уменьшение объема решётки.

Методом электрохимического импеданса получены температурные зависимости общей электропроводности в интервале температур 300 – 1000°C в сухой ($p_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-5}$ атм) и влажной ($p_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-2}$ атм) атмосферах. Пример полученных данных представлен на рисунке.

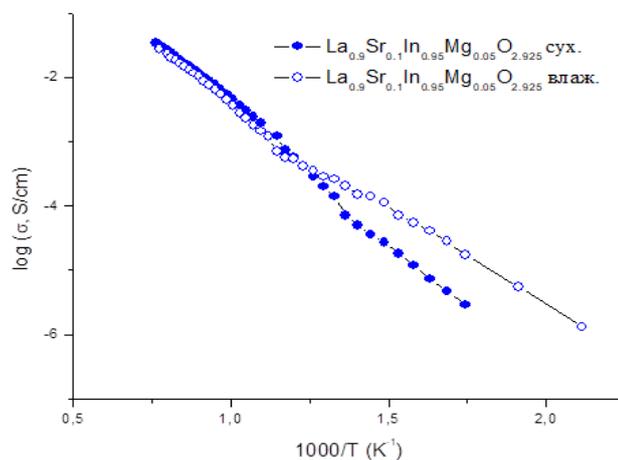


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности в сухой ($p_{\text{H}_2\text{O}}=3.5 \cdot 10^{-5}$ атм) и влажной ($p_{\text{H}_2\text{O}}=2 \cdot 10^{-2}$ атм) атмосферах для $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{In}_{0.95}\text{Mg}_{0.05}\text{O}_{2.925}$.

Все образцы реагируют на смену влажности увеличением общей проводимости, за счет появления дополнительного - протонного - вклада в проводимость.

Для дифференциации проводимости были сняты изотермы проводимости в условиях варьирования парциального давления кислорода. Были рассчитаны числа переноса и установлено, что в сухой атмосфере твердые растворы LSiMg_x являются смешанными проводниками с $\sim 30\text{-}35\%$ кислород-ионного вклада. Однако во влажной атмосфере они становятся преимущественно ионными проводниками с ионной долей вклада $\sim 85\text{-}90\%$ и доминирующим протонным переносом.

Допирование магнием не привело к значительному увеличению электропроводности исследованных образцов по сравнению с исходной матрицей. Все зависимости носят схожий характер, типичный для полупроводников. Наибольшей электропроводностью обладают образцы с малым количеством добавки, что вероятно связано со структурными характеристиками, уменьшение объема ячейки привело к затруднениям в ионном транспорте.

1. Farlenkov, A.S.; Smolnikov, A.G.; Ananyev, M.V.; Khodimchuk, A.V.; Buzlukov, A.L.; Kuzmin, A.V.; Porotnikova, N.M. Local disorder and water uptake in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\delta}$. *Solid State Ion.* 306, 82–88, (2017).
2. Kuzmin, A.V.; Stroeva, A. Yu.; Gorelov, V.P.; Novikova, Yu.V.; Lesnichyova, A.S.; Farlenkov, A.S.; Khodimchuk, A.V. Syn-thesis and characterization of dense proton-conducting $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ScO}_{3-\alpha}$ ceramics. *Int. J. Hydrog. Energy* 44, 1130-1138, (2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni

Кириллова А.В.¹, Коновалов С.В.¹, Громов В.Е.², Осинцев К.А.^{1,2},
Иванов Ю.Ф.^{2,3}, Панченко И.А.²

¹) Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

²) Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

³) Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия
E-mail: ksv@ssau.ru

STUDY OF THE INFLUENCE OF ENERGY TREATMENT ON THE STRUCTURAL-PHASE STATE OF A HIGH-ENTROPY ALLOY OF THE Co-Cr-Fe-Mn-Ni SYSTEM

Kirillova A.V.¹, Konovalov S.V.¹, Gromov V.E.², Osintsev K.A.^{1,2}, Ivanov Y.F.^{2,3},
Panchenko I.A.²

¹) Samara National Research University, Samara, Russia

²) Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

³) Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia

The paper considers the influence of energy treatment on the structural-phase composition of a high-entropy alloy of the Co-Cr-Fe-Mn-Ni system, obtained using wire-arc additive manufacturing.

Высокоэнтропийные сплавы являются новыми малоизученными материалами, содержащие пять и более компонентов. Создание таких материалов основано на том, что сплав содержит несколько основных элементов с примерно равными молярными долями, которые могут образовывать, однофазный кристаллический сплав [1].

Высокоэнтропийный сплав системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni был получен по методам аддитивного производства путем скручивания проволок заданного химического состава.

Анализ структурно-фазового состояния образцов высокоэнтропийного сплава Co-Cr-Fe-Mn-Ni перед энергетической обработкой проводился методами рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 6000 в медном отфильтрованном излучении $\text{Cu-K}\alpha 1$ по схеме Брегга-Брентано. Расчеты интенсивностей пиков производился по методу Ритвельда.

С целью определения однородности распределения элементов сплава по толщине проведен микрорентгеноспектральный анализ участков образца, расположенных на различных расстояниях от подложки. Элементный состав был определен с шагом ~ 4 мм.

Результаты элементного анализа образцов высокоэнтропийного сплава CrMnFeCoNi перед энергетической обработкой показали высокий уровень однородности распределения химических элементов, несмотря на наличие дендритной структуры. Наблюдаемые дендриты имеют поперечный размер ~ 7 мкм из-за высоких скоростей затвердевания, которые обычно происходят при проволочно-дуговом аддитивном производстве. Анализ изображений, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии демонстрирует наличие округлых пор. Причиной образования пор может быть специфика технологии проволочно-дугового аддитивного производства. Поры, имеющие форму сфер, образуются из газов, которые попадают в ванну расплава из-за быстрой кристаллизации нанесенного слоя. Установлено, что независимо от исследуемого состояния (исходное или облученное) исследуемый сплав является однофазным материалом и имеет гранецентрированную кубическую решетку [2].

Поверхностная обработка, полученного сплава проведена импульсным электронным пучком с разными параметрами. Режим облучения образцов: энергия ускоренных электронов 18 кэВ, плотность энергии пучка электронов 10, 15, 20, 25, 30 Дж/см².

Фазовый состав образцов, облученных импульсным электронным пучком, также был изученный методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии путем индицирования микроэлектронограмм и применения методики темнопольного анализа выявил присутствие рефлексов, принадлежащим различным фазам. Яркие рефлекссы формируют набор межплоскостных расстояний, соответствующих ГЦК кристаллической решетке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №20-19-00452)

1. Рогачев А.С. Структура, стабильность и свойства высокоэнтропийных сплавов Физика металлов и металловедение. 2020. Т. 121. № 8. С. 807-841.
2. Высокоэнтропийные сплавы: монография / В.Е. Громов, С.В. Коновалов, Ю.Ф. Иванов [и др.]. – Новокузнецк. 2021. – 179 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Павлов И.С.¹, Куклин И.Э.¹, Валиев Р.М.¹, Зозуля С.Н.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: igorpavlovstudy@gmail.com

PREPARATION OF SOLID ELECTROLYTES BASED ON ZIRCONIUM OXIDE BY PLASMA SPRAYING

Pavlov I.S.¹, Kuklin I.E.¹, Valiev R.M.¹, Zozulia S.N.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This article describes the synthesis of a coating based on yttria-stabilized zirconium dioxide by atmospheric plasma spraying to obtain a solid electrolyte. It has been established that the concentration of Y_2O_3 affects the phase composition, the structure, the durability of the sprayed coating.

В науке и технологии твердые электролиты представляют интерес с точки зрения их потенциального использования в качестве электродов или электролитных материалов в устройствах электрохимических превращениях энергии [1]. В качестве высокотемпературного электролита чаще всего используется ZrO_2 , стабилизированный оксидом иттрия Y_2O_3 (YSZ), так как в интервале температур 800-1000 °С он демонстрирует максимум ионной проводимости. Для создания твердых электролитов используются следующие методы: спекание, полимеризация, твердофазный керамический синтез и синтез под высоким давлением. Одним из перспективных является метод атмосферного плазменного напыления. С помощью него можно достичь роста керамики в виде тонких кристаллов, ориентированных по нормали к поверхности подложки. Полученная столбчатая структура способствует увеличению срока службы покрытия.

Целью данной работы является синтез покрытия на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия методом атмосферного плазменного напыления для получения твердого электролита.

В качестве исходного материала был использован порошок ЦИ15 (15% Y_2O_3 и 85% ZrO_2). Синтез покрытий проводился методом атмосферного плазменного напыления с использованием плазмотрона постоянного тока с самоустанавливающейся длиной дуги. Плотный слой напыляли на азотно-аргоновой плазме при силе тока 500 ампер, напряжение - 60 - 70 вольт, дистанция напыления 60 - 80 мм, а крупность порошка составляла 40 - 63 мкм. Пористый слой наносили при токе 450 - 500 ампер, при таком же напряжении как и для плотного слоя, при этом крупность порошка составляла примерно 100 - 160 мкм, а дистанция напыления 80 - 100 мм.

Аттестация морфологии и состава покрытия проводилась с использованием методов растровой электронной микроскопии (РЭМ), рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Микротвердость исследуемых образцов определялась с помощью цифрового микротвердомера (индентором служила пирамида Виккерса). Для расчета пористости использовали микроскопическое исследование.

По результатам работы установлено, что концентрация стабилизирующего оксида иттрия оказывает влияние на фазовый состав, структуру и, как следствие, на свойства и долговечность напыленных покрытий

1. N. Mahato, A. Banerjee, A. Gupta [et al.], Prog. in Mat. Sc.,72, 141-337 (2015).

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ СО СТРУКТУРОЙ МАГНЕТОПЛОМБИТА В РЕАКЦИЯХ ГОРЕНИЯ НИТРАТ-ОРГАНИЧЕСКИХ ПРЕКУРСОРОВ

Пермякова А.Е.¹, Максимчук Т.Ю.¹, Русских О.В.¹, Остроушко А.А.¹

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: nastia2605permiakova@yandex.ru

FEATURES OF SYNTHESIS OF COMPLEX OXIDES WITH MAGNETOPLUMBITE STRUCTURE IN COMBUSTION REACTIONS OF NITRATE-ORGANIC PRECURSORS

Permiakova A.E.¹, Maksimchuk T.Yu.¹, Russkih O.V.¹, Ostroushko A.A.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work, we studied the processes of synthesis of hexaferrites from precursors. It has been established that the combustion of precursors is accompanied by the generation of charges and a number of other phenomena.

Сложные оксиды со структурой типа магнетоплюмбита (гексаферриты) используются в качестве постоянных магнитов, они обладают магнитокалорическим эффектом. Широко используемым в настоящее время методом получения сложнооксидных материалов являются реакции горения нитрат-органических композиций (Solution Combustion Synthesis). В настоящей работе изучены процессы синтеза гексаферритов состава $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$, $\text{Sr}_{0.8}\text{La}_{0.2}\text{Fe}_{11.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_{19}$ из прекурсоров, содержащих помимо нитратов соответствующих металлов такие органические компоненты, как поливиниловый спирт (ПВС), глицин (аминоуксусная кислота). В ходе приготовления исходных композиций между глицином и ионами железа образуется прочный комплекс кроваво-красного цвета, предотвращающий возникновение солевых кристаллов, при удалении растворителя (воды) возникает стеклообразная масса. Наличие такого комплекса подтверждается спектрофотометрическим методом, а также сильным экзотермическим эффектом взаимодействия глицина и ионов железа в растворе. Отмечен очень интересный экспериментальный факт: горение прекурсоров, включающих глицин, сопровождается возникновением достаточно длинных текстурированных волокон (рис. 1), что обычно способствует повышению коэрцитивной силы образцов. Не менее интересное явление наблюдается при получении прекурсоров, содержащих ПВС. Здесь уже при комнатной температуре протекает каталитическая реакция окисления ПВС нитрат-ионами, ее катализатором служат ионы железа, обладающие лабильной степенью окисления. Поскольку ПВС обладает пленкообразующими свойствами, еще до процесса горения возникает губчатая масса, обладающая магнитными свойствами. Указанный процесс мы назвали условно “холодным горением”. Изучение процессов горения вышеназванных композиций показало, что в

ходе его реализации в прекурсорах генерируются электрические заряды, что характерно для синтеза и других сложнookсидных материалов [1, 2]. Наличие зарядов существенно влияет на свойства сложных оксидов, т.к. приводит к взаимному отталкиванию получаемых наночастиц и возникновению избыточной поверхностной энергии, способствующей существенному снижению температуры спекания [1]. Заряды возникают за счет уноса в газовую среду ионизированных молекулярных группировок того или иного знака. Для диагностирования наличия зарядов измеряли разность потенциалов U горящих прекурсоров относительно земли. Максимально интенсивное формирование зарядов наблюдали при синтезе $\text{Sr}_{0.8}\text{La}_{0.2}\text{Fe}_{11.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_{19}$ из композиций с ПВС, где значения U достигали 15 В. Предварительное протекание “холодного горения” снижало эту величину, т.к. часть газообразных продуктов удалялась еще до основного процесса горения.

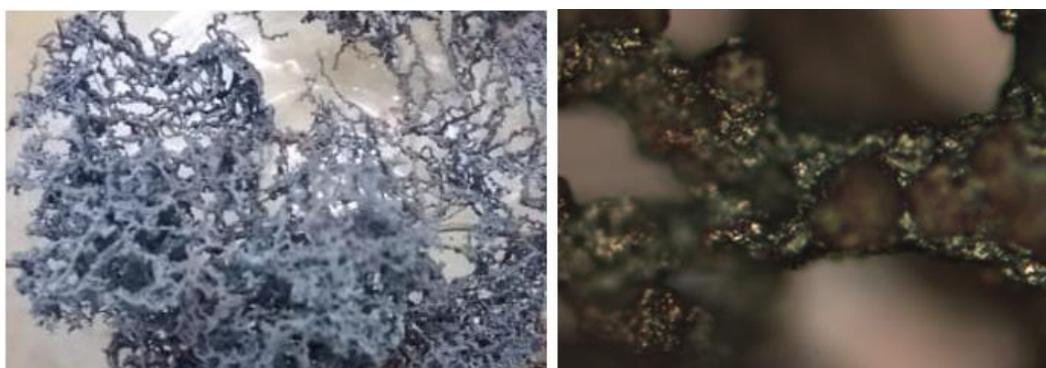


Рис. 1 (а, б). Микрофотографии текстурированных образцов гексаферрита.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-00718.

1. Ostroushko A.A., Russkikh O.V., Maksimchuk T.Y. // *Ceram. Int.* 2021. V. 47. I. 15. P. 21905. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.04.208>.
2. Остроушко А.А., Максимчук Т.Ю., Пермязова А.Е., Русских О.В. // *Журн. неорг. хим.* 2022. Т. 67. № 6. С. 1-12. DOI: 10.31857/S0044457X22060186.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОВОДОВ СИСТЕМЫ AgBr – AgI

Пестерева П.В.¹, Южакова А.А.¹, Салимгареев Д.Д.¹, Львов А.Е.¹,
Жукова Л.В.¹, Корсаков А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: l.v.zhukova@urfu.ru

INVESTIGATION OF THE RADIATION RESISTANCE OF INFRARED FIBER OF THE AgBr – AgI SYSTEM

Pestereva P.V.¹, Yuzhakova A.A.¹, Salimgareev D.D.¹, Lvov A.E.¹, Zhukova L.V.¹,
Korsakov A.S.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

A study was made of the radiation resistance of infrared fibers of the AgBr – AgI system with a composition of 10 wt. % AgI in AgBr. It has been established that at the maximum dose of β irradiation of 400 kGy, no significant changes were found in the operation of the fiber.

В настоящее время наблюдается широкое развитие волоконной оптики, работающей во всем инфракрасном диапазоне от ближнего (0,4 – 2,0 мкм) до дальнего (до 100 мкм). Из всех известных и изученных оптических материалов, галогениды металлов являются наиболее подходящими для изготовления инфракрасных световодов для данного диапазона спектра. ИК-световоды обладают фото- и радиационной стойкостью, нетоксичны, негигроскопичны и пластичны. При выборе оптических материалов для различных видов применений важным фактором является их радиационная стойкость.

Исследование радиационной стойкости световодов на основе кристаллов галогенидов серебра системы AgBr – AgI [1] проводили на линейном ускорителе электронов модели УЭЛР-10-10С (УрФУ). На данной установке световод состава 10 мас. % AgI в AgBr подвергался последовательному облучению с суммарной набранной дозой β облучения 10, 50, 100, 200 и 400 кГр.

До начала процесса облучения был определен диапазон спектрального пропускания световода на ИК Фурье спектрометре IR Prestige-21, Shimadzu с диапазоном работы 1,28–41,7 мкм. Режимы съемки: делитель луча CsI, детектор DLaTGS, 60 измерений при разрешении 4 см⁻¹. Установлено, что световод прозрачен от 4,0 до 25,0 мкм без окон поглощения. После каждой набранной дозы повторно регистрировались спектры пропускания световода при тех же режимах. Было установлено, что в коротковолновом диапазоне длин волн, до 10 мкм наблюдалось незначительное уменьшение прозрачности (шкала интенсивности), которое составило 3–5 % от первоначального. Противоположная ситуация

наблюдалась на длинах волн от 10 до 25 мкм. В данном диапазоне наблюдалось увеличение прозрачности световода на 5–7 %. Следует отметить, что диапазон пропускания, который до процесса облучения составлял 4,0–25,0 мкм не изменился.

Таким образом, проведенные исследования показали значительную устойчивость световодов системы AgBr – AgI к воздействию на них ионизирующего излучения. Также данные световоды устойчивы и к ультрафиолетовому излучению, что показали предыдущие исследования, представленные в работе [2]. Учитывая данные результаты, можно сделать вывод, что световоды системы AgBr – AgI являются наиболее перспективными кандидатами для применения их в медицине, в условиях открытого космоса и других областях науки и техники.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEUZ-2020-0058 (H687.42Б.223/20).

1. Synthesis of the AgBr – AgI system optical crystals / D. D. Salimgareev [et. al] // Optical Materials. — 2021. — № 114. — [110903].
2. Optical properties of the AgBr – AgI system crystals / D. D. Salimgareev [et. al] // Optical Materials. — 2021. — № 149. — [107825].

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ ИЗ МИКРОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ

Пилюгина О.В.¹, Нестерова И.А.¹, Денисова Э.И.¹, Карташов В.В.¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: jkzgbk.ubyf@gmail.com

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF CERAMICS FROM MICROSIZED ZIRCONIUM DIOXIDE PARTICLES MODIFIED WITH NANOPARTICLES

Pilyugina O.V.¹, Nesterova I.A.¹, Denisova E.I.¹, Kartashov V.V.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The properties of ceramic materials based on micro-sized ZrO_2 -5 wt. % Y_2O_3 particles modified with nanosized ZrO_2 -5 wt. % Y_2O_3 particles and nanosized Al_2O_3 particles were studied.

Применение композиционных полидисперсных смесей оксидных микро- и наноструктурированных порошков для получения высокопрочной керамики является привлекательным с технической и экономической точек зрения. Прочностные характеристики материала в данном случае улучшаются за счет эффекта наномодифицирования частицами второй фазы и зависят от количества наноструктурированной добавки в порошковой композиции, из которой в дальнейшем изготавливается керамика [1].

В предыдущих работах были отработаны технологии получения порошковых композиций с добавками наноструктурированного порошка [2-3], было определено минимально допустимое количество модифицирующей наноструктурированной добавки, позволяющее осуществить реакцию нитрат-органического синтеза и обеспечить в дальнейшем наноструктурное упрочнение керамики [4].

Предметом исследований настоящей работы были свойства керамических материалов на основе микроразмерных частиц ZrO_2 -5 масс. % Y_2O_3 , модифицированных наноразмерными частицами ZrO_2 -5 масс. % Y_2O_3 и наноразмерными частицами Al_2O_3 .

Из полученных порошковых композиций методом холодного прессования при давлении 10 тонн формовали образцы, которые обжигали в окислительной среде в высокотемпературной печи Nabertherm HT 40/17 при температуре 1700°C по режиму: нагрев до заданной температуры – выдержка в течение 10 часов – охлаждение со скоростью нагрева.

Плотность образцов составила от 4,6 до 5,2 г/см³; твердость по Виккерсу оказалась не более 33,6; максимальное значение прочности на изгиб составило всего 25МПа.

Результаты показали, что метод холодного прессования не подходит для получения прочной керамики на основе микроразмерных частиц ZrO_2-5 масс. % Y_2O_3 , модифицированных наноразмерными частицами ZrO_2-5 масс. % Y_2O_3 и наноразмерными частицами Al_2O_3 , так как полученные результаты прочностных характеристик не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к высокопрочной керамике.

1. А.В. Власов, В.В. Карташов, Э.И. Денисова. Новые огнеупоры. № 4, 89-91(2010).
2. E. I. Denisova, I. A. Nesterova, D. T. Sultanova, V. V. Kartashov, N. A. Cherepanova, A. V. Chukin, G. A. Yakovlev, A. S. Gordeeva, J. A. Mityushova. AIP Conference Proceedings. 1886, 020060-1 020060-7 (2017).
3. E. I. Denisova, I. A. Nesterova, D. T. Sultanova, V. V. Kartashov, N. A. Cherepanova, A. V. Chukin, G. A. Yakovlev, A. S. Gordeeva, J. A. Mityushova. AIP Conference Proceedings. 1886, 020042-1 020042-7 (2017).
4. I. A. Nesterova , E. I. Denisova, V. V. Kartashov. DETERMINATION OF THE MINIMUM CONTENT OF NANOPOWDERS ($ZrO_2-Y_2O_3$) AND Al_2O_3 IN POWDER COMPOSITIONS ($ZrO_2-Y_2O_3$) - ($ZrO_2-Y_2O_3$) AND ($ZrO_2-Y_2O_3$)- Al_2O_3 . VIII Международная молодежная научная конференция. Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2021. 855-856 (2021).

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНОВ КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ Cu С Zr И Cu С Ti

Подкин Е.С.¹, Котенков П.В.¹, Гилёв И.О.¹, Попова Э.А.¹

¹) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: cherdancev_egor@mail.ru

MODIFICATION OF SILUMINS WITH COMPLEX ADDITIVES OF Cu WITH Zr AND Cu WITH Ti.

Podkin E.S.¹, Kotenkov P.V.¹, Gilev I.O.¹, Popova E.A.¹

¹) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The modifying ability of the experimental Al-Cu-Ti, Al-Cu-Zr master alloys on the industrial alloy Al-7%Si-0.45Mg (A396, Ak7h) was evaluated and compared with the commercial Al-Ti-B master alloy. Modification was carried out in a bucket with a melt mass of 60 kg.

Алюминиевые сплавы с кремнием в качестве основного легирующего компонента широко используют для фасонного литья. Их отличные литейные свойства, низкая стоимость позволили занять рынок фасонного литья алюминиевых сплавов более, чем на 90%, несмотря на то что они по прочностным характеристикам уступают многим алюминиевым сплавам других систем. Данная ситуация тормозит дальнейшее повышение качества фасонных отливок.

Существует два основных направления развития. Первое - дальнейшее совершенствование технологии и создание новых технологических процессов, которые позволят получать качественные отливки из сплавов с низкими литейными свойствами. Второе - разработка новых сплавов, сочетающих высокие эксплуатационные свойства с хорошей технологичностью при литье по традиционным технологиям. При рассмотрении второго направления стоит обратить внимание на оптимизацию концентраций легирующих компонентов и определение допустимого уровня примесей для достижения заданных свойств силуминов [1]. Индивидуальный подход в легировании и модифицировании позволит повысить свойства существующих литейных сплавов Al-Si (Ак7-Ак12) [2,3].

Сегодня ведется множество работ по изучению влияния малых добавок переходных металлов на структуру и свойства алюминиевых сплавов [4,5], даже небольшое увеличение прочности с сохранением пластичности силуминов может считаться успехом.

В данной работе предложено комплексное введение переходных металлов Cu и Ti, Cu и Zr, образующих совместные фазы с алюминием. Изучение влияния малых добавок Cu, Ti, Zr, Mn, Cr, вводимых в виде комплексных метастабильных алюминидов, на процессы фазообразования в сплавах Al-Si позволит достичь ожидаемых результатов.

Проведенная оценка модифицирующей способности опытных лигатур Al-Cu-Ti, Al-Cu-Zr на промышленном сплаве Al-7%Si-0.45Mg (А396, Ак7ч) в сравнении с коммерческой лигатурой Al-Ti-V показала, что добавки Ti с Cu, Zr с Cu незначительно влияют на размер вторичных ветвей дендритов при литье в кокиль, однако оказывают значительное влияние на измельчение эвтектики и изменение ее морфологии с пластинчатой на глобулярную.

1. Белов Н. А. Использование многокомпонентных диаграмм состояния для оптимизации структуры и состава высокопрочных литейных алюминиевых сплавов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1995. № 1. С. 48–57.
2. Попова Э.А., Котенков П.В., Шубин А.Б., Пастухов Э.А. Опытные лигатуры Al-Sc-Y, Al-Zr-Y для модифицирования и легирования алюминиевых сплавов. Расплавы. 2015. № 2. С. 53-59.
3. Котенков П.В., Попова Э.А., Пастухов Э.А. Оценка модифицирующей способности опытных лигатур Al-Sc-Zr, Al-Sc-Ti, Al-Ti-Zr. Расплавы. 2014. № 4. С. 21-27.
4. Zhang M., Li K.. Investigating the role of Cu, Zr and V on the evolution of microstructure and properties of Al-Si-Mg cast alloys. Materials Today Communications. 2021. V.26. 102055.
5. Zhang X., Wang D. Understanding crystal structure and morphology evolution of Fe, Mn, Cr-containing phases in Al-Si cast alloy. Intermetallics. 2021. V. 131. 107103.

ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ СЛОЖНООКСИДНЫХ МОЛИБДАТОВ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Политов Б.В.¹, Сунцов А.Ю.^{1,2}

¹) Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: politoffboris@yandex.com

AB INITIO ESTIMATIONS OF TRANSPORT PROPERTIES OF SOLID OXIDE MOLYBDATES

Politov B.V.¹, Suntsov A.Yu.^{1,2}

¹) Institute of solid state chemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

This work is aimed at comprehensive theoretical study of Sr_2MMoO_6 molybdates with

$M = Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$. It is shown that the experimentally observed variations of electronic conductivity in these compounds can be reasonably explained with the help of DFT calculations.

Одним из важных направлений современных исследований является снижение рабочих температур ТОТЭ до 500 – 600 °С, чему препятствует ряд технических и материаловедческих факторов [1]. Применение более совершенных материалов может способствовать решению обозначенных проблем. В частности, сложнооксидные молибдаты стронция Sr_2MMoO_6 (M – 3d-металл) со структурой двойного перовскита рассматриваются как перспективные аноды среднетемпературных ТОТЭ. Однако в литературе отсутствуют единые представления о влиянии природы 3d-металла на функциональные характеристики оксидов Sr_2MMoO_6 , что существенно затрудняет целенаправленный материаловедческий поиск новых катионных композиций для электродов ТОТЭ. Так, например, неизвестны причины крайне немонотонного изменения электропроводности оксидных соединений Sr_2MMoO_6 при вариации числа 3d-электронов на элементе M . Кроме того, весьма фрагментарными являются сведения о дефектной структуре и термодинамической стабильности молибдатов в различных газовых средах.

Поэтому, в рамках настоящего исследования была поставлена цель изучить электронную, кристаллическую и дефектную структуру сложнооксидных молибдатов стронция, содержащих в своем составе переходные металлы – Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co и Ni . В качестве основного подхода к исследованию был использован метод теории функционала электронной плотности (DFT), реализованный в программном комплексе VASP.

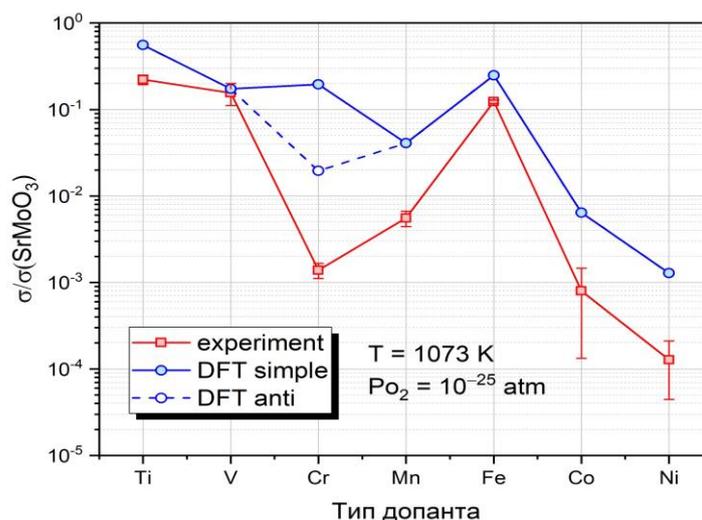


Рис. 1. Зависимость относительной электропроводности молибдатов от природы замещающего молибден 3d-элемента М. Линии проведены для удобства восприятия.

В ходе проделанных расчетов были успешно воспроизведены основные физико-химические характеристики молибдатов $\text{Sr}_2\text{M}\text{MoO}_6$: характерные длины связей металл-кислород, особенности электронной структуры, оптические свойства, а также энергетические параметры дефектообразования. Установленные закономерности были использованы при расчетах электротранспортных свойств исследуемых соединений в приближении кинетического уравнения Больцмана. Все полученные значения электропроводности σ были нормированы на соответствующую величину для кубического SrMoO_3 , чтобы исключить параметр времени релаксации. В результате было показано, что характерная экспериментальная зависимость проводимости молибдатов от природы 3d металла М удовлетворительно воспроизводится DFT расчетом. Установлено, что ключевое влияние на транспортные свойства молибдатов оказывает положение энергетических уровней 3d-элемента в глубине валентной зоны. Более того, было обнаружено существенное влияние антисайт дефектов на итоговые значения проводимости.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках проекта №19-79-10147

1. Rafique M., Nawaz H., Shahid Rafique M., et al. Int. J. En. Res. 43, P. 2423, (2019).

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА СВАРКИ НА СТРУКТУРУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА С4

Попкова Д.С.¹, Жилияков А.Ю.¹, Беликов С.В.¹, Казанцева Е.А.¹, Пырин Д.В.¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: d.s.popkova@urfu.ru

WELDING PROCEDURE INFLUENCE ON THE WELDED JOINTS STRUCTURE OF C4 ALLOY

Popkova D.S.¹, Zhilyakov A.Y.¹, Belikov S.V.¹, Kazanceva E.A.¹, Pyrin D.V.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Welding is one of the advanced and progressive methods of metal processing. Modern industry sets the task of improving the corrosion resistance of structural materials. In the work, welding procedure influence on the welded joints structure was evaluated using the example of C4 alloy.

Сварка является одним из передовых и прогрессивных методов обработки металлов. Внедрение в производство передовых сварочных техник и технологий открывает возможность значительной экономии металлов, улучшения качества и снижения себестоимости продукции. Современная промышленность ставит задачи совершенствования конструкционных материалов для работы в высоко агрессивных коррозионных средах. В частности, к ним относятся сплавы на основе системы Ni-Cr-Mo. Никель и его сплавы свариваются гораздо труднее стали, потому что обладают большой чувствительностью к наличию примесей и растворенных газов. С целью минимизации возникновения различных дефектов в сварочном шве при сварке необходимо надежно защищать расплавленный металл от атмосферы воздуха, применять материалы с минимальным содержанием кислорода и обеспечить достаточное раскисление металла сварочной ванны. Другой важной проблемой сварных соединений никелевых сплавов остается их подверженность коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН). Поэтому актуальной задачей является поиск способов и режимов сварки, предотвращающих КРН.

В настоящей работе была проведена сварка темплетов из сплава С4 разными способами. Структуры сварных соединений были исследованы методами металлографии. Проведен сравнительный анализ структурно-фазовых особенностей полученных образцов сварных швов.

Работа выполнена в рамках государственного задания РФ № 0836-2020-0020.

1. Kangazian, J., Shamanian, M., Ashrafi, A. Dissimilar welding between SAF 2507 stainless steel and Incoloy 825 Ni-based alloy: The role of microstructure on corrosion

- behavior of the weld metals (2017) *Journal of Manufacturing Processes*, 29, pp. 376-388.
2. Nishikawa, S., Ooi, K., Takahashi, M., Furukawa, T. Influence of shot peening and thermal aging treatment on resistance to intergranular corrosion in shielded metal arc weld metal for type 600 nickel base alloy (2015) *Yosetsu Gakkai Ronbunshu/Quarterly Journal of the Japan Welding Society*, 33 (2), pp. 153-159.
 3. Crum, J.R., Shoemaker, L.E. Defining acceptable environmental ranges and welding procedures for corrosion resistant alloys (2009) *NACE - International Corrosion Conference Series*.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СТАБИЛЬНОСТЬ И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА КАДМИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

Попов И.Д.¹, Кузнецова Ю.В.¹

¹) Институт химии твердого тела Уральского Отделения Российской Академии Наук, Екатеринбург, Россия
E-mail: idpopov65@gmail.com

THE EFFECT OF SYNTHESIS CONDITIONS ON CADMIUM SULFIDE NANOPARTICLES STABILITY AND LUMINESCENCE IN AQUEOUS SOLUTION

Popov I.D.¹, Kuznetsova Yu.V.¹

¹) Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The effect of the precursor type, concentration and pH on the stability and luminescence of CdS nanoparticles capped by C₆H₁₆O₃SSi in a water solution is reported. The optimization of synthesis technique allowed to obtain the stable colloidal solution of luminescent nanoparticles in the water media.

В науках о жизни флуоресценция широко используется для изучения биологической структуры организма, межклеточного взаимодействия и взаимодействия биомолекул. В рамках этой методики разрабатываются флуорофоры для маркировки, обнаружения и визуализации биологических объектов. Эти флуорофоры представляют собой небольшие молекулы, белки или люминесцентные частицы. Последние представляют собой частицы размером несколько нанометров на основе полупроводниковых соединений с настраиваемыми люминесцентными и оптическими свойствами, которые можно регулировать в зависимости от их химического состава, размера, формы и оболочки. По сравнению с флуоресцентными молекулами и белками, наночастицы привлекают к себе большее внимание биологи и химии по трем основным причинам: настраиваемый спектр оптического поглощения и люминесценции; химическая и фотостабильность [1-2].

Одним из веществ, которые получают в виде наночастиц, является сульфид кадмия (CdS). Несмотря на долгую историю исследований, наноразмерный CdS и в настоящее время привлекает значительное внимание, как материал для ряда инновационных практических приложений (новые источники излучения, фотокатализ, сенсоры) и как модельная система для разработки технологий адресной доставки лекарств. Цель данного исследования – установить условия синтеза стабильных коллоидных растворов, содержащих люминесцентные наночастицы сульфида кадмия (НЧ CdS) с применением 3-меркаптопропилтриметоксисилана (МПС) в качестве стабилизатора. Для изучения влияния условий синтеза на стабильность и оптические свойства CdS были синтезированы коллоидные

растворы при использовании различных концентраций исходных компонентов, варьировании pH раствора и последовательности смешивания исходных компонентов. Полученные образцы исследованы методами динамического рассеяния света, абсорбционной и люминесцентной спектроскопии.

В ходе работы была модифицирована предложенная ранее методика синтеза [3]. Оптимизация методики позволила получить стабильные коллоидные растворы наночастиц CdS с концентрацией 2 мМ и мольным соотношением Cd:МПС=1:0.5..1. Наименьший средний гидродинамический диаметр частиц составил 10 нм, а дзета-потенциал минус 40 мВ. Полученные образцы обладают люминесценцией в области длин волн 400-850 нм.

Работа выполнена по Государственному заданию ИХТТ УрО РАН.

1. S.J. Rosenthal, J.C. Chang, O. Kovtun et al., Chem. Biol. 18, 10-24 (2011).
2. L.J. Shen, Funct. Biomater. 2, 355-372 (2011).
3. Y.V. Kuznetsova, I.D. Popov and A.A. Rempel, AIP Conf. Proc. 2313, 030021 (2020).

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ $\text{Fe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{@C}$ МЕТОДОМ ЯМР

Прокопьев Д.А.¹, Гермов А.Ю.¹, Конев А.С.¹, Голобородский Б.Ю.¹, Курмачёв И.А.¹, Суворкова Е.В.²

¹) Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: prokopez.dima@mail.ru

INVESTIGATION OF MAGNETIC NANOPARTICLES $\text{Fe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{@C}$ BY NMR METHOD

Prokopyev D.A.¹, Germov A.Yu.¹, Konev A. S.¹, Goloborodskii B.Yu.¹, Kurmachev I.A.¹, Suvorkova E.V.²

¹) M.N. Miheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Nanoparticles $\text{Fe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{@C}$ were synthesized by the gas-phase method, part of the sample was annealed to increase magnetization. NMR spectra of ^{59}Co were obtained. Analysis of the data obtained showed that after annealing, the spectrum corresponds to an ordered alloy with a BCC lattice.

Система бинарных сплавов Fe-Co представляют интерес благодаря своим магнитно-мягким свойствам, таким как высокий уровень намагниченности насыщения, в сравнении с наночастицами чистых металлов, высокая температура Кюри [1], а также ее каталитическая активность [2,3]. Практическое применение подразумевает долговременную устойчивость образца к окислению в условиях окружающей среды, защитным покрытием может служить тонкая поверхностная углеродная плёнка, которая предохраняет сами наночастицы от воздействия агрессивной внешней среды, с одной стороны, а с другой – защищает живые ткани организма от токсичных соединений металлов группы железа при непосредственном контакте.

Наночастицы $\text{Fe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{@C}$ были приготовлены методом газофазного синтеза [4]. В качестве исходного материала использовались два химически чистых порошка Fe и Co. Расплавленная капля обдувалась потоком инертного газа Ar с добавлением изобутана. Для получения однородных частиц без примеси оксидов, был проведён отжиг (540°C) в вакуумной камере ($P=10^{-4}$ мм.рт.ст) в течении 4 часов.

В работе были получены и проанализированы спектры ЯМР ^{59}Co , приводятся результаты измерения рентгеновской дифракции, эффективной поверхности и магнитной восприимчивости, дилатометрии, а также химический анализ образцов.

Согласно полученным данным, размер наночастиц и их намагниченность составляет 7 нм и 170 emu/g, соответственно. В процессе отжига, размер увеличился до 9 нм, а значение намагниченности насыщения составило 188 emu/g.

Спектр ЯМР ^{59}Co для не отожжённых образцов представляет собой неоднородно - уширенную линию с центром ~ 275 МГц с протяжённым сигналом в области низких частот, что указывает на неупорядоченную структуру твёрдого раствора. После отжига ЯМР спектр наночастиц соответствует спектру упорядоченного сплава [5]. Анализ окружения атомов показал, что вокруг атомов железа в ОЦК решетке в неупорядоченном сплаве находится атомы кобальта.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 21-72-0007.

1. T. Sourmail, Prog. Mater. Sci. 50, 816-880 (2005)
2. K.B. Arcuri, L.H. Schwartz, R.D. Piotrowski, J.B. Butts, J. Catal. 85, 349-361 (1984)
3. P. Rochana, J. Wilcox, Surf. Sci. 605, 681-688 (2011)
4. V. A. Tsurin et al., Physics of the Solid State 56, 287 (2014)
5. V.V. Serikov et.al., The Physics of Metals and Metallography 118(11), 1093-1101 (2017).

ДЕФОРМАЦИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ НАПЫЛЕНИИ НА МЯГКУЮ И ТВЕРДУЮ ПОДЛОЖКУ: СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И SPH-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рябинкина П.А.¹

¹) Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия
E-mail: ryabinkinapolina@gmail.com

PARTICLES' DEFORMATION DURING DETONATION SPRAYING ON SOFT AND HARD SUBSTRATE: COMPARISON OF EXPERIMENTAL DATA AND SPH-SIMULATION

Riabinkina P.A.¹

¹) Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The processes accompanying single particle impact on soft and hard substrate during detonation spraying are analyzed. Smoothed Particle Hydrodynamics method was used for process simulation.

Метод детонационного напыления, наряду с другими технологиями газотермического напыления, активно используется для формирования защитных покрытий на основе различных материалов – металлов, композиционных материалов на основе оксидов и карбидов металлов, интерметаллидов. Особенности, характерными для детонационного напыления, являются импульсный характер процесса, высокие температуры и скорости частиц. Выбор экспериментальных методик, позволяющих оценить температурно-деформационные изменения, протекающие в материалах при их динамическом взаимодействии, довольно мал, поэтому исследователи применяют методы численного моделирования.

Цель настоящей работы заключалась в выявлении особенностей взаимодействия частиц с подложкой при детонационном напылении путем анализа экспериментальных данных и результатов моделирования процесса методом SPH (SPH – Smoothed Particle Hydrodynamics) [1].

В качестве напыляемого материала был использован сферический порошок меди со средним размером 40-45 мкм. Были использованы 2 вида подложек – пластины из меди М1 и стали 35. Перед проведением экспериментов по напылению подложки подвергались отжигу, механическая обработка подложек заключалась в шлифовании и полировании их поверхности. Напыление проводили с использованием установки ССДС2000 [2]. В зависимости от выбранного режима обеспечивалось соударение как нагретых, но не полностью расплавленных частиц порошка, так и расплавленных частиц с подложкой. Полученные образцы исследовали с использованием сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50 XVP. Геометрия сформированных сплэтов (частиц пластинчатой

морфологии, полученных при напылении) исследовалась с использованием оптического профилометра Zygo New View 7300.

При моделировании анализировались процессы, сопутствующие соударению единичной частицы меди с цилиндрической медной или стальной подложкой. Температуры и скорости частиц при моделировании соответствовали экспериментальным. Были оценены степень пластической деформации, изменение температуры подложки и частицы, а также геометрические параметры полученных в ходе соударения частиц. Был проведен совместный анализ результатов моделирования и экспериментальных данных.

Работа выполнена в соответствии с Федеральным заданием Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FSUN-2020-0014 (2019-0931)): «Исследования метастабильных структур, формируемых на поверхностях и границах раздела материалов при экстремальном внешнем воздействии». Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ.

1. Monaghan J. J. Smoothed particle hydrodynamics //Reports on progress in physics. 2005. V. 68. №. 8. P. 1703.
2. Ulianitsky, V. Computer-controlled detonation spraying: from process fundamentals toward advanced applications. J. Thermal Spray Technol. 2011. V.20. P.791–801.

ФРАГИЛЬНОСТЬ ЩЕЛОЧНОБОРАТНЫХ РАСПЛАВОВ $x\text{Li}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$

Самойлова М.А.¹, Хохряков А.А.¹

¹⁾ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: mari.makarenko.1993@mail.ru

FRAGILITY OF ALKALI-BORON MELTS $x\text{Li}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$

Samoylova M.A.¹, Khokhtyakov A.A.¹

¹⁾ Institute of metallurgy UrO RAN, Yekaterinburg, Russia

Fragility of lithium-boron melts were estimated from various approaches. We've received different curves of the "viscosity-temperature" dependences and have counted free fluctuation volume (f_g) of investigated melts.

В основе квалификации стеклообразующих расплавов лежит кривизна линий зависимости «вязкость-температура». Анжел[1] предложил называть расплавы «прочными», изменение вязкости которых происходит по «Аррениусовскому» типу, и хрупкими (фрагильными), вязкость которых соответствует большой кривизне. Прочным расплавам соответствует большая связность сетки расплава, тогда как у фрагильных расплавов связность сетки нарушается из-за наличия неомостиковых связей кислорода и изменение координационного числа атомов бора в решетке.

Одним из способов оценки фрагильности является использование отношений энергий активаций, полученных в области низкотемпературного (900-1200К) и высокотемпературного (1200-1600К) интервалов. Значения величин фрагильности представлены в таблице.

Таблица 1. Фрагильность расплавов $x\text{Li}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$

Мол. % Li_2O	Q_H , кДж/моль	Q_L , кДж/моль	$m = Q_H / Q_L$	T_g , К
6,7	47,1	87,9	1,87	567
8,8	47,6	68,9	1,45	569
10,9	47,2	71,7	1,52	572
14,9	53,1	131,4	2,47	687
16,8	64,3	118,3	1,84	698
20,6	72,3	167,6	2,32	751
24,1	65,0	150,2	2,31	770
29,1	45,1	129,7	2,88	723
43,7	67,9	187,3	2,76	721

Полученные данные хорошо согласуются с литературными.

Таким образом, хрупкость является важной характеристикой щелочно-борных расплавов и показывает скорость уменьшения вязкости при последовательном увеличении температуры.

1. C.A. Angell Perspective on the glass transition. J. Phys. Chem. Solids V.49, №8, P.863-871. 1988.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ НА ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К ЛОКАЛЬНЫМ УДАРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Седухин В.В.¹, Чуманов И.В.²

- ¹) ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)", г. Челябинск, Россия
- ²) ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)", филиал в г. Златоусте, г. Златоуст, Россия
E-mail: wadik_zlat@mail.ru

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DISPERSION STRENGTHENING OF IRON-CARBON MELTS ON THEIR RESISTANCE TO LOCAL IMPACT

Sedukhin V.V.¹, Chumanov I.V.²

- ¹) FSAEI HE "South Ural State University (national research university)", Chelyabinsk, Russia
- ²) FSAEI HE "South Ural State University (national research university)", branch in Zlatoust, Zlatoust, Russia

A technological method for obtaining metallic materials by disperse hardening of a crystallizing melt with tungsten carbide microparticles is presented, which makes it possible to produce materials with increased resistance to local impacts with a stable type of destruction.

Одной из важнейших задач в металлургии и машиностроении является разработка новых материалов и их внедрение, а также материалосберегающих технологий. В настоящее время все шире используются микро- и нанокompозитные материалы. К наноматериалам относятся материалы, содержащие структурные элементы, не превышающие 100 мкм хотя бы в одном измерении и обладающие качественно новыми свойствами: функциональными и эксплуатационными. Перспективным направлением в производстве композиционных материалов с высокими механическими характеристиками может быть диспергирование частиц карбидов, оксидов или нитридов в металлы [1, 2].

На примере стали марки 1020 исследовано влияние на прочностные характеристики введения в кристаллизующийся расплав при разливке стали на установке центробежного литья микрочастиц карбида вольфрама. Введенные частицы служат центрами кристаллизации, ускоряют процесс кристаллизации, измельчают зерно и повышают механические свойства. Кроме того, частицы карбида вольфрама обладают высокой твердостью; поэтому в конструкции заготовок они служат армирующими элементами, укрепляющими конструкцию. Также для придания опытным образцам необходимой конфигурации ковку отливок проводили по предложенной авторами схеме.

Образцы получали плавлением в индукционной печи, затем литьем в установке центробежного литья горизонтального типа со скоростью вращения изложницы 730 об./мин. Разливка осуществлялась в течение 10-12 секунд. Температура металла при разливке составляла 1580 °С. Дисперсные частицы вводили с помощью дозатора шнекового типа. Размер частиц составлял 1-3 мкм. Всего было получено 2 отливки с различной концентрацией армирующих частиц. Отливка 1 - эталон, без введения дисперсных частиц; отливка 2 - с концентрацией армирующих частиц $WC = 0,1$ мас. %. Полученные отливки имели следующие размеры: наружный диаметр 185 мм, внутренний диаметр 145 мм, длина 180 мм (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид полученных образцов

После литья образцы подвергались деформации (ковке) при температуре 800 °С.

После деформации производилось исследование микроструктуры полученных образцов, а также их последующая термическая обработка, заключающаяся в нормализации при температуре 850-870 °С.

Испытания на сопротивление локальным ударным воздействиям проводились в лаборатории, где стальные шарики диаметром 6 мм и массой 1,05 г могут разгоняться до скоростей более 600 м/с [3].

При сравнении остаточной скорости (скорости вылетающей пробки) со скоростями ударника 700-900 м/с в случае пластины, имеющей армирующие частицы, этот показатель ниже, что свидетельствует о повышении баллистической стойкости данного типа материала, а устойчивость к локальным ударным воздействиям повышается. Таким образом, образец, насыщенный тугоплавкими микрочастицами карбида вольфрама, имеет более высокие характеристики твердости и устойчивости к локальным ударам с устойчивым откольным типом разрушения по сравнению с образцом из обычной стали марки 1020.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90101.

1. Chumanov V.I., Chumanov I.V., Anikeev A.N. et.al. Hardening of the surface layers of a hollow billet formed by centrifugal casting, Russian Metallurgy (Metally), 2010 (12), 1125-1128 (2010)
2. Komshukov V.P., Cherepanov A.N., Protopopov E.V. et al. Influence of nanopowder modification of metal on the quality of continuous-cast bar, Steel in Translation, 40(8), 717–722 (2010)
3. Sapozhnikov S., Ignatova A. Experimental and theoretical investigation of deformation and fracture of subcutaneous fat under compression, Mechanics of Composite Materials, 48(6), 649-654 (2013)

ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ АЛМАЗА НА СТРУКТУРУ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВОГО СПЛАВА Mg-Ca-Zn

Селиховкин М.А.¹, Валихов В.Д.¹, Ефремов М.А.¹

¹) Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: mishselikh@gmail.com

EFFECT OF DIAMOND NANOPARTICLES ON THE STRUCTURE AND STRENGTH PROPERTIES OF MAGNESIUM ALLOY Mg-Ca-Zn

Selikhovkin M. A.¹, Valikhov V. D.¹, Efremov M. A.¹

¹) National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The paper investigates the effect of diamond nanoparticles on the structure and mechanical properties of the magnesium alloy Mg-Ca-Zn. The results of the study of the structure and microhardness, as well as the results of tensile and torsion tests are presented.

Сплавы на основе магния являются перспективными материалами для изготовления ортопедических имплантов за счёт сочетания механических свойств и способности наращивания костных тканей. Одним из способов упрочнения является получением ультрамелкозернистой структуры за счет добавления в состав сплава наночастиц алмаза [1]. Цель работы заключалась в исследовании влияния высококомодульных наночастиц алмаза на структуру и механическое поведение сплава Mg-Ca-Zn.

Исходным материалом в работе стал сплав чистого магния (99.5%), в качестве упрочняющих частиц был выбран нанопорошок алмаза. Лигатура с содержанием наноалмаза была получена методом ударно-волнового компактирования. Сплав магния помещался в стальной ковш и расплавлялся с одновременным подводом аргона в качестве защитной среды. При температуре расплава 720 °С осуществлялось введение цинка и кальция в сплав, лигатура Mg- наноалмаз вводилась при температуре 710 °С, с последующей обработкой механическим смесителем в течении 20 секунд после введения каждого из элементов [2]. Аналогичным образом был получен сплав без частиц.

Структура полученных материалов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega II LMU и на оптическом микроскопе Olympus GX71. Измерение твердости по Бринеллю были проведены на твердомере МЕТОЛАБ 703 со стандартом ASTM E103. Эксперименты по сжатию проводились с использованием универсального электромеханического испытательного стенда Instron 3369 со скоростью нагружения 4.8 мм/мин.

Установлено, что введение наночастиц алмаза уменьшило средний размер зерна с 180 до 90 мкм. Введение наночастиц не приводит к повышению микротвердости, которая составила 54 НВ для модернизированного и 52 НВ для

исходного сплава. Выявлено, что введение частиц наноалмаза приводит увеличению предела текучести сплава с 66 до 75 МПа, предела прочности с 294 до 332 МПа и пластичности с 22 до 27 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2021-1384)

1. J. Chen, C. Bao, W. Chen, L. Zhang, and J. Liu, J. Mater. Sci. Technol. 33, Iss. 7, 668–674 (2017).
2. Vorozhtsov, S.; Minkov, L.; Dammer, V.; Khrustalyov, A.; Zhukov, I.; Promakhov, V.; Khmeleva, M. Ex situ introduction and distribution of nonmetallic particles in aluminum melt: Modeling and experiment. JOM 2017, 69, 2653–2657.

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НА ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

Семенуха О.В.¹, Воронина С.Ю.¹

¹) Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика
М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия
E-mail: semenukha.cool@mail.ru

INFLUENCE OF FACTORS ON THE TENSORESISTIVE PROPERTIES OF POLYMER NANOCOMPOSITES

Semenukha O.V.¹, Voronina S.Yu.¹
¹) Reshetnev University, Krasnoyarsk, Russia

The development of technology for creating sensor elements based on the tensoresistive effect is possible only when taking into account the factors that affect the tensoresistive properties of the material.

Полимерные композиты, обладающие тензорезистивными свойствами, открывают новые перспективы в области разработки сенсоров для различных областей: аэрокосмической, машиностроительной, медицинской и др.

В трансформируемых конструкциях космического назначения оценку сенсорных характеристик проводят, определяя значение коэффициента тензорезистивности (GF). Его значение существенно варьируется в зависимости от ряда факторов. Поэтому целью нашей работы являлась оценка влияния различных физических факторов на значение GF.

Ранее в работе [1] представлены результаты по исследованию изменения GF. Нами была разработана методика измерения электросопротивления нанокompозита при нулевой деформации и в момент изгиба вокруг цилиндрического стержня, позволяющая оценить тензорезистивный эффект в электропроводящем силиконовом нанокompозите. Однако для отработки методики измерения стабильных тензорезистивных характеристик необходимо рассмотреть влияние различных факторов на GF.

Основной вклад в значение GF оказывает количество, ориентация и морфология углеродного наполнителя. Когда количество наполнителя увеличивается выше критического значения порога перколяции, образуются первые непрерывные проводящие пути, охватывающие всю длину образца, что позволяет протекать току. Выше порога перколяции проводимость обычно описывается с использованием классической теории перколяции [2].

Также в работе Брайана Эрпа отмечено мгновенное изменение электрических свойств эпоксидных композитов, содержащих УНТ менее 1%, при воздействии смоделированных космических условий (давления, температуры и условий освещения) [3]. Повышение температуры выше 60°C при высоком вакууме приводит

к мгновенному снижению электросопротивления не менее чем на 20%. Воздействие моделируемого солнечного света может оказать серьезное влияние на электрические свойства, способствуя скачку температуры и вызывая снижение электросопротивления почти до 60% от исходных значений. Авторы назвали решающим фактором, влияющим на электросопротивление, пористость поверхности при изученных условиях. В работе Е.А. Киселевой и Г.И. Раздьяконовой замечено влияние пористости углеродных наполнителей на проводимость резин [4]. Авторы отметили, что по мере увеличения пористости частиц технического углерода возрастает вероятность их агломерации, которая приводит к снижению проводимости резин.

Таким образом были рассмотрены основные факторы, оказывающие влияние на значение GF.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Интеллектуальные материалы и структуры» проекта «Разработка многофункциональных интеллектуальных материалов и структур на основе модифицированных полимерных композиционных материалов способных функционировать в экстремальных условиях» (Номер темы FEFE-2020-0015). Автор выражает благодарность Красноярскому краевому фонду поддержки научной и научно-технической деятельности за поддержку в представлении данной работы на IX Международной молодежной научной конференции Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2022.

1. Исследование тензорезистивного эффекта силиконового нанокompозита / С. Ю. Воронина, О. В. Семенуха, М. М. Симунин, Т. А. Шалыгина // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения. – 2021. – С. 48-48.
2. A simple model relating gauge factor to filler loading in nanocomposite strain sensors / James R. Garcia, Domhnall O'Suilleabhain, Harneet Kaur, Jonathan N. Coleman // ACS Applied Nano Materials. – 2021. – Т. 4. – №. 3. – P. 2876-2886.
3. Electrical behavior of CNT epoxy composites under in-situ simulated space environments / B. Earp, J. Hubbard, A. Tracy [et al.] // Composites Part B: Engineering. – 2021. – Т. 219. – P. 108874.
4. Киселева Е. А., Управление электросопротивлением резин путем регулирования дефектностью структуры дисперсного углерода / Г. И. Раздьяконова // Динамика систем, механизмов и машин. – 2012. – №. 3. – С. 192-196.

ON THE ISSUE OF NITROGEN SOLUBILITY IN CHROMIUM-NICKEL GRADES OF STEELS

Sergeev D.V.¹, Sedukhin V.V.¹, Anikeev A.N.¹, Chumanov I.V.¹

¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “South Ural State University (national research university)” FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk, Russia
E-mail: dazlatoust@inbox.ru

The article presents a comparative analysis of the solubility of nitrogen in chromium-nickel grades of steels. It is revealed that the existing theoretical calculations on the solubility of nitrogen in chromium-nickel steels can be applied only to austenitic grades of steels.

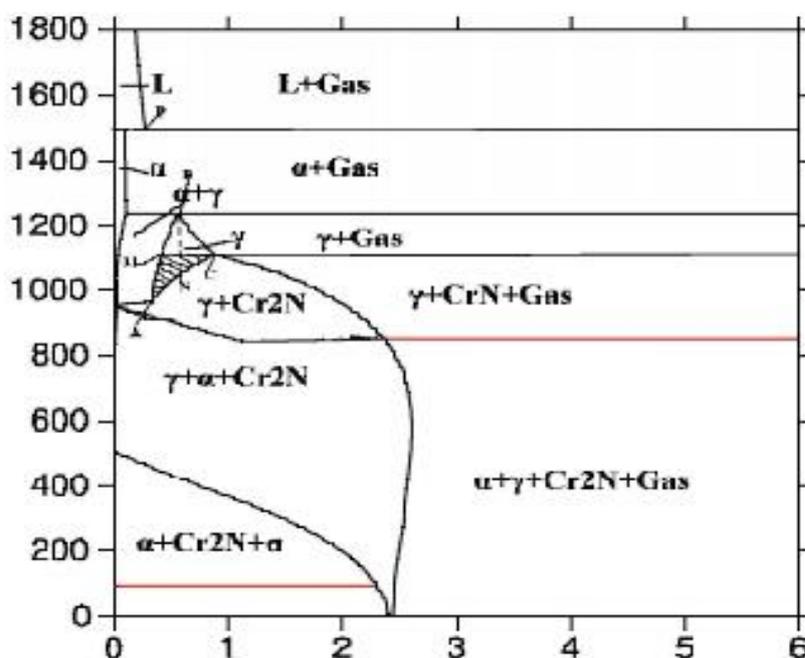


Fig. 1. Polythermal section of the phase equilibrium diagram of the Fe-18%Cr-N system

The paper carried out a theoretical calculation of the solubility of nitrogen in the experimental obtained metal compositions, after which the results were compared with the concentration of nitrogen obtained during the study of the chemical composition of the metal. According to [1], it is possible to carry out a theoretical calculation of the solubility of nitrogen in a melt containing Cr, Mo, Ni and Mn, since these elements have a major influence on the assimilation and, consequently, on the solubility of nitrogen in iron-based melts. The solubility of nitrogen is a logarithmic function that depends directly on the temperature of the melt.

Since the solubility of nitrogen is a temperature-dependent function, this indicator was calculated for different melt interaction temperatures.

During the experiment, it was revealed that the solubility of nitrogen in ferrite is much less than in a liquid melt [2]. If ferrite is formed during the crystallization of steel,

then part of the nitrogen dissolved in the metal is released into the gas phase, while bubbles form in the ingot. The appearance of bubbles increases due to the positive nitrogen liquation in such a structure. The central part of the ingot crystallizes at a noticeably higher nitrogen content than the source metal. At the same time, the solubility of nitrogen in alloyed austenite is much higher than in liquid metal and all nitrogen dissolved at the melting temperature is absorbed without bubbles. The austenite formed during crystallization is enriched with nitrogen, the portions of the metal that crystallize last contain less nitrogen than the source metal. A large difference in the solubility of nitrogen in liquid chromium-containing steel and in α -ferrite also causes the growth of the ingot associated with nitrogen emissions during crystallization.

1. Leewis K., Mclean A. Thermodynamics of Nitrogen Dissolution in Liquid Iron-Silicon Alloys / Canadian Metallurgical Quarterly. – 1979. – Vol. 18. – Iss. 3. – P. 333–340.
2. Svyazin A.G., Kaputkina L.M. Nitrogen-doped steels / Izvestia of Higher educational institutions. Ferrous metallurgy. – 2005. - No. 10. - pp. 36-46.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ИНВЕРСНЫХ ОПАЛОВ ИЗ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Шабанова К.А.^{1,2}, Кох Д.^{1,2}, Шабанова О.В.³

¹⁾ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия

²⁾ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия

³⁾ Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия
E-mail: shabanova.ksenia@mail.ru

SYNTHESIS AND STUDY BY ELECTRON MICROSCOPY OF INVERSE OPALS FROM ZIRCONIUM OXIDE

Shabanova K.A.^{1,2}, Kokh D.^{1,2}, Shabanova O.V.³

¹⁾ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

²⁾ Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Krasnoyarsk, Russia

³⁾ Special Designing and Technological Bureau "Nauka" KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Inverse opals synthesised using transparent oxides are a promising material for obtaining photonic crystals and photocatalysts. Inverse opals with zirconium oxide composition have been obtained, and their structure has been studied by SEM and TEM.

Инверсные опалы обычно получают темплатным способом с последующим удалением полимерной матрицы [1]. Каркасом структуры инверсного опала могут являться материалы с разными показателями преломления, что значительной степени может влиять на оптические свойства. Благодаря этому использование инверсного опала существенно расширяет возможности модификации фотонных структур [2]. Также такие материалы за счет своей микроструктуры могут быть катализаторами и фотокатализаторами.

Инверсные опалы из оксида циркония были получены путем пропитки полимерных матриц из сферических субмикронных частиц полиметилметакрилата водно-спиртовыми растворами оксихлорида циркония $ZrOCl_2$ (ОХЦ). После сушки при 75 °С образцы отжигались при температуре 450 °С и 600 °С со скоростью нагрева 2 °С/мин. После обжига (завершения синтеза) образцы исследовались методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на Hitachi S5500 (Япония) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на Hitachi HT7700 (Япония), проведено сравнение структуры инверсных опалов, отоженных при разных температурах.

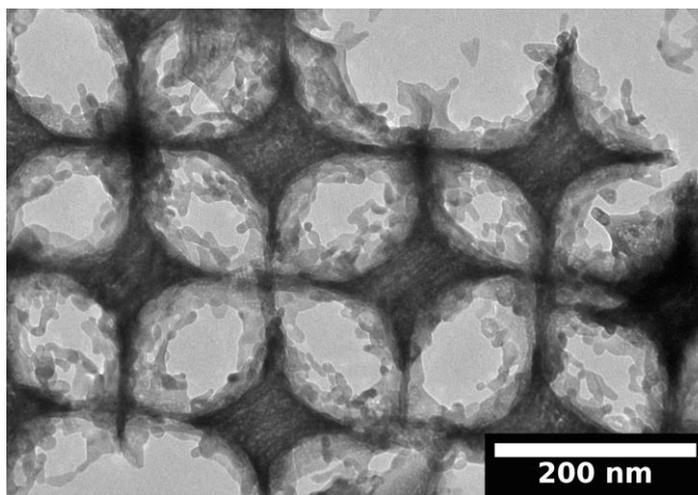


Рис. 1. Transmission electron microscope image of inverse opal

Полученные инверсные опалы ZrO_2 могут использоваться в качестве катализатора при каталитической переработке растительной биомассы [3].

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 20-03-00636. Исследования были выполнены на оборудовании центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

1. Немцев И. В., Шабанова О. В., Шестаков Н. П., Иваненко А. А., Черепяхин А. В., Зырянов В. Я., Фотонно-кристаллические структуры на основе субмикронных частиц полиметилметакрилата, Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы (ИТНТ-2020), в 4-х томах, под редакцией С. В. Карпеева, с. 608-614, (2020)
2. Архипкин В. Г. [и др.], Метаматериалы и структурно организованные среды для оптоэлектроники, СВЧ-техники и нанофотоники, Новосибирск: Изд-во СО РАН, (2013)
3. Сычев В. В., Зайцева Ю. Н., Еремина А. О., Шабанова О. В., Кирик С. Д., Панченко В. Н., Таран О. П., Конверсия леволиновой кислоты в γ -валеролактон в изопропанол по реакции переноса водорода на ZrO_2 -содержащих катализаторах, Журнал Сибирского федерального университета, с. 137-155, (2022).

ВЛИЯНИЕ КАТИОННОГО СОСТАВА В-ПОДРЕШЕТКИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДОВ $\text{La}(\text{MnFeCoNiCu})\text{O}_{3-\delta}$ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА

Шаламова А. М.¹, Баженова П.А.¹, Сунцов А.Ю.¹

¹) Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kam1995@ya.ru

INFLUENCE OF THE CATIONIC DISTRIBUTION OF THE B-SITE OF $\text{La}(\text{MnFeCoNiCu})\text{O}_{3-\delta}$ HIGH-ENTROPY OXIDES ON THE CRYSTAL STRUCTURE AND PROPERTIES

Shalamova A.M.¹, Bazhenova P.A.¹, Suntsov A.Yu.¹

¹) Institute of Solid State Chemistry, Yekaterinburg, Russia

High-entropy perovskites $\text{La}(\text{MnFeCoNiCu})\text{O}_{3-\delta}$ are obtained via combustion of glycerol-nitrate precursors and consequent annealing at 1100 °C. Most of the samples are single-phase with different symmetric types within the perovskite-like crystal structure. The cationic distribution over sintered sample.

В последние годы большое внимание ученых привлекают так называемые высокоэнтропийные соединения, в том числе чистые сплавы, а также сложные оксиды (HS) [1], в частности перовскиты [2–5]. Такие фазы представляют собой соединения, содержащие пять или более катионов в эквимольных соотношениях в одной из подрешеток. Высокая дисперсия катионов создает определенные преимущества высокоэнтропийных соединений при их использовании во многих областях, например керамической промышленности, дизайне литиевых батарей и суперконденсаторов [2], создании активных компонентов твердооксидных топливных элементов [2–5]. Согласно литературным данным, введение в В-подрешетку катионов различной природы вызывает эффект самокоординации, сопровождаемый резким повышением энтропии смешения компонентов [2,4]. Также HS обладают привлекательным сочетанием функциональных характеристик: высокой каталитической активностью, обусловленной широким коридором возможных валентных состояний [2,4,5], улучшенными электротранспортными свойствами за счет сниженного поляризационного сопротивления [3,4], и необычно низкой теплопроводностью [4].

В рамках данной работы глицирин-нитратным методом были синтезированы следующие высокоэнтропийные оксиды со структурой перовскита: $\text{LaMn}_{0,2}\text{Fe}_{0,2}\text{Co}_{0,2}\text{Ni}_{0,2}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_{3-\delta}$ (HS_0), $\text{LaFe}_{0,25}\text{Co}_{0,25}\text{Ni}_{0,25}\text{Cu}_{0,25}\text{O}_{3-\delta}$ (HS_1), $\text{LaMn}_{0,25}\text{Co}_{0,25}\text{Ni}_{0,25}\text{Cu}_{0,25}\text{O}_{3-\delta}$ (HS_2), $\text{LaMn}_{0,25}\text{Fe}_{0,25}\text{Ni}_{0,25}\text{Cu}_{0,25}\text{O}_{3-\delta}$ (HS_3), $\text{LaMn}_{0,25}\text{Fe}_{0,25}\text{Co}_{0,25}\text{Cu}_{0,25}\text{O}_{3-\delta}$ (HS_4) и $\text{LaMn}_{0,25}\text{Fe}_{0,25}\text{Co}_{0,25}\text{Ni}_{0,25}\text{O}_{3-\delta}$ (HS_5). На финальной стадии синтеза образцы выдерживали при температуре 1100°C в воздушной атмосфере. Контроль фазового состава полученных соединений

осуществляли на основе спектров рентгеновской порошковой дифракции, записанных с помощью дифрактометра XRD-7000 (Shimadzu) (рис. 1). HS_0, HS_1 и HS_4 кристаллизуются в тригональной пространственной группе $R\bar{3}c$ (167); HS_2 и HS_3 в рамках орторомбической структуры $Pbnm$ (62); а HS_5 представляет смесь двух вышеуказанных фаз. Данные кристаллографические группы характерны для высокоэнтропийных перовскитов схожего состава, а также для простых перовскитов $LaMO_{3-\delta}$ (M = переходный металл) [2,4,5].

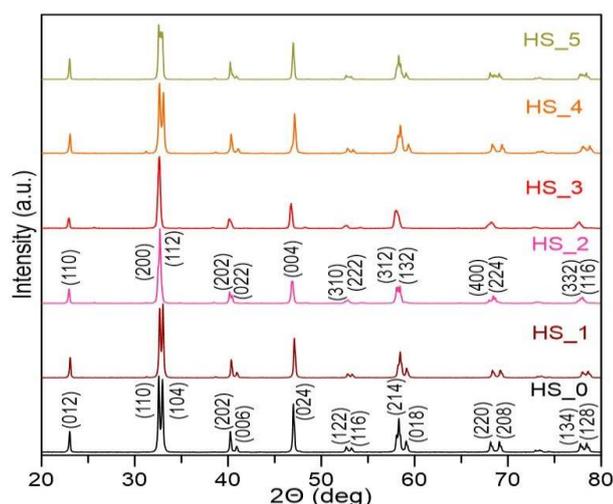


Рис. 1. Спектры порошковой рентгеновской дифракции высокоэнтропийных оксидов

Морфологическую характеристику образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 в режиме вторичного электронного изображения (SEI). Химический состав контролировали энергодисперсионным рентгеновским модулем (EDX). Для всех синтезированных соединений наблюдалось равномерное распределение катионов в кристалле. Также были проведены измерения электропроводности от температуры и установлены корреляции с изменением катионного состава оксидов.

1. Rost C.M., Sachet E., Borman T., Moballeggh A., Dickey E.C., Hou D., Jones J. L., Curtarolo S., Maria J.P., Nature Communications, 6 (2015)
2. Han X., Yang Y., Fan Y., Ni H., Guo Y., Chen Y., Ou X., Ling Y., Ceramics International, 47, 17383–17390 (2021)
3. Yang Q., Wang G., Wu H., Beshiwork B.A., Tian D., Zhu S., Yang Y., Lu X., Ding Y., Ling Y., Chen Y., Lin B., Journal of Alloys and Compounds, 872, 159633 (2021)
4. Dąbrowa J., Olszewska A., Falkenstein A., Schwab C., Szymczak M., Zajusz M., Moździerz M., Mięka A., Zielińska K., Berent K., Czeppe T., Martin M., Świerczek K., Journal of Materials Chemistry A, 8, 24455–24468 (2020)
5. Nguyen T.X., Liao Y.C., Lin C.C., Su Y.H., Ting J.M., Advanced Functional Materials, 31, 1–10 (2021)

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОСТИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАКОВ СИСТЕМЫ $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОКСИДА ХРОМА

Бабенко А.А.¹, Шартдинов Р.Р.¹, Уполовникова А.Г.¹, Сметанников А.Н.¹, Лобанов Д.А.¹

¹) Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: rr.shartdinov@gmail.com

EFFECT OF BASICITY ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ SLAG SYSTEM WITH A HIGH CONTENT OF CHROMIUM OXIDE

Babanko A.A.¹, Shartdinov R.R.¹, Upolovnikova A.G.¹, Smetannikov A.N.¹,
Lobanov D.A.¹

¹) Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

In the work, viscosity, beginning of crystallization temperature, phase composition, and structure of the $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ slag system were studied in the basicity range from 1.0 to 2.5 using vibrational viscometry, phase composition thermodynamic modeling, and Raman spectroscopy.

Наиболее распространенным способом производства низкоуглеродистой нержавеющей стали является аргоноокислородное рафинирование (АКР), состоящее из окислительного и восстановительного периодов. Из-за высокого содержания оксида хрома в шлаке восстановительного периода затрудняется проведение восстановления хрома и десульфурации стали вследствие высокой вязкости и тугоплавкости формируемых шлаков. Поэтому в данные шлаки в качестве разжижителя добавляют плавиковый шпат [1]. Однако он имеет определенные недостатки [2], что вызывает необходимость поиска его замены, которой может стать оксида бора, положительное воздействие которого на вязкость и температуру кристаллизации шлаков отмечено в ряде работ [3,4]. При этом информация о влиянии оксида бора на физические свойства хромсодержащих шлаков практически отсутствуют.

В работе при помощи вибрационной вискозиметрии, термодинамического моделирования фазового состава (HSC Chemistry 6.12 (Outokumpu)) и рамановской спектроскопии были изучены вязкость, температура начала кристаллизации, фазовый состав и структура шлаков системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-18\%Cr}_2\text{O}_3\text{-6\%B}_2\text{O}_3\text{-3\%Al}_2\text{O}_3\text{-8\%MgO}$ в диапазоне основности ($B=\text{CaO/SiO}_2$) от 1,0 до 2,5, близкой по составу началу восстановительного периода. Зависимость вязкость–температура показана на рисунке, из которого видно, что с ростом основности происходит

увеличение температуры кристаллизации и вязкости, что можно объяснить с точки зрения структуры и фазового состава.

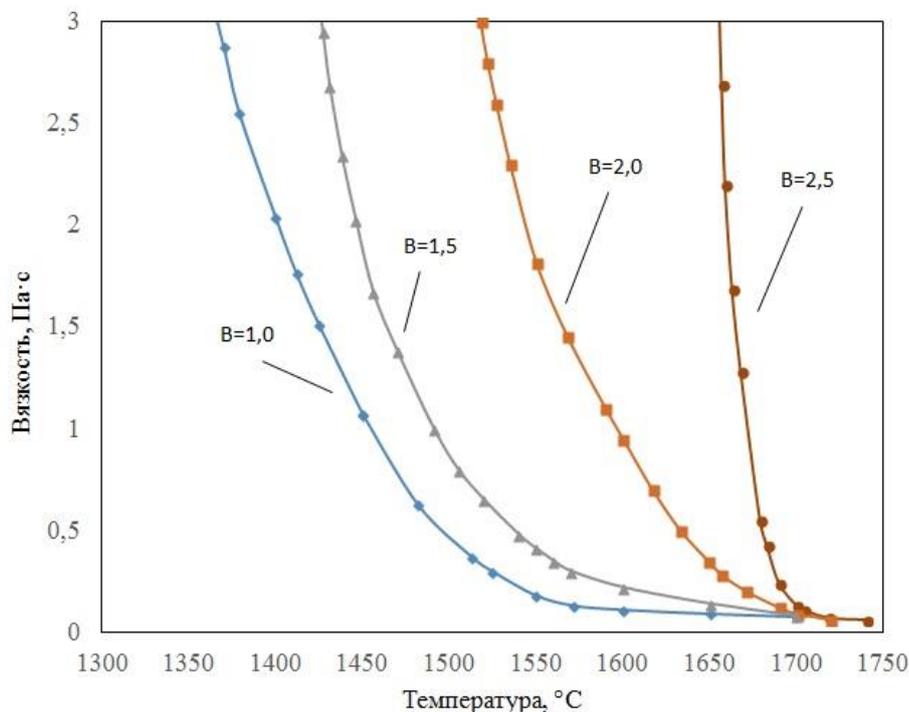


Рис. 1. Зависимость вязкости шлаков от температуры

Для шлаков с основностями 1,0 и 2,5 были получены характеризующие структуру рамановские спектры, деконволюция которых по методу Гаусса [5] в силикатном интервале $800-1200\text{ см}^{-1}$ позволила представить степень полимеризации шлаков в виде показателя среднего количества мостикового кислорода ВО:

$$ВО=0\cdot Q_{Si}^0+1\cdot Q_{Si}^1+2\cdot Q_{Si}^2+3\cdot Q_{Si}^3+4\cdot Q_{Si}^4,$$

где Q_{Si}^n – $[\text{SiO}_4]$ с n мостикового кислорода.

При основности 1,0 шлак обладает большим количеством тугоплавких соединений и, как следствие, высокой температурой кристаллизации 1530°C . Однако Cr_2O_3 проявляет основные свойства, упрощая структуру шлака ($ВО=0,55$), что вместе с высокой долей легкоплавких фаз 21,8% позволяет получить достаточно подвижный шлак (0,11 Па·с при 1600°C). С ростом основности до 2,5 оксид хрома проявляет более кислые свойства, проявляется элемент $[\text{CrO}_4]$, и происходит полимеризация шлака. Хотя его структура усложняется не сильно ($ВО=0,73$), большая доля высокотемпературных фаз (53,5%) и малая - низкотемпературных (9,1%) приводят к сильному росту температуры кристаллизации 1700°C и вязкости, которая резко возрастает до 1 Па·с уже при 1670°C . Таким образом, свойства шлаков зависят от баланса между влиянием структуры и фазового состава.

Работа выполнена в рамках исполнения государственного задания ИМЕТ УрО РАН с использованием оборудования ЦКП "Состав вещества" ИВТЭ УрО РАН.

1. Kalicka, Z., Kawecka-Cebula, E., Pytel, K., Arch. Metall. Mater, Vol. 54, No.1, P. 179 (2009))
2. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Внепечная металлургия стали. Т.3, Москва : Теплотехник, 544 с. (2010))
3. Hong-ming, W., Gui-rong, L., Bo, L., Xue-jun, Z., Yong-qi, Y., ISIJ Int., Vol. 17, No. 10, P. 18-22 (2010) [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(10\)60177-X](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(10)60177-X)
4. Wang, H.M., Zhang, T.W., Zhu, H., Yan, Y.Q., Zhao Y.N., Adv. Mat. Res., Vol. 295-297, P. 2647 (2011) <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.295-297.2647>
5. Mysen B.O., Virgo D., Scarfe C.M., Am. Mineral., Vol. 65, No. 7-8, P. 690 (1980).

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКЭФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ОКСИБУТИРАТА И МАГНЕТИТА ПОСЛЕ БИОДЕГРАДАЦИИ IN VITRO

Шлапакова Л.Е.¹, Чернозем Р.В.¹, Прядко А.С.¹, Сурменева М.А.¹

¹) Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия
E-mail: les2@tpu.ru

STRUCTURE AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF PHB/MAGNETITE SCAFFOLDS AFTER BIODEGRADATION IN VITRO

Shlapakova L.E.¹, Chernozem R.V.¹, Pryadko A.S.¹, Surmeneva M.A.¹

¹) National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Hydrolytic and enzymatic biodegradation of electrospun hybrid PHB/Fe₃O₄ scaffolds with addition of submicron and nanoparticles of magnetite has been performed. Properties of scaffolds before and after immersion into PBS and lipase have been investigated by X-ray diffraction and tensile test.

Полиоксиалканоаты (ПОА) – это полиэфиры, которые обладают биосовместимостью, биоразлагаемостью, малой токсичностью, пьезоэлектрическими и термопластическими свойствами. Эти свойства открывают широкий потенциал биомедицинских применений ПОА [1].

В данном исследовании проводилась биodeградация in vitro электроформованных гибридных скэффолдов на основе поли-3-оксибутирата (ПОБ) и частиц субмикронного (М3) и наноразмерного (М1, М7) магнетита. Поверхность наночастиц М1 была модифицирована лимонной кислотой. В качестве модельных сред для биodeградации были выбраны фосфат-буферный раствор (БФС) и свиная панкреатическая липаза в БФС в концентрации 0,25 мг/мл.

Рентгенофазовый анализ позволил установить для всех композитов основные характерные пики орторомбической α -фазы ПОБ при $2\theta = 13,6^\circ$ (020) и $16,9^\circ$ (110). Кроме того, наблюдаются менее выраженные рефлексы в области $21,4^\circ$ (101); $22,4^\circ$ (111); $25,5^\circ$ (031/130); $26,9^\circ$ (040). Выраженные рефлексы при $18,2^\circ$ (111); $30,4^\circ$ (220); $35,9^\circ$ (311); $43,5^\circ$ (400); $53,5^\circ$ (422); $57,7^\circ$ (511); $63,1^\circ$ (440) соответствуют магнетиту с гранцентрированной кубической решеткой [2]. Важно отметить, что в случае композита с субмикронными частицами (ПОБ/М3) после инкубации как в БФС, так и в растворе липазы наблюдается сдвиг рефлекса плоскости (020) в сторону больших углов, что указывает на снижение параметров решетки кристаллической фазы полимера и, как следствие, наличием растягивающих микронапряжений. Вследствие этого мы предполагаем уменьшение расстояния между ламелями и уплотнение кристаллической структуры в ходе биodeградации. В случае гибридных скэффолдов с наночастицами магнетита (ПОБ/М1,

ПОБ/М7) указанный рефлекс сдвигается в сторону меньших углов после биодеградации. Помимо этого, на рентгенограммах каждого из исследуемых композитов после деградации у рефлекса (020) при $2\theta = 13,6^\circ$ появляется плечо в области меньших углов при $13,2^\circ$, связанное с расщеплением данного пика. Эти наблюдения свидетельствуют об увеличении параметров элементарной ячейки и наличии сжимающих микронапряжений. На основании этого можно предположить об увеличении расстояния между ламеллами кристаллической фазы композитных полимерных скэффолдов после биодеградации в исследуемых средах.

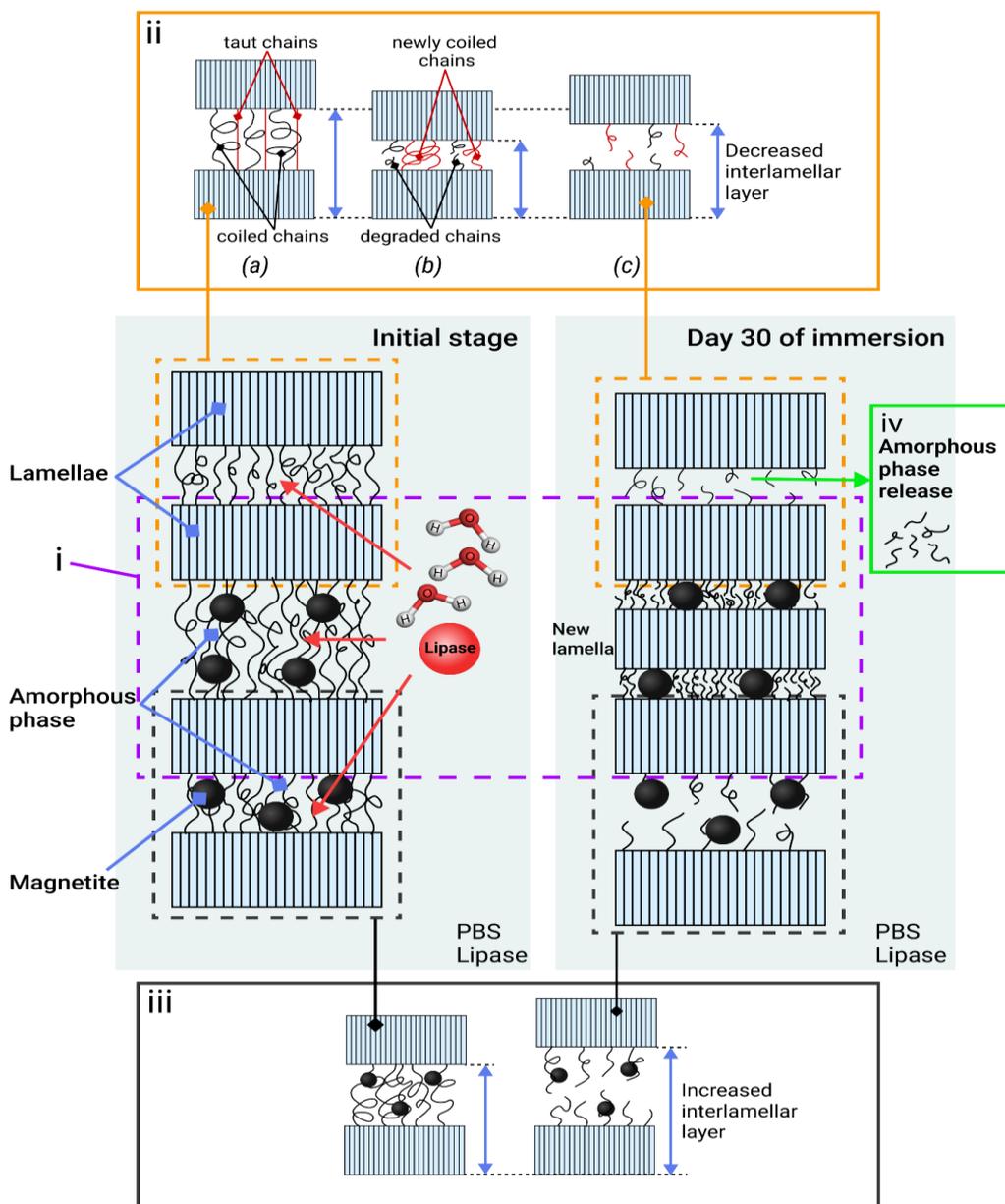


Рис. 1. Изменения кристаллической структуры гибридных скэффолдов ПОБ/ Fe_3O_4 в ходе гидролитической и ферментативной деградации: i — образование новых ламелей; ii — уменьшение расстояния между ламеллами; iii — увеличение расстояния между ламеллами; iv — растворение аморфной фазы

В ходе механических испытаний на растяжение установлено увеличение механических свойств всех композитов после биодegradации. В случае композита ПОБ/М3 максимальное напряжение до разрыва увеличивается от $0,73 \pm 0,07$ МПа до $0,90 \pm 0,28$ и $2,05 \pm 0,05$ МПа, соответственно, после degradation в БФС и липазе. Также, наблюдается увеличение модуля Юнга гибридных скэффолдов ПОБ/М3 и ПОБ/М7. Модуль Юнга композита ПОБ/М7 увеличился от $116,05 \pm 7,77$ МПа до $146,26 \pm 20,80$ и $144,84 \pm 13,49$ МПа, соответственно, в гидролитической и ферментативной средах. Для композитов с добавлением модифицированных наночастиц удлинение при растяжении возрастает от $7,51 \pm 0,57$ % до $17,02 \pm 4,76$ % после degradation в растворе с липазой.

Авторы выражают благодарность коллективу кафедры биоинженерии Московского государственного университета им М. В. Ломоносова под руководством Бонарцева А. П. за проведение экспериментов по биодegradации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-63-47096).

1. Volova, T., et al., International Journal of Biological Macromolecules, 182, 98-114 (2021)
2. Li J. H. et al., Materials Chemistry and Physics, 133, 140-144 (2009).

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ В СИСТЕМЕ Gd_2O_3 -BaO- Fe_2O_3

Шулаева Е.В.¹, Волкова Н.Е.¹, Гаврилова Л.Я.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: shulaeva00@mail.ru

CRYSTAL STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPLEX OXIDES IN THE SYSTEM Gd_2O_3 -BaO- Fe_2O_3

Shulaeva E.V.¹, Volkova N.E.¹, Gavrilova L.Y.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Two types of phases: $Ba_{1-x}Gd_xFeO_{3-\delta}$ and $BaGd_yFe_{1-y}O_{3-\delta}$ were obtained. The structural parameters of single-phase samples were refined by the Rietveld analysis. Oxygen content in single-phase oxides is determined by TGA and iodometric titration.

Сложные оксиды со структурами перовскита и его производных, образующиеся в системах $\frac{1}{2}Ln_2O_3$ -BaO- $\frac{1}{2}Fe_2O_3$, вызывают значительный интерес благодаря высоким значениям смешанной электронной и кислород-ионной проводимости, умеренным значениям коэффициента теплового расширения (КТР) и стабильности в окислительной атмосфере. Такой набор свойств позволяет использовать эти материалы в качестве катодов высокотемпературных твердооксидных топливных элементов, кислородопроницаемых мембран, химических сенсоров и катализаторов и др [1]. Перспективы практического использования вышеупомянутых материалов ставят задачи по комплексному изучению условий их получения, областей существования и границ устойчивости, кристаллической структуры и электротранспортных свойств. Многие важнейшие физико-химические свойства оксидов зависят не только от природы и соотношения катионов, образующих данный оксид, но и от содержания кислорода, которое может существенно изменяться при варьировании температуры и давления кислорода. Поэтому целью настоящей работы является исследование фазовых равновесий, кристаллической структуры, кислородной нестехиометрии и физико-химических свойств индивидуальных соединений, образующихся в системе $\frac{1}{2}Gd_2O_3$ -BaO- $\frac{1}{2}Fe_2O_3$.

Синтез образцов осуществлялся по глицерин-нитратной технологии, полученный порошок, отжигали при 1100°C с промежуточными перетирами в среде этилового спирта; общее время синтеза составило 120 часов. Фазовый состав синтезированных образцов контролировали методом рентгенофазового анализа с помощью дифрактометра Equinox-3000 в Cu K α –излучении.

Для определения областей гомогенности и кристаллической структуры твердых растворов, образующихся в системе $\frac{1}{2}Gd_2O_3$ -BaO- $\frac{1}{2}Fe_2O_3$ были синтезированы образцы общего состава $Gd_xBa_{1-x}FeO_{3-\delta}$ и $Gd_yBaFe_{1-y}O_{3-\delta}$.

Согласно данным рентгенофазового анализа установлено, что в указанной системе однофазными являются образцы при $x = 0.1$; $y = 0.15$ и 0.333 . Кристаллическая структура образцов с $x = 0.1$ и $y = 0.15$ была описана в рамках кубической элементарной ячейки (пр. гр. $Rm\bar{3}m$), а образца $y = 0.333$ – в рамках моноклинной ячейки (пр.гр. $P21/c$).

Кислородная нестехиометрия всех однофазных образцов была изучена методами высокотемпературной термогравиметрии и йодометрического титрования. Показано, что образцы с $x = 0.1$ и $y = 0.15$ начинают обмениваться кислородом с атмосферой при температуре выше 350°C .

Методом высокотемпературной дилатометрии были определены КТР всех однофазных образцов. Общая электропроводность и коэффициент термо-ЭДС были определены 4-х контактами методом на воздухе в зависимости от температуры.

1. Dokiya M. SOFC system and technology // Solid State Ionics. 2002. V. 152-153, P. 383-392.

МЕХАНИЗМ ИОННОГО И МОЛЕКУЛЯРНОГО ТРАНСПОРТА В МЕМБРАНЕ НАФИОН ПО ДАННЫМ ЯМР

Слесаренко Н.А.¹, Черняк А.В.^{1,2}, Волков В.И.^{1,2}

¹) Институт Проблем Химической Физики РАН, г. Черноголовка, Россия

²) Научный Центр в Черноголовке РАН, г. Черноголовка, Россия

E-mail: wownik007@mail.ru

THE MECHANISM OF IONIC AND MOLECULAR TRANSPORT IN THE NAFION MEMBRANE ACCORDING TO NMR DATA

Slesarenko N.A.¹, Chernyak A.V.^{1,2}, Volkov V.I.^{1,2}

¹) Institute of Problems of Chemical Physics RAS, Chernogolovka, Russia

²) Scientific Center in Chernogolovka RAS, Chernogolovka, Russia

In Nafion 117 membrane Li^+ , Na^+ , Cs^+ cations and water molecules mobility was estimated by NMR technique. Macroscopic mass transfer is controlled by molecule and ion motion near sulfonate groups. Li^+ , Na^+ are moving together with water molecules. Cs^+ is jumping between neighboring sulfonate groups.

Ионный и молекулярный транспорт в сульфокатионообменной мембране регулируется особенностями гидратации катионов и наноструктурой ионогенных каналов. Для установления механизма переноса нужно исследовать ионное взаимодействие, подвижность молекул воды и катионов в различных пространственных масштабах. В исследовании структуры и динамики сложных молекулярных систем широко применяются методы ЯМР.

С помощью ЯМР с ИГМП и методами спиновой релаксации были установлены особенности подвижности и самодиффузии воды катионов Li^+ , Na^+ , Cs^+ в мембране Нафион.

Для измерения коэффициентов самодиффузии применяли стандартную импульсную последовательность «стимулированного эхо». Погрешность измерения коэффициента самодиффузии не более 10%. Времена спин-решеточной T1 и спин-спиновой T2 ядерной релаксации были измерены с использованием 180° - τ - 90° и Карр-Парселл-Мейбум-Гилл ($90^\circ - \tau - n180^\circ$) импульсных последовательностей, соответственно.

Высокая подвижность воды и катионов Li^+ , Na^+ , Cs^+ при температуре ниже 0°C подтверждается ЯМР спектрами на ядрах ^1H и ^7Li , ^{23}Na , ^{133}Cs , которые представляют собой узкие синглетные линии.

Числа гидратации h катионов Li^+ , Na^+ , Cs^+ в мембране Нафион 117 рассчитали из температурных зависимостей химического сдвига ^1H молекул воды [1,2]. Числа гидратаций h катионов Li^+ , Na^+ , Cs^+ при относительной влажности RH=75% составили 3.3 ± 0.4 , 3.3 ± 0.4 , 0.5 ± 0.2 , соответственно.

Были измерены коэффициенты самодиффузии молекул воды и катионов Li^+ , Na^+ , Cs^+ . Температурные зависимости коэффициента самодиффузии аппроксимируются уравнением Аррениуса.

Рассчитанные по локальной подвижности коэффициенты самодиффузии воды и измеренные макроскопические коэффициенты самодиффузии воды различаются не более чем в 2 раза для ионных форм Li^+ и Na^+ . Принимая во внимание приближенный расчет самодиффузии из соотношения Эйнштейна, это хорошее согласие. Таким образом, можно сделать вывод, что макроскопическая самодиффузия катионов контролируется локальным движением молекулы воды через непрерывную сеть водородных связей, которая образуется при довольно высоком содержании воды (λ составляет 6,4 в форме Li^+ и 5,1 в форме Na^+ при RH=75%). Для ионной формы Cs^+ измеренный коэффициент самодиффузии воды на порядок меньше расчетного. При RH=75% в ионной форме Cs^+ содержание воды $\lambda=1,5$. Трех молекул воды на две сульфо группы недостаточно для образования непрерывной сети водородных связей, и эта сеть нарушается. Следовательно, быстрое локальное вращение молекулы воды (которое вызывает спиновую релаксацию) не коррелирует с трансляционным скачком, потому что частота вращения более высокая по сравнению с поступательной частотой.

Показано, что макроперенос контролируется движением молекул и ионов вблизи сульфогрупп. Катионы лития и натрия, энергия гидратации которых выше энергии водородных связей воды, движутся вместе с молекулами воды. Катион цезия, обладающий низкой гидратированной энергией, прыгает между соседними сульфогруппами.

ЯМР-измерения выполнены на оборудовании Аналитического центра коллективного пользования Института проблем химической физики РАН и ЦКП Научного центра РАН в Черногловке РАН. Работа выполнена по теме Государственного задания № 0089-2019-0010/AAAA-A19-119071190044-3

1. Volkov V.I., Chernyak A.V., Avilova I.A., Slesarenko N.A., Melnikova D.L. and Skirda V.D. Membranes 2021, 11(6), 385
2. Volkov V.I., Chernyak A.V., Gnezdilov O.I., Skirda V.D. Solid State Ionics 2021, 364, 115627.

STUDY OF PHASE COMPOSITION HOMOGENEITY IN DEPTH OF TUNGSTEN CARBIDE CERAMICS PRODUCED BY SPARK PLASMA SINTERING

Smetanina K.E.¹, Andreev P.V.¹, Lantsev E.A.¹, Vostokov M.M.¹

¹Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia
E-mail: smetanina-ksenia@mail.ru

Tungsten carbide (WC) ceramics obtained by spark plasma sintering were investigated by layer-by-layer X-ray diffraction analysis. It was found that the phase composition of WC ceramics varies with the distance from the sample surface.

Spark plasma sintering (SPS) of powders is one of the most promising technologies for obtaining high-density and fine-grained materials. SPS takes place in a graphite mold. Millisecond current pulses of high power are passed through the mold with the simultaneous pressure application [1]. It has been shown that carbon diffusion from mold parts into the sample surface layers can occur during sintering [2, 3]. It can lead to an inhomogeneous distribution of crystal phases in different sample sections.

The purpose of the work is to investigate the phase composition homogeneity in depth of samples obtained by SPS of tungsten carbide (WC) powders.

The study objects were four WC ceramics prepared from powders of different phase composition and average particle size. Nanopowder 1 was obtained by plasma-chemical synthesis in Baikov IMET RAS and contained 2.6% wt. of W (except for α -WC). Powders 2-4 were produced by JSC «KZTS». Powder 2 (0.8 μm) contained 1.7% wt. of W_2C (except for α -WC), powder 3 (3 μm) – 2.5% wt. of W_2C , powder 4 (14 μm) – 1.0% wt. of W_2C . The error of the phase composition estimation is 0.2% wt.

Each powder was sintered in a graphite mold (12 mm inner diameter) until shrinkage was complete. SPS was carried out on a Dr. Sinter model SPS-625 in vacuum. $P=70$ MPa, $V=50^\circ\text{C}/\text{min}$.

The phase composition homogeneity of the samples was investigated by layer-by-layer X-ray diffraction (XRD) analysis. The layers (up to 50 μm thick) were removed by successive mechanical grinding and polishing of the sample surface. XRD experiments were performed on a Shimadzu XRD-7000 diffractometer ($\text{CuK}\alpha$) after each layer removal. Quantitative phase analysis was carried out by the reference intensity ratio method.

The height of the cylindrical samples did not exceed 6 mm. Seven stages of surface treatment have been carried out. A total of 300-400 μm was removed from the surface of each sample.

The graphite (002) diffraction peak is present on the diffraction patterns of the untreated surface of each sample except the α -WC peaks. The graphite peak intensity is at the background level after the third stage of treatment (80-100 μm from the surface). Thus, the near-surface layer is graphite paper.

W₂C was detected in samples 1-3 at 100-150 μm from the surface and at 250 μm from the surface in sample 4. This is probably due to the fact that the carbon diffuses from the mold surface and reacts with W (in sample 1): $2W+C \rightarrow W_2C$ and W₂C (in all samples): $W_2C+C \rightarrow 2WC$.

In addition, the W₂C fraction in each sample increases with distance from the surface. It is assumed that this is caused by decarbonization of α-WC particles to W₂C because of the adsorbed oxygen presence on the α-WC particle surface [4].

Thus, the phase composition of the studied WC ceramics changes with the distance from the surface. The change consists in the W₂C absence in the surface layers and its presence at a depth of at least 100 μm from the sample surface.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research under Scientific Project №20-33-90214.

1. M. Tokita, Handbook of Advanced Ceramics (Academic Press), p. 1149-1177 (2013)
2. K.E. Smetanina, P.V. Andreev, E.A. Lantsev, M.M. Vostokov, N.V. Malekhonova, Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov 86 (8), p. 38-42 (2020)
3. B.B. Bokhonov, A.V. Ukhina, D.V. Dudina, A.G. Anisimov, V.I. Mali, I.S. Batraev, RSC Advances 5, p. 808228-808237 (2015)
4. P.V. Krasovskiy, Yu.V. Blagoveshchenskiy, K.V. Grigorovich, Neorganicheskiye materialy 44 (9), p. 1074-1079 (2008).

ПОСЛОЙНЫЙ СИНТЕЗ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ MIG-PULSE- НАПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АУСТЕНИТНОЙ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ С АЗОТОМ

Смоленцев А.С.^{1,2}, Березовский А.В.¹, Трушников Д.Н.³, Пермяков Г.Л.³

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) ЗАО «Завод сварочных материалов», г. Березовский, Россия

³) Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия

E-mail: A.S.Smolentsev@mail.ru

LAYERED SYNTHESIS OF WORKPIECES BY THE METHOD OF MIG- PULSE SURFACE WITH THE USE OF AUSTENITIC METAL-CORE WIRE WITH NITROGEN

Smolentsev A.S.^{1,2}, Berezovsky A.V.¹, Trushnikov D.N.³, Permyakov G.L.³

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Welding materials company, Berezovsky, Russia

³) Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Works were carried out on the synthesis of a workpiece using metal-cored wire with nitrogen (0,322 wt. %) using the mig-pulse-technology. It was possible to obtain a defect-free dense deposited metal with high strength and plastic characteristics.

Аддитивные технологии или Additive Manufacturing (AM-технологии) – обобщенное название технологий послойного синтеза объемных изделий по цифровой CAD-модели. AM-технологии позволяют создавать в сжатые сроки изделия практически любой степени сложности и точности без изготовления дорогостоящей оснастки [1].

Одним из методов аддитивного производства является технология проволочного дугового производства WAAM (Wire + Arc Additive Manufacture) [2]. В отличие от лазерных и электроннолучевых аддитивных технологий, WAAM обладает на порядок более высокой производительностью, невысокой стоимостью оборудования и материала построения, возможностью построения изделий с большими массогабаритными показателями без камеры с контролируемой атмосферой. Для изделий простой и средней сложности в мелкосерийном производстве экономически целесообразнее синтез изделий выполнять по технологии WAAM в сравнении с другими AM-технологиями.

Одним из недостатков WAAM технологии является использование в качестве расходного (присадочного) материала для формирования объемных изделий преимущественно сплошной сварочной проволоки, что ограничивает химический состав и свойства этих изделий. Дальнейшим путем совершенствования WAAM

технологии может использоваться в качестве электродных материалов металл-порошковых проволок $\varnothing 0,8-1,6$ мм.

Для проведения исследований производилась наплавка в режиме pulsed на установке Fronius TPS 5000 CMT с применением роботизированного комплекса Fanuc Arc Mate 100iC. В качестве электродного материала использовали опытный состав аустенитной азотсодержащей порошковой проволоки $\varnothing 1,6$ мм с системой легирования Fe-Cr-Mn-Ni-Mo-Cu-N ($N_2 = 0,322$ мас. %).

Полученный наплавленный металл плотный, без видимых дефектов в виде пор, трещин, шлаковых включений, несплавлений между слоями. В наплавленном металле сформировалась аустенитно-ферритная структура с содержанием дельта-феррита (δF) не более 10 % (рис. 1), что согласуется с результатами из других работ [3].

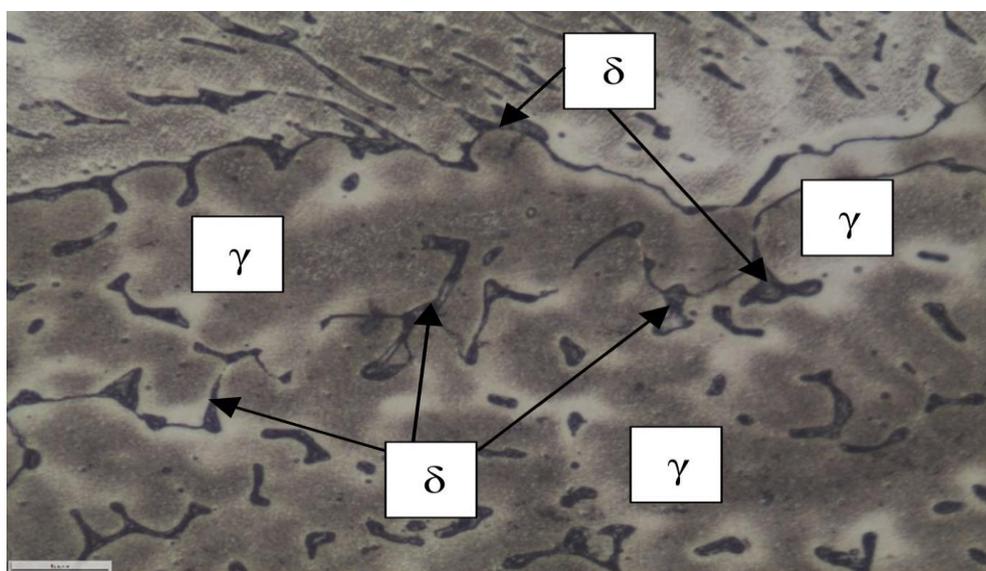


Рис. 1. Структура наплавленного металла по mig-pulse-технологии, x20

Из наплавленного металла изготавливали образцы тип II ГОСТ 6996–69 (4 шт.) на статическое растяжение с целью определения механических характеристик (σ_B , σ_T , δ , ψ) на машине Instron с max нагрузкой 5 т. Полученные результаты: $\sigma_B = 806$ МПа, $\sigma_T = 499$ МПа, $\delta = 39,6$ %, $\psi = 36,7$ %.

Для аустенитных сталей характерны невысокие показатели предела текучести, редко достигаемые 400 МПа (сталь 10X14AG15 $\sigma_T = 370$ МПа) [4]. Это ограничивает использование аустенитных сталей для тяжело нагруженных конструкций. Предел текучести нового состава в 2 с лишним раза выше по сравнению с широко используемой аустенитной сталью 08X18H10T (AISI 321, S32100, $\sigma_T = 206$ МПа) при соизмеримых показателях пластичности. Таким образом, синтезируемые изделия с использованием опытного состава по mig-pulse-технологии имеют сочетание высокой прочности с одновременно высокими показателями пластичности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № FSNM-2021-0011) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 20-48-596006 р_НОЦ_Пермский край)

1. Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения / И. В. Шишковский. – СПб. : Питер, 2016. – 400 с.
2. S. W. Williams Wire + Arc Additive Manufacturing / S. W. Williams [et. al.] // Material Science and Technology. – 2016. – Vol. 32, Iss 7. – P. 641–647.
3. Липпольд Д. Металлургия сварки и свариваемость нержавеющей сталей : пер. с англ. / Д. Липпольд, Д. Котеки ; под ред. Н. А. Соснина, А. М. Левченко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 467 с.
4. Березовская В. В. Коррозионно-стойкие стали и сплавы / В. В. Березовская, А. В. Березовский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2019. – 244 с.

НАХОЖДЕНИЕ МНОЖЕСТВА ЗАСТОЙНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ

Просвирыков Е.Ю.^{1,2}, Соколов А.С.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация

²⁾ Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук,
г. Екатеринбург, Российская Федерация
E-mail: zwaarfolk@gmail.com

FINDING A SET OF STAGNANT POINTS FOR DYNAMIC EQUILIBRIA

Prosviryakov E.Yu.^{1,2}, Sokolov A.S.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekate-
rinburg, Russian Federation

²⁾ Institute of Engineering Science, Urals Branch, Russian Academy of Sciences, Ekate-
rinburg, Russian Federation

A numerical simulation of the system of Oberbeck-Boussinesq equations has been done and a set of boundary conditions has been obtained under which a solution that describes the convective flow of a viscous incompressible vertically swirling fluid in a horizontal layer has stagnation points.

Как известно, чтобы описать вязкую несжимаемую жидкость необходимо провести интегрирование уравнений Навье–Стокса — системы дифференциальных уравнений в частных производных. Воспользуемся существующей моделью, описывающей движение вязкой жидкости в неоднородном тепловом поле — системой уравнений Обербека-Буссинеска [1-2]. Данная проблема является крайне трудоемкой, поэтому одной из важных задач, ставящийся перед исследователями, есть определение точных решений, имеющих нетривиальный физический смысл. В настоящей работе рассматривается решение системы с полем скоростей вида $V_x=U(z)-w(z)y$, $V_y=V(z)+w(z)x$, имеющим физический смысл сдвигового конвективного течения.

Другой важной проблемой в поиске общего решения является поиск граничных условий поставленной краевой задачи. Чтобы ускорить и упростить поиск необходимых краевых условий, воспользуемся численными методами. Развитие компьютерной техники позволило при изучении проблемы описания неизотермической конвекции вязкой несжимаемой жидкости в приближении Обербека-Буссинеска [3] применять методы компьютерного моделирования для анализа поведения движений нелинейных динамических систем.

Воспользовавшись методами численного моделирования было получено множество граничных условий, при которых решение поставленной задачи описывало течения, имеющие нестандартные профили с одной (или более) застойными

точками – точками, имеющими нулевое значение скорости течения, а, следовательно, имеющими зоны с обратными течениями.

1. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости., М.: Наука, 1972
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика: В 10 тт.: Т. 6: Гидродинамика. 5-е изд., М: Физматлит, 2006
3. Prosviryakov E. Y., DYNAMIC EQUILIBRIA OF A NONISOTHERMAL FLUID., Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки, 22, 735-749, 2018.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРЕДЕЛЬНОЙ КРИВОЙ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ

Соколов Р.А.¹, Новиков В.Ф.¹, Муратов К.Р.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия
E-mail: falcon.rs@mail.ru

POSSIBILITY OF IMPLEMENTING CONTROL OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL BY THE PARAMETERS OF THE LIMITING REMAGNETIZATION CURVE

Sokolov R.A.¹, Novikov V.F.¹, Muratov K.R.¹

¹) Federal State Budget Educational Institution of Higher Education « Industrial University of Tyumen», Tyumen, Russia

The paper discusses the possibility of creating a new method for controlling the mechanical properties of steels using magnetic parameters. Using the example of hardness and tensile strength of heat-treated samples of structural steels, an explanation of the effect of heat treatment on these charact.

Структура и фазовый состав стали определяют ее физические свойства. Влияние неоднородностей структуры и фазового состава (по величине, распределению и т.д.) приводит к проявлению отклонения требуемых от объекта свойств в локальной области, что существенно сказывается на его надежности и сроке эксплуатации. Одними из основных свойств материала, которые определяют период эксплуатации опасного производственного объекта и к которым предъявлены жёсткие требования являются механические свойства материала. Твердость и предел прочности согласно установленным методикам используют при экспертизе промышленных объектов. Это приводит к необходимости применения средств контроля, обеспечивающих высокую достоверность и быстроту измерения. Имеющиеся методы и средства контроля основаны на регистрации различных физических воздействий на контролируемый объект. Большинство из имеющихся методов либо обладают достаточно высокой ошибкой в определении механических свойств или требуют проведения испытаний в лабораторных условиях. Целью данной работы является разработка метода, основанного на измерении магнитных параметров и их интерпретации (преобразования) в величину механических свойств, на основе косвенной связи этих свойств друг с другом через структурно-фазовые изменения. Исследования в работе проводились на конструкционных сталях 15ХСНД, 09Г2С и Ст3 термообработанных с целью создания вариации состояния. Для изучения образцов применялось следующее оборудование: растровый электронный микроскоп - для изучения структуры термообработанных образцов; магнитный структуроскоп - для снятия магнитных

параметров; твердомер по Роквеллу - для измерения твёрдости; разрывная машина – для определения прочностных характеристик исследуемых образцов. Установлено, что между спектральными составляющими, полученными на конструкционных сталях и твердостью, а также пределом прочности наблюдаются удовлетворительные зависимости, подчиняющиеся полиному второй степени. Полученные зависимости для рассматриваемых сталей и вариации их структурных состояний имеют схожий характер и образуют единую линию, что говорит о возможности их использования для определения твердости и предела прочности. Замечено, что близкое расположение некоторых значений в общей регрессионной кривой для температур 200 и 350 °С могут быть связаны с процессами уменьшения искажений в кристаллические решетки стали, что, возможно, связано с процессами распада мартенситных зерен и началом коагуляции и сфероидизации частиц цементита, которые существенным образом сказываются на механических свойствах стали.

1. Новиков В.Ф., Нерадовский Д.Ф., Соколов Р.А. Использование квазистатических петель магнитного гистерезиса для контроля структуры стали // Вестник ПНИПУ. Сер. «Машиностроение, материаловедение». – 2016. – Т. 18, № 2. - С.38-50. – doi: 10/15593/2224-9877/2016.2.03.
2. Сандомирский, С. Г. Корреляционные зависимости между механическими свойствами и магнитным параметром стали 40Х / С. Г. Сандомирский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 3(48). – С. 43-50
3. Щербинин В.Е., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. 266 с
4. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. Наука. 1993. – 50–75 с.
5. Оценка влияния дисперсности структуры стали на магнитные и механические свойства / Р.А. Соколов, В.Ф. Новиков, К.Р. Муратов, А.Н. Венедиктов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 93–110. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-93-110.

ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЦИРКОНИЯ

Сухачев П.В.¹, Черных С.Е.², Костин В.Н.², Комоликов Ю.И.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: suo@mail.ru

THERMAL NON-DESTRUCTIVE TESTING OF ZIRCONIUM COMPOSITE COATINGS

Sukhachev P.V.¹, Chernykh S.E.², Kostin V.N.², Komolikov Yu.I.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Cylindrical samples made of zirconium with a composite coating based on yttrium, aluminum, titanium and silicon oxides were studied by thermal testing. The dependence of the radiation temperature of equally heated objects on the characteristics of these coatings was established.

Методом теплового контроля [1] были исследованы композитные покрытия на поверхности цилиндрических образцов из циркония, сформированные при термообработке в засыпках из оксидов иттрия, алюминия, титана и кремния. Целью эксперимента было исследование излучательной способности полученных покрытий в инфракрасном диапазоне длин волн методом одностороннего теплового неразрушающего контроля и определение возможности неразрушающего бесконтактного контроля функциональных свойств этих покрытий.

В проводимых исследованиях в качестве источника тепловой стимуляции использовался плоский электрический нагревательный элемент мощностью 1 кВт, температура поверхности которого находилась в диапазоне от 89 °С до 125 °С. Время теплового воздействия на образцы в каждом эксперименте составляло до 10 минут. Распределение тепловых полей на наружной поверхности образцов фиксировалось с помощью инфракрасной камеры Optris PI 640i при дистанции наблюдения 400 мм.

Применение методики активного одностороннего теплового контроля [2] позволило получить результаты, показывающие зависимость радиационной температуры одинаково нагретых объектов от характеристик композитных покрытий. Видимая разница температур между образцами обусловлена различным коэффициентом излучения у различных покрытий, которое сформировано на поверхности образцов [3].

На приведенной на рис. 1 термограмме, видна существенная разница температур образцов, полученная при температуре нагревателя 100 °С. Максимальная

разница радиационных температур образцов с различными покрытиями составила 23 °С.

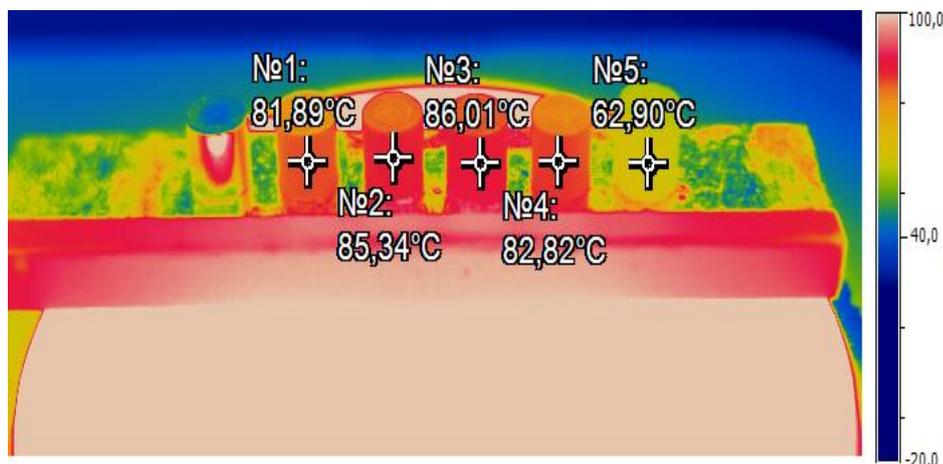


Рис. 1. Термограмма образцов

Получение и анализ термоизображений изделий с покрытиями является достаточно простой и высокопроизводительной методикой. Таким образом, тепловой контроль можно рассматривать как один из наиболее перспективных для исследования характеристик различных композитных покрытий на изделиях из циркония [4].

1. Неразрушающий контроль. Справочник. — В 7 т. — Том 5. — В 2 кн. — Кн. 1: В.П. Вавилов. — М.: Машиностроение, (2004).
2. В.П. Вавилов. Новые идеи в активном тепловом контроле [Текст] / В.П. Вавилов, А.О. Чулков, Д.А. Дерусова, Я. Пань // В мире неразрушающего контроля. — 2016. — № 1 — С. 5-7.
3. Вавилов В.П. Тепловой неразрушающий контроль материалов и изделий [Текст] / Вавилов В.П. // Дефектоскопия, 2017, № 10, с. 34-57.
4. Черных С.Е. Исследование поверхностного окисления циркония активным тепловым методом [Текст] / Черных С.Е., Костин В.Н., Комоликов Ю.И. // Дефектоскопия, 2021, № 12, с. 63—70.

СИНТЕЗ, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ ($y=0.2, 0.3, 0.4$)

Суханов К.С.¹, Гилев А.Р.¹, Киселев Е.А.¹, Черепанов В.А.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kiri.sukhan@yandex.ru

SYNTHESIS, ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ ($y=0.2, 0.3, 0.4$)

Sukhanov K.S.¹, Gilev A.R.¹, Kiselev E.A.¹, Cherepanov V.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ ($y=0.2, 0.3, 0.4$) solid solutions were synthesized via citrate-nitrate method. Total conductivity (σ) of $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ decreases with increasing y . The σ value and polarization resistance for $y=0.4$ are equal to 30 S/cm and 2.3 $\Omega \text{ cm}^2$ at 800 °C, respectively.

Твердые растворы на основе никелата лантана $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$ со структурой типа K_2NiF_4 рассматриваются как перспективные катодные материалы для твердооксидных топливных элементов [1]. Целью данной работы являлось получение сложных оксидов $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ ($y=0.2, 0.3, 0.4$), исследование их кристаллической структуры, электропроводности и электрохимических свойств.

Синтез образцов был выполнен по цитратно-нитратной технологии. Фазовый состав и кристаллическую структуру образцов исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА). Общую электропроводность измеряли четырех-контактным методом на постоянном токе в диапазоне 25-1000 °C на воздухе. Спектры импеданса для симметричных ячеек $\text{La}_{1.4}\text{Ca}_{0.6}\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{4+\delta}$ (LCNF)/ $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{2-\delta}$ (SDC) были получены двух-контактным методом в интервале частот от 300 кГц до 1 мГц с амплитудой сигнала 20 мВ в интервале температур 600-800 °C на воздухе. Полученные годографы импеданса исследованных симметричных ячеек были использованы для расчета функций распределения времен релаксации (DRT). Расчет был выполнен в MATLAB с использованием регуляризации Тихонова.

Результаты РФА показали, что образцы сложных оксидов LCNF были получены однофазными и имели тетрагональную структуру типа K_2NiF_4 (пр. гр. $I4/mmm$). Температурные зависимости общей электропроводности образцов LCNF свидетельствуют о полупроводниковом типе проводимости. Электропроводность образцов LCNF уменьшается при увеличении степени допирования железом с 60 См/см ($y=0.2$) до 30 См/см ($y=0.4$) при 800 °C. Анализ импедансных спектров симметричных ячеек, выполненный при различных температурах, методом DRT указывает на присутствие не менее 4 вкладов, которые можно

обработать эквивалентной схемой, состоящей из последовательно соединенных сопротивления электролита R_1 и четырех R_i -CPE элементов (параллельное соединенные сопротивление и элемент постоянной фазы). Анализ значений емкостей и энергий активаций, полученных в результате фитинга спектров по предложенной эквивалентной схеме, указывает на то, что наблюдаемые вклады могут быть отнесены к следующим процессам: 1) перенос заряда через межфазную границу электрод/электролит (R_2); 2) перенос заряда через межфазную границу электрод/коллектор тока (R_3); 3) перенос заряда – ионная диффузия в электродном материале (R_4); 4) поверхностный кислородный обмен на границе электрод/газовая фаза (R_5). Основной вклад в поляризационное сопротивление ячеек во всем исследуемом интервале температур вносит процесс переноса заряда – ионной диффузии в электродном материале. Поляризационное сопротивление уменьшалось с увеличением содержания железа и составило $2.3 \text{ } \Omega \text{ см}^2$ при $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ для $y=0.4$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение №075-15-2019-1924).

1. Sun, C., Hui, R. & Roller, J. Cathode materials for solid oxide fuel cells: a review. J Solid State Electrochem 14, 1125–1144 (2010).

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ОКСИДА ТИТАНА Ti_3O_5

Дорошева И.Б.^{1,2,3}, Сушникова А.А.^{1,2,3}, Валеева А.А.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

³⁾ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: sushnikova.ann@gmail.com

INFLUENCE OF THE HIGH MECHANICAL LOADING ON THE CRYSTAL STRUCTURE OF TITANIUM OXIDE Ti_3O_5

Dorosheva I.B.^{1,2,3}, Sushnikova A.A.^{1,2,3}, Valeeva A.A.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia

³⁾ Institute of Metallurgy, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia

The titanium oxide (Ti_3O_5) nanocrystals were produced with high-energy milling for 15-480 minutes from polycrystals. Analysis of XRD spectra shows that increasing milling time lead to decreasing of the coherent scattering regions from 30 μm to 26 nm and increasing of microstrains in nanopowder.

Диоксид титана (TiO_2) является одним из широко используемых соединений среди простых оксидов в разных областях. Соединение используется в белых пигментах лакокрасочных материалов, косметических средствах, лекарствах, конденсаторах, устройствах памяти и фотокатализаторах [1, 2, 3]. Менее распространенный, но обладающий привлекательными функциональными свойствами для применения в датчиках, электродах и лазерных устройствах [4, 5], включающий в себя ионы Ti^{3+} является Ti_3O_5 . Однако, существуют определенные сложности в получении наночастиц этого вещества. В данной работе описан метод получения наночастиц Ti_3O_5 с разным размером частиц при варьировании продолжительности высокоэнергетического размола и проведен анализ влияния высокой механической нагрузки на кристаллическую структуру оксида титана Ti_3O_5 .

Исходные микрокристаллы оксида титана Ti_3O_5 со средним размером ~ 30 мкм были синтезированы с помощью твердофазного спекания из смеси порошков Ti и TiO_2 в вакууме 10^{-3} Па при 1770 К. Наночастицы Ti_3O_5 с разным размером частиц получены с помощью высокоэнергетического размола микрокристаллов в планетарной шаровой мельнице Retsch PM 200. Для минимизации загрязнения образцов во время размола в качестве материала размольных стаканов и измельчающих шаров был выбран ZrO_2 , стабилизированный Y_2O_3 . Для эффективного получения наименьшего размера наночастиц выбрано оптимальное массовое соотношение измельчающих шаров и порошка Ti_3O_5 (10 : 1). В качестве размольной жидкости использован изопропиловый спирт; скорость вращения опорного диска

составляла 500 об/мин при продолжительности размолта 15, 30, 60, 120, 240 и 480 мин.

Рентгенофазовый анализ исходных микро- и полученных нанокристаллов Ti_3O_5 выполнялись в $CuK_{\alpha 1,2}$ излучении на автодифрактометре Shimadzu XRD-7000. Рентгеновские спектры снимались в режиме пошагового сканирования с $\Delta(2\theta) = 0.02^\circ$ в интервале углов 2θ от 10° до 140° с высокой статистикой. Диаметр нанокристаллов D (размер областей когерентного рассеяния) определяли по уширению дифракционных отражений с помощью метода Вильямсона-Холла.

Анализ рентгеновских спектров показывает, что размол приводит к уширению отражений за счет уменьшения ОКР и внесению микродеформаций в систему. Интенсивность отражений всех образцов снижается с увеличением продолжительности размолта до 240 мин, однако вновь увеличивается при продолжительности размолта 480 мин (Рис. 1).

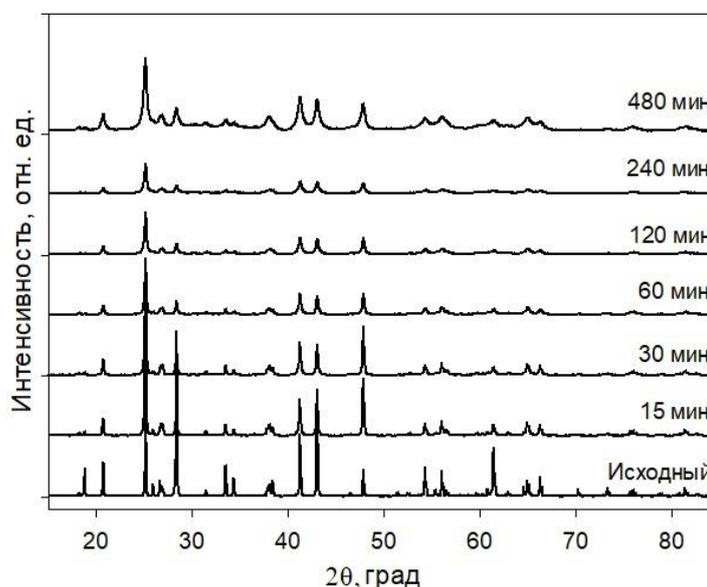


Рис. 1. Рентгеновские спектры исходного и подвергнутого размолу порошков оксида титана в течение 15-480 минут

Это говорит об образовании нанофазы и увеличении ее объемного количества, однако, при достаточно продолжительном размолте (480 мин) происходит агломерация наночастиц и увеличение их размера. Выполненные расчеты показывают уменьшение ОКР от 65 до 26 нм с увеличением времени размолта от 15 до 480 минут, при этом увеличивается объемная доля нанофазы порошка оксида титана Ti_3O_5 до 81%, а также происходит увеличение величины микродеформаций в порошке.

Работа выполнена по Государственному заданию ИХТТ УрО РАН (№ 0397-2019-0001).

1. Valeeva, A.A., Dorosheva, I.B., et. al., *Journal of Alloys and Compounds*, 796, 293-299 (2019)
2. Vokhmintsev, A.S., Weinstein, I.A., et. al., *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 78(9), 932-935 (2014)
3. Tanaka, K., Nasu, T., et. al., *Crystal Growth and Design*, 15 (2), 653-657 (2015)
4. Yoshimatsu, K., Sakata, O., et. al., *Scientific Reports*, 7 (1), 12544 (2017)
5. Yang, S., Zhang, L., et. al., *Journal of Alloys and Compounds*, 853, 157360, (2021)

ПОЛУЧЕНИЕ СО-СОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО SiO₂

Светлакова К.И.¹, Медянкина И.С.², Пасечник Л.А.²

¹) ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) ФГБУН Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: lysira90@mail.ru

OBTAINING Co-CONTAINING COMPOSITES BASED ON AMORPHOUS SiO₂

Svetlakova K.I.¹, Mediankina I.S.², Pasechnik L.A.²

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

²) Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Successful methods for synthesizing of hydrated cobalt silicate, mechanochemical and hydrothermal, are reported. The advantage of the proposed solutions is the preservation of the developed surface of the obtained samples, characterized by XPA, SEM, and elemental composition.

Силикаты, благодаря своей распространенности и невысокой стоимости, характеризуются масштабным применением. В частности, силикат кобальта используется для создания анодных слоев литий-ионных аккумуляторов, является компонентом магнитных материалов, конденсаторов, термо- и светоустойчивым пигментом керамики. Имеются сведения об их активности в реакциях фоторазложения загрязняющих веществ в воде [1]. При этом высокая устойчивость и активность достигается путем высокотемпературного отжига (1300°C) [2] и использованием дорогостоящих кремний-органических соединений [1].

Интересным подходом является сольвотермальный синтез из кобальтсодержащего раствора, в котором диспергирован кремнегель или аморфный кремнезем [3]. Другим низкотемпературным методом получения материалов с высокой удельной поверхностью является механохимический синтез путем помола исходных оксидов [4]. В ряде случаев отсутствует необходимость синтеза стехиометрического соединения, но необходимо знать количество компонента, определяющего требуемые свойства. Поэтому в работе были получены композиционные материалы на основе аморфного SiO₂ с переменным соотношением Si:Co от 1:1 до 1:100.

Аморфный SiO₂ получали гидролизом раствора (NH₄)₂SiF₆, который благодаря высокой растворимости и низкой T_{субл.}, является формой извлечения кремния из природного и техногенного сырья [5]. Прокалкой (250°C) оксалата кобальта получен слабо закристаллизованный Co₃O₄. Эти вещества использованы

для создания композитов механической смеси. Для гидротермального синтеза золь SiO_2 соединяли с раствором $\text{Co}(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и выдерживали при 100°C в автоклаве 12 ч.

Аморфный SiO_2 остался основой всех продуктов (рис. 1), что проявляется присутствием гало в области углов 2θ при $20\text{--}30^\circ$. Образец при $\text{Si}:\text{Co} = 1:1$ (рис. 1г) показывает плохую кристалличность, но рентгенограмма может быть проиндексирована как $\text{Co}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$, что подтверждает образование силиката при низкой температуре. Рентгенограммы механических смесей представляют собой сумму рефлексов исходных оксидов.

Значения удельной площади поверхности продуктов с соотношением $\text{Si}:\text{Co} = 1:1$ механосинтеза $S_{\text{уд}} = 116 \text{ м}^2/\text{г}$ и автоклавного $S_{\text{уд}} = 79 \text{ м}^2/\text{г}$ оказались в 1,4 и 2,1 раза меньше, чем исходного SiO_2 $166 \text{ м}^2/\text{г}$. Таким образом, образование связей между оксидом кобальта и SiO_2 приводит к уменьшению количества поверхностных активных центров, но способствует формированию качественно отличных функциональных свойств новых фаз.

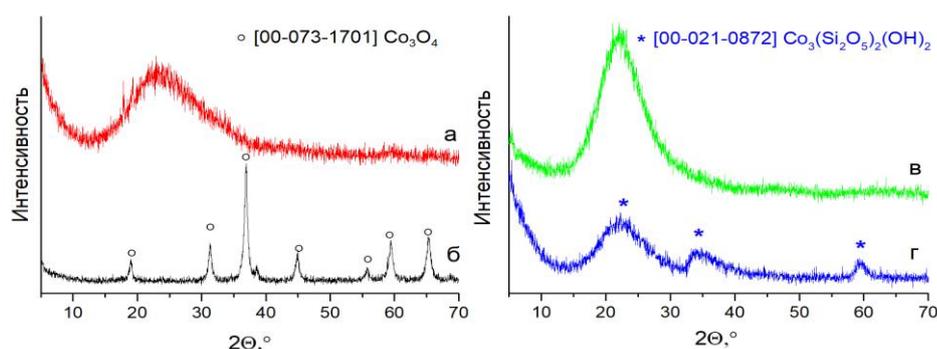


Рис. 1. Рентгенограммы аморфного SiO_2 (а), Co_3O_4 (б) и продуктов гидротермального синтеза при мольных соотношениях $\text{Si}:\text{Co}$ равных 1:100 (в) и 1:1 (г).

Полученные материалы будут исследованы при очистке воды от трудно окисляемых органических загрязнителей на примере гидрохинона, как за счет сорбции, так и фотокаталитического окисления.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Института химии твердого тела УрО РАН.

1. Bayat S., Ghanbari D., Salavati-Niasari M., J. Mol. Liq., 220, 223-231 (2016)
2. Yatabe J., Sugizaki T., Ikawa T., Kageyama T., J. Ceram. Soc. Jpn., 105, 188–191, (1979)
3. Lan D., Gao Z.G., Zhao Z.H., Wu G.L., Kou K.C., Wu H.J., Chem Eng J, 408, 127313, (2021)
4. Nguyen P. Q. H., Zhang D., Rapp R., Bradley J. P. and Dera P. RSC Adv., 11, 20687–20690, (2021)
5. Medyankina, I. S. and Pasechnik L. A., AIP Conference Proceedings, 7, 050020, (2020)

МОРФОЛОГИЯ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Li-In СПЛАВА КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА АНОДА В ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛИТИЕВЫХ БАТАРЕЯХ

Ильина Е. А.¹, Лялин Е. Д.^{1,2}, Таланкин И. И.^{1,2}, Филиппов Е. А.^{1,2}, Панкратов А. А.¹

¹) Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: ilua0821@gmail.com

MORPHOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES OF Li-In ALLOY AS A PROMISING ANODE MATERIAL IN FULLY SOLID-STATE LITHIUM BATTERIES

Il'ina E. A.¹, Lyalin E. D.^{1,2}, Talankin I. I.^{1,2}, Fillippov E. A.^{1,2}, Pankratov A. A.¹

¹) Institute of High-Temperature Electrochemistry of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

In this work, the phase composition and morphology of Li-In alloys have been studied. The distribution map of the Young's modulus over the surface of an alloy with 18 at % lithium was obtained using the AFM method. The distribution map of indium in alloys containing 10 at% and 18 at% lithium was obt.

Полностью твердотельные литиевые батареи, использующие твердые электролиты, считаются новым поколением устройств для хранения энергии. Последние достижения в этом виде перезаряжаемых батарей приблизили их к коммерческой реальности. Однако ряд проблем препятствует их широкому распространению. Одной из главных проблем является высокое сопротивление интерфейса электрод-электролит, которое ухудшает токовые характеристики источника питания и снижает скорость зарядки.

Одним из возможных решений данной проблемы является использование в качестве анода литиевых сплавов, например Li-In сплава, который имеет ряд преимуществ [1]

В данной работе с помощью гибридной методики атомно-силового микроскопа произведено исследование микромеханических свойств Li-In сплава с 18 ат% лития. Результаты показывают наличие двух чётко разделённых фаз с различными значениями модуля Юнга. Согласно фазовой диаграмме системы Li-In [2], сплавы с содержанием менее 46 ат% лития при комнатной температуре состоят из α и β фаз, при этом для сплава с 18 ат% лития преобладающей является α фаза, что и наблюдается на полученных изображениях. Измерения показали, что α фаза характеризуется модулем упругости 3,5-4 ГПа, а β фаза - 3-3,2 ГПа,

что меньше модуля упругости как чистого лития (около 5 ГПа), так и чистого индия (около 11 ГПа) [3]. Таким образом, структура представляет собой домены β фазы внутри преобладающей α фазы.

Исследование с помощью рентгеноспектрального микроанализа показали, что индий распределён равномерно в сплавах с различным содержанием лития, что говорит об отсутствии расслоений в сплаве и образовании гомогенного сплава без примесей.

1. Gu X., Dong J., Lai C. // Engineering Reports. – (2020). – V. e112339. – P.1
2. Alexander WA, Calvert LD, Gamble RH, Schinzel K (1976) The lithium-indium system. Can J Chem 54:1052–1060.
3. Cardarelli F. (2018) Materials handbook, Springer, 2254 p.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗОЛОТОХЛОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Теплякова Т.О.¹, Конопацкий А.С.¹

¹) Национальный Исследовательский Технологический Университет "МИСиС",
г. Москва, Россия
E-mail: teplyakova.to@mail.ru

FORMATION OF GOLD NANOPARTICLES BY CHEMICAL REDUCTION HAuCl₄ IN WATER

Teplyakova T.O.¹, Konopatsky A.S.¹

¹) National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

Gold nanoparticles were formed in water by chemical reduction HAuCl₄. Sodium borohydride has been used as a reducing agent. Sodium borohydride in synthesis media was varied. The average size of gold nanoparticles at 0,25 ml water solution sodium borohydride (1.5mg/1ml) is 3 nm.

Наночастицы золота (AuNPs) привлекают особое внимание благодаря своим уникальным свойствам и широкой области применения [1]. Одно из перспективных направлений - применение наночастиц для модификации медицинских материалов, с целью создания поверхности, проявляющей антибактериальные свойства. AuNPs способны разрушать антибактериальные клетки, не выделяя при этом в организм вредных веществ [2]. Исходя из этого, актуальной задачей становится поиск метода формирования AuNPs, который обеспечит формирование наночастиц малого размера и будет сравнительно прост в своем применении.

В качестве способа формирования наночастиц золота было выбрано химическое восстановление золотохлористоводородной кислоты (HAuCl₄) с использованием в качестве восстановителя борогидрида натрия (NaBH₄). Был произведен подбор оптимальных параметров синтеза, путем изменения количества NaBH₄ в среде. В 32 мл H₂O добавляли 1,5 мг HAuCl₄ и 0,1; 0,25; 0,5 и 1 мл водного раствора NaBH₄ с исходной концентрацией 1.5mg/1ml соответственно. Синтез в каждой из сред был проведен при постоянном перемешивании в течение 20 минут при комнатной температуре.

Исследование размера и состояния сформированных наночастиц золота при различных условиях синтеза было проведено спектрофотометрическим методом. В качестве раствора сравнения была использована дистиллированная вода. По мере увеличения количества борогидрида натрия, добавленного в среду, менялся цвет раствора от светло-оранжевого до темно-фиолетового. Спектры, полученные для каждой среды синтеза представлены на рисунке 1а.

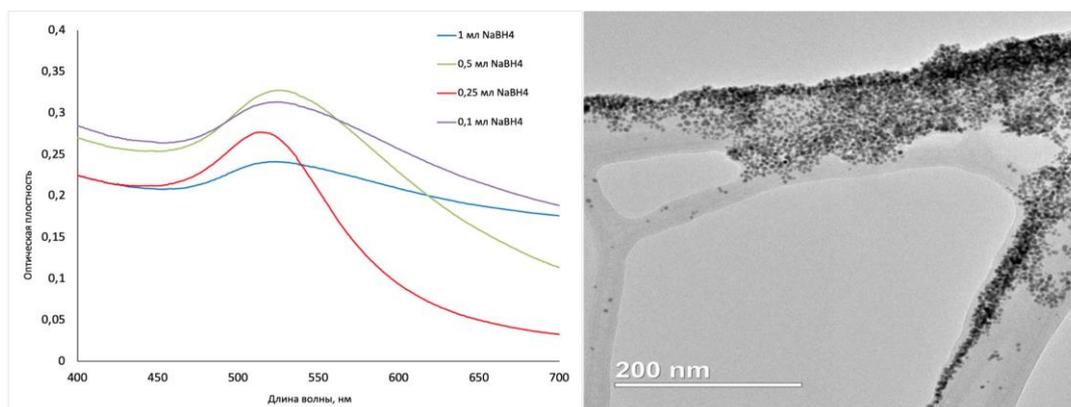


Рис. 1. а) результаты спектрофотометрического анализа; б) ПЭМ-изображение наночастиц золота, сформированных при добавлении 0,25 мл NaBH₄ (1.5мг/1мл)

Данные результаты позволили установить, что при добавлении в среду синтеза 1 и 0,5 мл NaBH₄ (1.5мг/1мл) спектры поглощения характеризуются широкими пиками на длине волны 530 и 528 нм соответственно, что говорит о достаточно крупном размере частиц, вероятно, находящихся в агломерированном состоянии. При добавлении в среду синтеза 0,1 мл NaBH₄ (1.5мг/1мл) цвет раствора близок к бесцветному, а спектр поглощения имеет слабо выраженный пик при длине волны 522 нм. Добавление в среду 0,25 мл водного раствора борогидрида натрия (1.5мг/1мл) позволило добиться оптимальной дисперсности частиц. Цвет раствора - ярко малиновый, наблюдается достаточно узкий и хорошо выраженный пик на длине волны 517 нм, что соответствует мелкодисперсным наночастицам золота с размером до 6 нм, не образующим агломераты. При помощи просвечивающей электронной микроскопии был установлен средний размер наночастиц золота, сформированный при оптимальном режиме синтеза (рисунок 1б). Средний размер частиц составил 3 нм.

В результате работы были установлены оптимальные параметры синтеза наночастиц золота, которые могут быть использованы в качестве способа модификации поверхности материалов, с целью придания им антибактериальных свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (код проекта 0718-2020-0030).

1. Hammami I. et al. Gold nanoparticles: synthesis properties and applications //Journal of King Saud University-Science. – 2021. – С. 101560.
2. Nakamada M., Taniguchi S., Mabuchi M. Antibacterial activity of nanoporous gold against Escherichia coli and Staphylococcus epidermidis //Journal of Materials Research. – 2017. – Т. 32. – №. 9. – С. 1787-1795.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ
ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
КРИСТАЛЛОГИДРАТА $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$**

Тестов Д.С.¹, Моржухина С.В.¹, Моржухин А.М.¹, Попова Е.С.¹

¹) Государственный университет Дубна, г. Дубна, Россия
E-mail: dima13-1994@yandex.ru

**SYNTHESIS AND RESEARCH PHASE CHANGE MATERIALS BASED
ON A HYDRATE SALT $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ COMPOSITE**

Testov D.S.¹, Morzhukhina S.V.¹, Morzhukhin A.M.¹, Popova E.S.¹

¹) Dubna State University, Dubna, Russia

This work is devoted to the synthesis of heat storage materials based on zinc nitrate hexahydrate, the study of their thermophysical characteristics and the study of thermal stability in the cyclic heating/cooling mode.

Использование гексагидрата нитрата цинка в качестве теплоаккумулирующего материала (ТАМ) в устройствах подогрева полов и салонов автомобилей является наиболее подходящим выбором благодаря оптимальному температурному диапазону фазового перехода 25-40 °С и конгруэнтному типу плавления, благодаря чему не требуется введения дополнительных добавок для предотвращения фазовой сегрегации. Хотя споры о потенциале его использования ведутся исследователями, имеющими противоположные точки зрения [1,2], тем не менее, имеются подтверждения его эффективной работы в качестве ТАМ [2,3]. Однако его характеристики в чистом виде достаточно низкие и в данной работе предлагаются составы, улучшающие теплофизические свойства. В работе представлены результаты исследования ТАМ на основе $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ с добавками $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, карбоксиметилцеллюлозы, графита (G), ZnO и поливинилового спирта в разных пропорциях и определены температура кристаллизации, время аккумуляции, переохлаждение составов в циклическом режиме нагрева/охлаждения 9 циклов методом температурной истории (ТИ). Состав 2 имел нулевое переохлаждение, стабилизировавшись после 5 цикла, самое большое время аккумуляции показал состав 1 (от 78 минут), а наиболее стабильная температура кристаллизации оказалась у состава 3 (30.1 °С). С учетом температурного гистерезиса, диапазон начала и окончания фазовых переходов 2 рода вначале и в конце каждого цикла нагрева/охлаждения не превышает 10°. Также определены теплофизические параметры, такие как теплоемкость, энтальпия плавления, плотность твердой и жидкой фаз, вязкость, плотность аккумуляирования тепла. Энтальпия и теплоемкость жидкой фазы описана уравнениями на основании экспериментальных данных от 50 до 80 °С с возможностью экстраполяции до 100 °С.

Данные исследования выполнены при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (FASIE)

1. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications / Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13. – P. 318-345.
2. Exploring additives for improving the reliability of zinc nitrate hexahydrate as a phase change material (PCM) / Kumar N., Banerjee D., Chaves R. Jr. // Journal of Energy Storage. – 2018. – Vol. 20. – P. 153-162. doi.org/10.1016/j.est.2018.09.005
3. Теплоаккумулирующий состав на основе кристаллогидрата нитрата цинка / Данилин В.Н., Долесов А.Г., Петренко Р.А. – №983134; заявл. 21.05.81; опубл. 23.12.82. Бюл. № 10 – 2 с.

КОРРОЗИОННЫЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ТИПА NM20 В СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ НА ОСНОВЕ FLINAK

Трошина П.А.¹, Абрамов А.В.¹, Трубоченинова А.И.¹, Алимгулов Р.Р.¹, Половов И.Б.¹, Гибадуллина А.Ф.¹, Жиляков А.Ю.¹, Хотинов В.А.¹,

Беликов С.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: p_troshina@bk.ru

CORROSION, MECHANICAL AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF NM20 TYPE ALLOYS IN MOLTEN SALTS BASED ON FLINAK

Troshina P.A.¹, Abramov A.V.¹, Trubcheninova A.I.¹, Alimgulov R.R.¹, Polovov I.B.¹, Gibadullina A.F.¹, Zhilyakov A.Yu.¹, Khotinov V.A.¹, Belikov S.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The mechanical, thermophysical and high-temperature corrosion properties of NM20-type alloys were investigated. The corrosion tests were performed at 650 °C in FLiNaK-based melts. The tendency to intergranular corrosion was also estimated using metallographic analysis.

В настоящей работе исследованы теплофизические и механические свойства никель-молибденовых сплавов типа NM20 (Ni-20Mo), а также изучено коррозионное поведение образцов данных материалов в солевой системе FLiNaK, содержащей имитаторы ДМ и ПД.

Теплофизические и механические характеристики, определенные при комнатной температуре, характерны для сплавов данного класса в однофазном аустенитном состоянии. На температурной зависимости теплоемкости в диапазоне 650 – 850 °C отмечено наличие характерных перегибов, связанных с изменением структуры материала.

Эксперименты по оценке коррозионной стойкости материалов в расплавах солей на основе FLiNaK проводили в стальной ячейке, куда помещали стеклоглафитовый тигель с солью и образцами. Расплав в ячейке находился под атмосферой аргона высокой чистоты. Выдержку образцов осуществляли при температуре 650 °C в течение 100 часов.

При длительных высокотемпературных выдержках в среде солевого электролита сплавы на никелевой основе могут быть подвержены межкристаллитным коррозионным атакам (МКК), что связано с образованием избыточных фаз по границам зёрен. В качестве критерия степени межкристаллитных разрушений был выбран параметр, учитывающий количество и среднюю глубину межкристаллитных трещин на 1 см поверхности (к-параметр, шт × мкм/см).

Установленные величины скоростей коррозии исследуемых сплавов имеют значения не более 30 мкм/год. Образцы сплавов типа НМ20 подвержены сплошной неравномерной коррозии с невыраженным развитием межкристаллитных разрушений. Глубина проникновения сплошной коррозии не превышает 35 мкм, в то время как глубина межкристаллитных поражений составляет менее 90 мкм. Определенные значения k -параметра для сплавов типа НМ20 находятся в пределах менее 670 шт×мкм/см. Установленные показатели коррозионных процессов удовлетворительны, вследствие чего сплавы данного типа можно отнести к коррозионностойким во фторидных системах при температурах 650 °С.

1. Ignatiev V., Surenkov A. Alloys compatibility in molten salt fluorides: Kurchatov Institute related experience // Journal of Nuclear Materials. – 2013. – Vol. 441.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА А7, УПРОЧНЁННОГО ВОЛОКНАМИ БАЗАЛЬТА

Валихов В.Д.¹, Хрусталёв А.П.¹, Мирошкина В.Д.¹

¹) Национальный исследовательский Томский государственный университет, г.
Томск, Россия
E-mail: valihov.snobls@gmail.com

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY A7, REINFORCED BASALT FIBER

Valikhov V.D.¹, Khrustalyov A.P.¹, Miroshkina V.D.¹

¹) National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Influence of basalt fibers on the structure and physical and mechanical properties of aluminum alloy A7 was studied in this investigation. It was found that the introduction of basalt fibers leads to an increase in strength properties and a change in the microstructure.

Алюминиевый сплав А7 используется в множестве областей промышленности: пищевой и автомобильной промышленности, а также в качестве листового проката и проволоки. Множество сфер использования алюминиевого сплава А7 объясняется его высокими физико-механическими свойствами: малая плотность и высокая пластичность, по сравнению с другими техническими сплавами. Создание композиционных материалов на основе технического алюминия позволит повысить его прочностные свойства, что позволит расширить области применения данного сплава, в частности, использование данного сплава в качестве материала для создания проводов [1, 2].

В данном исследовании в качестве матричного материала использовался алюминий технической чистоты марки А7 (Al – 99.7, Fe – 0.16, Si – 0.15, Zn – 0.04, Mn – 0.03, Ga – 0.03, Mg – 0.02, Ti – 0.01, Cu – 0.01). Базальтовые волокна, со средней длиной 57 ± 5 мкм и диаметром 4 мкм. Базальт вводился в расплав технического алюминия при температуре 720°C с одновременным механическим перемешиванием. Введение базальта происходило непосредственно в зону активного перемешивания. Базальтовые волокна были предварительно нагреты до 200°C в алюминиевой капсуле. После введения расплав алюминия перемешивался в течение 30 секунд для достижения равномерного распределения волокон в объёме расплава. Разливка расплава осуществлялась в стальной кокиль цилиндрической формы. Содержание базальтовых волокон в сплаве составило 5 мас.%. Исходный алюминиевый сплав А7 был отлит при аналогичных условиях.

Результаты измерения твёрдости и микротвёрдости показали, что введение базальтовых волокон повышает твёрдость на 24%.

Работа проводилась с применением оборудования Томского регионального центра коллективного пользования и при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № FSWM-2020-0028

1. Tolaminejad B., Dehghani K. Microstructural characterization and mechanical properties of nanostructured AA1070 aluminum after equal channel angular extrusion //Materials & Design. – 2012. – Т. 34. – С. 285-292.
2. Yilmaz N. F., Öztürk M. Improvement of mechanical properties of AA1070 aluminium by the addition of borax under different holding conditions //Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. – 2012. – Т. 43. – №. 12. – С. 1006-1018.

МЕТОД СИНТЕЗА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО КАРБИДА ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В СОЛЕВОМ РАСПЛАВЕ

Вараксин А.В.^{1,2}, Петрова С.А.^{1,2}, Ремпель А.А.^{1,2}

¹⁾ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: vorax@yandex.ru

SYNTHESIS METHOD OF HIGH ENTROPY TRANSITION METAL CARBIDE IN SALT MELT

Varaksin A.V.^{1,2}, Petrova S.A.^{1,2}, Rempel A.A.^{1,2}

¹⁾ Institute of Metallurgy of UB RAS, Ekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this paper, the possibility of synthesis of high-entropy carbide $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}$ in the salt melt is shown. The method is based on the phenomenon of no-current transfer of metal ions to carbide of another metal through the salt melt.

В работе показана возможность синтеза высокоэнтروпийного карбида $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}$ в расплаве солей. Способ основан на явлении бесточкового переноса атомов одного металла на карбид другого металла в ионном расплаве.

В ряду равновесных электродных потенциалов металлов, входящих в состав многокомпонентного карбида Ti, Zr, Hf, Nb и Ta относительно хлорного электрода сравнения при 1000 К в расплаве хлорида калия [1] ниобий является самым электроположительным металлом, гафний – самым электроотрицательным. При этом титан занимает промежуточное положение. Исходя из этого представляется возможным создать условия, при которых на более электроположительном металле либо его карбиде можно получить диффузионное покрытие, состоящее из другого металла либо его карбида [2], так как карбиды этих переходных металлов обладают областью гомогенности [3].

При наличии карбида титана в ионном расплаве, содержащем металлический тантал, ниобий и соль одного из этих металлов, происходит массоперенос тантала и ниобия как более электроотрицательных металлов на более электроположительный карбид титана с формированием диффузионного покрытия на поверхности в виде тройного карбида $(\text{Ti},\text{Nb},\text{Ta})\text{C}_y$. Тройной карбид, полученный таким образом, помещается в солевой расплав для проведения реакции со следующими металлами в ряду электродных потенциалов – цирконием и гафнием. После описанного последовательного синтеза и последующего высокотемпературного вакуумного спекания получившийся карбид идентифицирован методом рентгенофазового анализа как твёрдый раствор $(\text{Ti},\text{Zr},\text{Hf},\text{Nb},\text{Ta})\text{C}_y$, рентгенограмма которого хорошо согласуется с расчётной для $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}$.

Работа поддержана госзадаaniem ИМЕТ УрО РАН.

1. Смирнов М. В. Электродные потенциалы в расплавленных хлоридах / М. В. Смирнов. — М.: Наука, 1973. — 248 с.
2. Илющенко Н.Г., Анфиногенов А.И., Шуров Н.И. Взаимодействие металлов в ионных расплавах / Н.Г.Илющенко, А.И.Анфиногенов, Н.И.Шуров — М.: Наука, 1991. —176 с.
3. Ремпель, А. А. Нестехиометрия в твердом теле / А. И. Гусев, А. А. Ремпель — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 640 с.

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКА WC НА АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ АМГ6

Васильева М.П.¹, Крылова Т.А.¹

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия
E-mail: mpv97@ispms.ru

STRUCTURE AND MICROHARDNESS OF COATINGS FABRICATED BY NON-VACUUM ELECTRON BEAM SURFACING OF WC POWDER ON ALUMINUM ALLOY AMg6

Vasilyeva M.P.¹, Krylova T.A.¹

¹ Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia

The aim of work: to determine the structure and microhardness of WC coatings fabricated by method of non-vacuum electron-beam surfacing onto the AMg6 matrix. The results of measuring the microhardness of coatings showed that its increase occurs by 19-23% compared to the AMg6 matrix.

В настоящее время алюминиево-магниевые сплавы имеют интерес для различных областей машиностроения за счет возможности облегчения конструкций. Однако высокая пластичность влияет на твердость и прочность материала, что ограничивает применение. Поэтому поверхностное упрочнение сплавов системы Al-Mg способствует созданию материалов с улучшенной совокупностью физико-механических свойств.

Анализ литературы показал, что основным способом упрочнения алюминиевых сплавов является лазерное легирование (чаще всего оплавление). В работах [1,2] показано увеличение микротвердости. Тем не менее, присутствует ограничение в выборе материалов для наплавки. Например, из-за разности коэффициентов теплового расширения наплавляемого материала и основы получение качественных покрытий не всегда возможно.

В то же время есть метод вневакуумной электронной-лучевой наплавки, который позволяет создавать покрытия с необходимой структурой и повышенными свойствами [3]. Наплавка покрытий производится на электронном ускорителе ЭЛВ-6, расположенном в Институте ядерной физики им. Будкера СО РАН. Однако этот метод относится к малоизученным.

Для исследования были получены покрытия методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошка WC на алюминиевом сплаве АМГ6. Толщина покрытий составляла 5-5,5 мм. Помимо WC в наплавочной смеси присутствовал защитный флюс из LiF и CaF, который, как известно, оказывает положительное влияние на качество покрытий [4].

В настоящей работе проведены структурные исследования и анализ микротвердости покрытий. Результаты измерения микротвердости покрытий показали, что средние значения микротвердости покрытий превосходят средние значения основы АМгб на 19-23%, предположительно благодаря фазе WC и сложным соединениям Al и W.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0012.

Авторы выражают благодарность Голковскому Михаилу Гедалиевичу (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН) за оказанную помощь в проведении электронно-лучевой наплавки.

1. Тарасова, Т. В. Исследование процессов лазерного легирования поверхности алюминиевых сплавов / Т. В. Тарасова, Г. О. Гвоздева // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 3. – С. 48.
2. Локальное легирование алюминиевых сплавов с применением лазерного воздействия / С. П. Мурзин, В. И. Трегуб, Н. В. Трегуб, А. М. Никифоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 6. – С. 120-124.
3. Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Перовская М.В. Структура и свойства хромсодержащих покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере // МиТОМ. – 2009. – №3. – С. 15–22.
4. T.A. Krylova, Yu.A. Chumakov, M.P. Vasilyeva, Microstructure and properties of WC-Ni3Al composite coatings fabricated by non-vacuum electron beam cladding, Materials Letters, Volume 308, Part A, 2022, 131117, ISSN 0167-577X, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.131117>.

SYNTHESIS, STRUCTURE AND CONDUCTIVITY OF SOLID SOLUTIONS BASED ON $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$ DOPED WITH CaO

Verinkina E.M¹, Egorova A.V.^{1,2}, Belova K.G.^{1,2}, Animitsa I.E.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of High Electrochemistry, Yekaterinburg, Russia

E-mail: evgeniaverinkina@yandex.ru

This paper devoted to the synthesis and investigation of physico-chemical properties of solid solutions based on new perovskite $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$. The solid state synthesis of calcium-doped samples were realized. Structure, phase composition and conductivity of samples were investigated.

The main task of modern inorganic materials science is search of new functional compounds for their practical applied, in particular as material in electrochemical devices. In this direction perovskite LaAlO_3 is one of the most known compounds. The lanthanum aluminate has such advantages as low cost of the initial materials, higher thermodynamic stability due to the strength of Al–O bonds, and wider T–p(O_2) regions of ionic conductivity [1]. Aluminate systems are therefore of interest when modifying perovskite structure and obtaining new phases based on it.

It was known, that LaAlO_3 is a dielectric. However, its electrical properties can be optimized by doping, as was shown in [2] with partial substitution of lanthanum for calcium.

Previously, we obtained an individual phase based on lanthanum aluminate, $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$ [3]. This phase has the advantages of pure LaAlO_3 , but also surpasses it in terms of conductivity. Therefore, the $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$ phase was chosen as a model system in this work. Calcium was chosen as the dopant on lanthanum position, due to their lower basicity and, consequently, lowest reactivity among alkaline earth metals. Here, we report crystal structure and conductivity for newly first-synthesized compounds.

The samples $(\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x)_2\text{AlZnO}_{5.5-x}$ ($x=0, 0.07, 0.1$) were synthesized using the solid-state reaction method. The stoichiometric ratio of La_2O_3 , Al_2O_3 , ZnO and CaCO_3 were weighed and ball-milled with ethanol. Synthesis was carried out with stepwise temperature increase to 100 ° increments in the range of 700–1400 °C

The crystal structures of samples were determined through Rietveld refinement. The calcium-containing solid solutions $(\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x)_2\text{AlZnO}_{5.5-x}$ ($x=0.07, 0.1$) are characterized by cubic structure with space group $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$, similar to the pure matrix $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$.

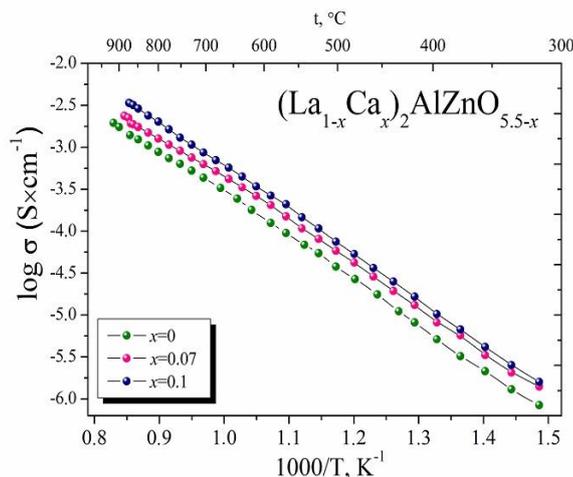


Fig. 1. The conductivity of $(\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x)_2\text{AlZnO}_{5.5-x}$ samples

The conductivity of calcium-doped samples measured using the impedance method. For measurements of conductivity the samples were pressed in pellets and sintered. After annealing, platinum electrodes were ignited. The electrical conductivity of sintered samples was then measured as a function of temperature from 473 to 1273K in air, and as a function of concentration of various dopants. The temperature dependencies are illustrated on Figure.

Sample of 10% Ca-dopant show highest conductivity, higher than $\text{La}_2\text{ZnAlO}_{5.5}$ by a half of the order of magnitude.

The chemical stability of the samples with respect to carbon dioxide and water vapor was investigated. It was found that the samples are chemically stable in the atmosphere to carbon dioxide.

This work was supported by the State Assignment no. AAAA-A20-120061990010-7.

1. Park J. Y., Choi G. M. / Solid State Ionics, (2002) V. 154., P. 535
2. Fabián M., et al. / J. Eur. Cer. Soc., (2019) V. 39(16), P. 5298–308.
3. Egorova, A. V., Belova, K. G., & Animitsa, I. E. / Russ. J. Phys. Chem., A (2020) V. 94(12), P. 2488-2494.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ Pr₂O₃-SrO-CoO

Власова М.А.¹, Маклакова А.В.¹, Волкова Н.Е.¹, Черепанов В.А.¹,
Иванов И.Л.¹

¹) Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: mariya_vlasova_98@mail.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF INDIVIDUAL PHASES IN THE Pr₂O₃-SrO-CoO SYSTEM

Vlasova M.A.¹, Maklakova A.V.¹, Volkova N.E.¹, Cherepanov V.A.¹, Ivanov I.L.¹
¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

This work is devoted to the study of the crystal structure and oxygen nonstoichiometry of complex oxides in the Pr₂O₃-SrO-CoO system. The thermal properties and electrical conductivity of complex oxides formed in this system were also investigated in the temperature range of 25 – 1100 °C.

Обширный класс сложных оксидов, каковым являются кобальтиты РЗЭ и других металлов, представляет собой основу материалов с удачным сочетанием электрических, магнитных и каталитических свойств. Поэтому целью данной работы явились изучение кристаллической структуры и физико-химических свойств сложнооксидных соединений, образующихся в системе Pr-Sr-Co-O [1].

Синтез образцов проводили по глицерин-нитратной технологии при 1100 °C на воздухе. Согласно результатам РФА установлено, что твёрдые растворы

Sr_{1-x}Pr_xCoO_{3-δ} существуют при 0.2 ≤ x ≤ 1.0, а Sr_{2-y}Pr_yCoO_{4-δ} – при 0.8 ≤ y ≤ 1.2. Рентгенограммы однофазных оксидов при 0.2 ≤ x ≤ 0.3 удовлетворительно описываются в рамках кубической ячейки, а при 0.5 ≤ x ≤ 1.0 – в орторомбической ячейке. Рентгенограммы однофазных оксидов при 0.8 ≤ y ≤ 1.2 удовлетворительно описываются в рамках тетрагональной ячейки. При увеличении концентрации ионов Pr наблюдается уменьшение параметров элементарной ячейки, что связано с размерными эффектами.

Методом высокотемпературного РФА показано, что при температуре 800 °C структура оксида со степенью замещения Sr на Pr 90 мольных процентов: переходит из орторомбической в смесь орторомбической и ромбоэдрической фаз. У оксида с x = 0.7 структура меняется, начиная с орторомбической, затем смесь орторомбической и ромбоэдрической переходит в ромбоэдрическую и при температуре выше 900 °C наблюдается кубическая структура (см. рисунок 1).

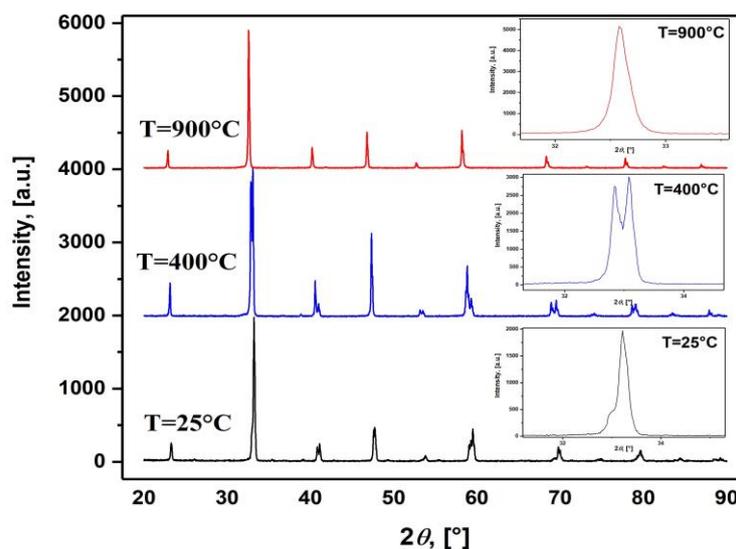


Рис. 1. Рентгеновские данные для образца $\text{Sr}_{0.3}\text{Pr}_{0.7}\text{CoO}_{3-\delta}$ при $T = 25^\circ\text{C}$, 400°C , 900°C

Кислородная нестехиометрия δ уменьшается с ростом содержания празеодима в $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$. Обмен кислородом между газовой фазой и образцами с $x = 0.3$ и 0.5 начинается на воздухе при температуре выше 300°C . Для оксида с $x = 0.7$ на графике наблюдается резкое изменение массы вблизи 800°C , что связано с изменением структуры.

Электротранспортные свойства образцов изучали 4x-контактным методом. При увеличении температуры наблюдается уменьшение общей электропроводности для образцов с $x = 0.3$, 0.5 и 0.7 . Для образцов с $x = 0.9$ и $y = 0.8$, 1.0 зависимость проходит через максимум.

Коэффициент Зеебека положительный во всем исследуемом интервале температур, что свидетельствует о преимущественно дырочном типе проводимости.

Измерения относительного увеличения размера образцов $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ ($x = 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$) и $\text{Sr}_{2-y}\text{Pr}_y\text{CoO}_{4-\delta}$ ($y = 0.8, 1.0, 1.2$) проводили на воздухе в температурном интервале $25 - 1100^\circ\text{C}$. Температурные зависимости относительного увеличения размера образцов $\text{Sr}_{2-y}\text{Pr}_y\text{CoO}_{4-\delta}$ демонстрируют значительный гистерезис. Уменьшение КТР с увеличением содержания празеодима связано с уменьшением объема элементарной ячейки, а следовательно, с увеличением прочности связи Me-O (радиус иона празеодима меньше радиуса иона стронция).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта министерства науки и высшего образования России (Соглашение № 075-15-2019-1924)

1. Jung H. K., Joongmyeon B., Fuel Cell, 97159, 1 (2006).

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА, ПОЛИУРЕТАНА С НАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ НАНОПОРОШКОВ ZnO/TiO₂

Воложенинов Т.П.¹, Аладаилах М.В.¹, Ташлыков О.Л.¹, Касков Д.О.¹,
Юзбашиева К. Ш.¹, Аль-Абед Р.², Бозея А.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт нанотехнологий Иорданского университета науки и техники, г. Ирбид,
Иордания
E-mail: t.volozheninov@yandex.ru

RADIATION SHIELDING ABILITIES OF POLYDIMETHYLSILOXANE, POLYURETHANE WITH ZnO/TiO₂ NANOPOWDERS ADDITIVES

Volozheninov T.P.¹, Aladailah M.W.¹, Tashlykov O.L.¹, Kaskov D.O.¹,
Iuzbashieva K. S.¹, Al-Abed R.², Bozeya A.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Nanotechnology, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan

The results of calculating the gamma radiation protective properties of a Polydimethylsiloxane, Polyurethane with ZnO/TiO₂ nanopowders additives using the XCOM database for the (⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ¹³⁷Cs, ¹⁹⁸Au, ⁵⁴Mn, and ²⁴Na) energy sources are presented.

В последние несколько десятилетий наблюдается быстрый рост использования радиоактивных материалов в различных областях, включая медицину, фундаментальную науку, гражданскую и военную промышленность, энергетику [1]. Как следствие, большой интерес представляет разработка материалов по защите персонала от различных видов радиоактивного излучения. Наиболее эффективным фактором снижения дозы облучения и его вредных последствий является установка экранирующего барьера между человеком и источниками излучения.

Для создания экранирующих покрытий могут быть использованы соединения из микро- и наноматериалов, диспергированных в полимерной матрице. Ослабление достигается за счет сочетания свойств наполнителя и конструкционного материала [2].

В настоящей работе исследованы радиационно-защитные свойства полидиметилсилоксана и полиуретана с добавлением нанопорошков ZnO/TiO₂. Расчеты массового коэффициента производились с использованием программного обеспечения XCOM в диапазоне энергий 0.071-2.754 МэВ. На рисунке 1 показаны результаты расчета массового коэффициента ослабления для образцов (PDMS+TiO₂), (PU+TiO₂) и (PU+ZnO) в зависимости от энергии фотонов. Проведен сравнительный анализ с другими полимерными композитами для энергий изотопа ¹³⁷Cs.

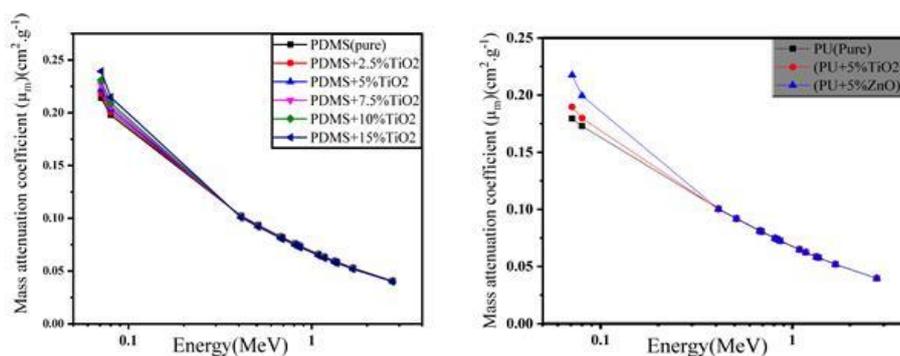


Рис. 1. Массовые коэффициенты ослабления.

Результаты показывают, что полидиметилсилоксан с добавлением 5% TiO_2 обладает лучшими радиационно-защитными свойствами от гамма-излучения, чем полиуретан с идентичным наполнителем. По результатам расчетов и сравнительного анализа полидиметилсилоксан - перспективный материал в области радиационной защиты.

1. F. Akman, M.R. Kaçal, N. Almousa, M.I. Sayyed, H. Polat Gamma-ray attenuation parameters for polymer composites reinforced with BaTiO_3 and CaWO_4 compounds / Progress in Nuclear Energy 2020 vol.121 pp.103257
2. Singletery Jr, R. C., & Thibeault, S. A. (2000). Materials for low-energy neutron radiation shielding (No. L-17773).

OBTAINING AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF NI-DOPED NANOTUBULAR TITANIUM OXIDE

Yuferov Y.V.^{1,2}, Zыkov F.M.^{1,2}, Selyanin I.O.², Kartashov V.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of solid state chemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia

E-mail: yuferovyv@gmail.com

Photocatalytic properties of Ni-doped nanotubular titanium oxide (Ni-NTO) obtained by anodizing at 30 V anodizing voltage and duration about 40 minutes was studied. Nickel doping of NTO was carried out by immersion in a solution of 0.1 M nickel nitrate for various times, followed by annealing in air.

The progress of green energy requires obtaining more efficient materials for use in the energy sector and related areas. One such material is the well-known titanium oxide in various forms and phases. Titanium oxide is a photocatalyst. It is used in solar energy harvesting and photocatalysis, including photocatalytic water splitting hydrogen and oxygen. Now, titanium oxide is obtained by the hydrolysis of titanium salt solutions, sol-gel synthesis, hydrothermal or solvothermal synthesis, chemical vapor deposition, and anodizing. Anodizing allows obtaining a material with a large specific surface area. Earlier in work [1] dependence of photocatalytic properties on the characteristics of the anodizing process was studied. Although the parameters of anodization make it possible to change the photocatalytic properties of the material widely, it is necessary to research its doping for its practical use. A promising approach here is the doping of metals from the 3d group. According to [2,3], doping with nickel can increase light absorption by including the Ni 3d states in the bandgap. Many works are devoted to examining the photocatalytic properties of titanium oxide, decorated with nickel oxide [4] or metallic nickel [5]. At the same time, there are a few works on the study of nickel-doped nanotubular titanium oxide. This work presents an attempt to obtain Ni-doped NTO by immersion in a nickel salt solution with the following heat treatment.

NTO was obtained by anodization method in an electrolyte based on ethylene glycol with the addition of water 2.3% mol and ammonium fluoride 1.5% mol. Anodizing was carried out under 30V DC for 40 minutes. Titanium substrates were electrochemically polished in a solution of 80% v/v ethylene glycol, 20% v/v isopropanol, and 1M NaCl applied 20V DC for 1 hour. The resulting NTOs were washed alternately in water and ethanol and then dried at ambient temperature. Dried samples of amorphous NTOs were immersed in an aqueous solution of 0.1 M $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ and kept in it for 1, 2, 3 and 4 hours. Afterwards, samples were heat-treated at a temperature of 400 °C in air, with a heating and cooling rate of 1 °C/min. The samples were studied using scanning electron microscopy (SEM) and incident photon to electron conversion efficiency spectroscopy (IPCE). IPCE spectroscopy allows to define the photocatalytic properties of the material depending on the wavelength of photons incident on the sample and obtain such characteristics as the “conversion” bandgap, the position of absorption peaks their

width, and the integrated IPCE efficiency of the samples. Figure 1 shows the SEM image of obtained Ni-NTO.

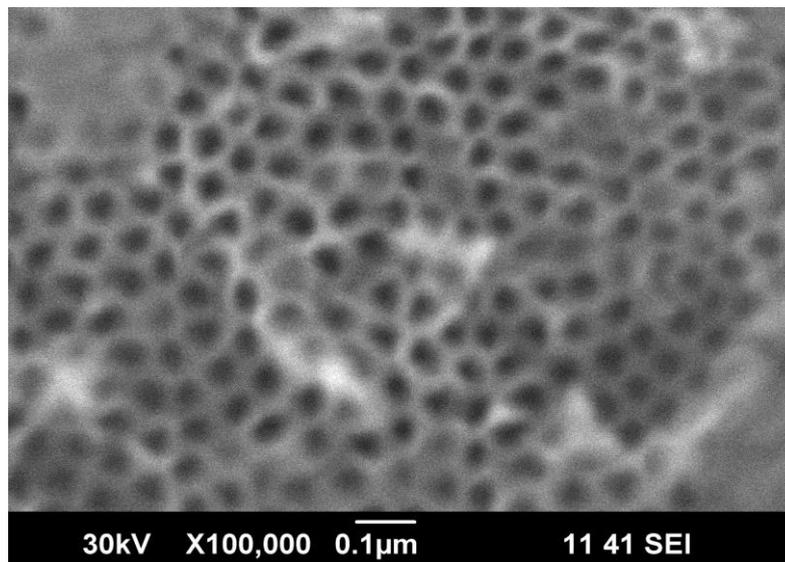


Fig. 1. SEM-image of surface Ni-NTO sample immersed in nickel nitrate solution during 1 hour.

Studying the efficiency of IPCE samples depending on the time of doping by immersion in a solution will show which samples have the best efficiency and the formation of impurity levels at which conversion occurs.

The authors appreciate the support of this work within the government assignment № AAAA-A19-119110190048-7

1. Yuferov, Y.V., Popov, I.D., Zykov, F.M., Suntsov A.Y., Baklanova I.V., Chukin A.V., Kukharensko A.I., Cholakh, S.O., Zhidkov, I.S., Applied Surface Science, 573, 151366 (2022)
2. Escamilla-Roa E., Timon V., Hernandez-Laguna A., Computational and Theoretical Chemistry, 981, 59-67 (2012)
3. Dong, Z., Ding, D., Li, T., Ning, C., Applied Surface Science, 443, 321-328 (2018)
4. Sim, L.C., Ng, K.W., Ibrahim, S., Saravanan, P., International Journal of Photoenergy, 2013, 659013 (2013)
5. Zhang, Y., Yang, Y., Xiao, P., Zhang, X., Lu, L., Li, L., Materials Letters, 63(28), 2429-2431 (2009)

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ZrO_2 МЕТОДОМ НАМАЗКИ

Закиров И.Ф.¹, Банных С.А.¹, Шак А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: zif-89@mail.ru

MODIFICATION OF THE HEAT-SHIELDING COATINGS BASED ON ZrO_2 BY THE SPREADING METHOD

Zakirov I.F.¹, Bannykh S.A.¹, Shak A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A method has been developed for applying a heat-shielding coating based on zirconium dioxide reinforced with ceramic fiber by manually spreading an aqueous slip followed by drying and calcining at 1200°C in an inert atmosphere.

Развитие авиационной промышленности и двигателестроения в настоящее время направлено на увеличение КПД двигателя, снижению его весовой характеристики и уменьшению выброса вредных веществ в атмосферу. Эти характеристики достигаются путем создания еще более мощного высокотемпературного потока газа на входе в турбину. Однако, даже лучшие жаропрочные сплавы на никелевой основе, которые способны работать в течение долгого времени в условиях статических и динамических нагрузок, начинают разрушаться при температурах свыше 1100°C. Без тепловой защиты высокая температура может пагубно повлиять на детали и металлические узлы двигателя, в том числе и на лопатки газотурбинных двигателей (ГТД) авиационного назначения.

Теплозащитных покрытий (ТЗП) существует большое количество, чаще всего промышленные предприятия используют керамические покрытия на основе ZrO_2 . Такая керамика обладает стойкостью при работах в окислительных средах и высоких температурах. Она имеет достаточно высокий коэффициент термического расширения, высокую прочность, стойкость против коррозии и эрозии, отличную изоляционную способность, а так же низкую теплопроводность. Коэффициент теплопроводности ее примерно в 10 раз меньше, чем у основного материала жаростойкого типа [1].

Одним из основных методов нанесения ТЗП является газоплазменное напыление. Недостатком такой теплозащиты является достаточно высокая пористость и шероховатость, что приводит к повышенной газопроницаемости и окислению подложки, значительно снижает срок службы покрытия и детали. Таким образом, возникает необходимость в дополнительной модификации керамического слоя ТЗП различными методами [2].

Для решения данной проблемы нами разработан композиционный состав шликера на основе $ZrO_2-7\%Y_2O_3$, армированного керамическим волокном. После ручной намазки водного шликера требуется сушка на воздухе и затем прокаливание покрытия при температуре до $1200^\circ C$ в течение 2 часов. Для предотвращения окисления материала лопатки прокаливание проводится в инертной атмосфере.

Исследования по отработке вариантов модификации ТЗП производились на образцах из сплава ХН60ВТ размером $75 \times 25 \times 1,5$ мм. Установлено, что шероховатость поверхности начального керамического покрытия, нанесенного газоплазменным напылением, составляет от Ra 6 до Ra 9 в зависимости от условий напыления криволинейных поверхностей. Шероховатость керамического слоя после модифицирования путем намазки снижается до $\sim Ra 4,5$. Есть возможность, как залечивания трещин, так и нанесение сплошного толстого слоя толщиной 50-80 мкм.

Проведенные испытания в условиях термоциклирования: нагрев $20 \rightarrow 1000^\circ C \rightarrow$ выдержка 10 минут \rightarrow охлаждение в воде показали, что после 25 циклов снижения шероховатости не происходит. Видимых дефектов не наблюдается. Микроструктура покрытия после 25 термоциклов представлена на рисунке.

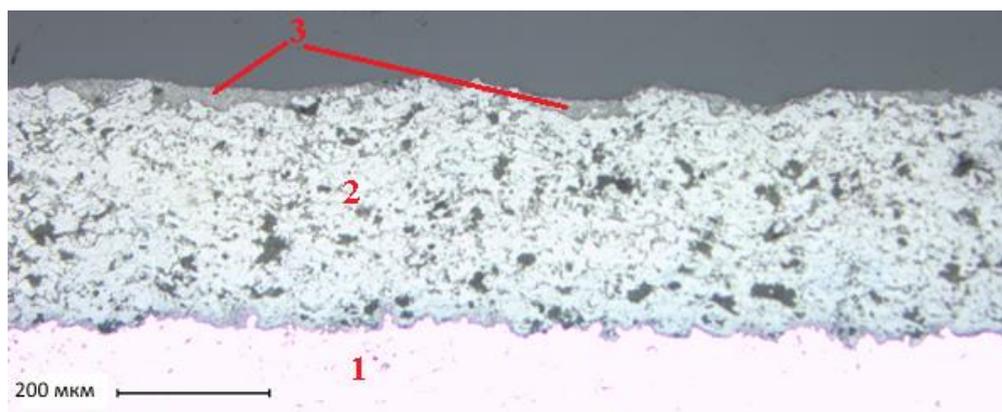


Рис. 1. Микроструктура модифицированного теплозащитного покрытия на основе ZrO_2 после 25 термоциклов: 1- подслоя, 2 - теплозащитный слой, 3 - слой намазки.

1. Н.И.Старцев, С.В.Фалалеев, Конструкция узлов авиационных двигателей: турбина и камера сгорания: электронный курс лекций, Государственный аэрокосмический университет (2007)
2. Н.Т Тиханов, Н.Ф Мусаткин, В.Н Матвеев, Теория лопаточных машин авиационных газотурбинных двигателей, Государственный аэрокосмический университет, (2001)

СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ЦИРКОНАТОВ БАРИЯ ДОПИРОВАННОГО ИТТРИЕМ

Закирьянов П.О.¹, Иванов И.Л.¹, Цветков Д.С.¹, Зуев А.Ю.¹

¹ ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: petr.zakirianov@urfu.ru

STRUCTURE AND ELECTRIC CONDUCTIVITY OF ZIRCONATE BARIUM YTTRIUM-DOPED

Zakiryaynov P.O.¹, Ivanov I.L.¹, Tsvetkov D.S.¹, Zuyev. A.Yu.¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekate-
rinburg, Russia

This work is devoted to the study of the structural and electrical transport properties of yttrium-doped barium zirconate. The activation energies of partial conductivities were calculated at different temperature values in a wide range of partial pressure of water vapor and oxygen.

1. Синтез

Образцы $BaZr_{1-x}Y_xO_{3-\delta}$ ($x = 0,1; 0,2; 0,5$), изготавливали методом пиролиза полимерно-солевых композиций на основе соответствующих нитратов и глицерина. Полученные порошки перетирали и проводили серию отжигов. Методом РФА установили однофазность всех полученных образцов.

2. Высокотемпературный рентгеноструктурный анализ

Методом Ритвельда определены параметры кристаллической решетки синтезированных образцов, согласующиеся с литературными данными [1-4].

Для образцов $BaZr_{1-x}Y_xO_{3-\delta}$ ($x = 0,1; 0,5$) получена серия рентгенограмм при температурах от 25 до 1100 °С. Методом РСА установлено, что образцы сохраняют свою пространственную группу во всем исследованном температурном диапазоне. Значения параметров кристаллической решетки приведено на рисунке 1.

Установлено наличие двух областей с линейной зависимостью параметра кристаллической решетки от температуры и перегибом между ними. Из полученных данных рассчитаны значения коэффициента термического расширения для высокотемпературного и низкотемпературного участков.

3. Энергия активации парциальных проводимостей и числа переноса

Общая электропроводность сложного оксида составов $BaZr_{1-x}Y_xO_{3-\delta}$ ($x = 0,1; 0,2$) была измерена четырехконтактным методом на постоянном токе. Измерения проводили при различных значениях температуры (от 790 °С до 1040 °С) и составах атмосферы.

Был проведен трехмерный фитинг полученных экспериментальных данных. Вычислены значения парциальных проводимостей при каждой температуре и

энергии активации парциальных проводимостей. Рассчитаны числа переноса для каждого типа парциальных проводимостей.

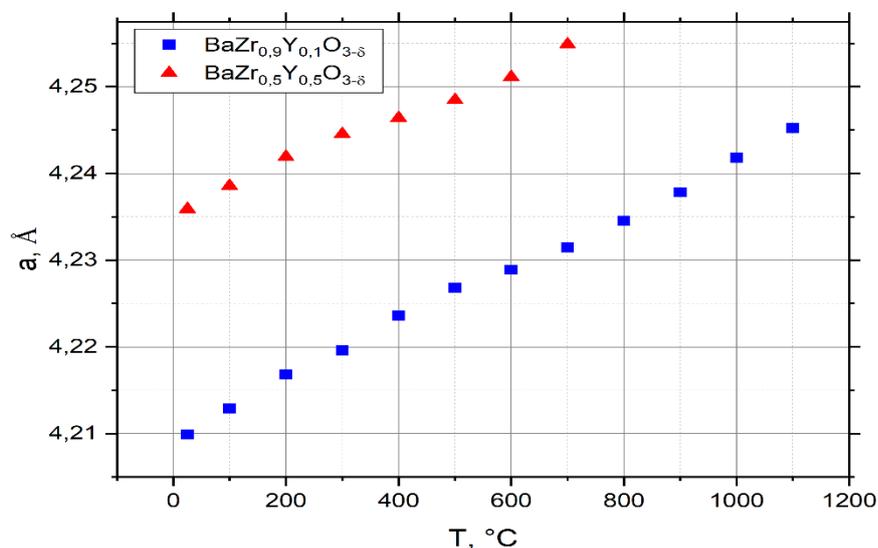


Рис. 1. Параметры кристаллической решетки $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0,1; 0,5$) при различных температурах на воздухе.

4. Выводы

Установлен характер изменения параметров кристаллической решетки для $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0,1; 0,5$) в широком интервале температур.

С применением данных, полученных в широком диапазоне температур, парциальных давлений кислорода и водяного пара, рассчитаны энергии активации кислород-ионной, дырочной и протонной парциальных электропроводностей для $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0,1; 0,2$). Установлены числа переноса для каждой парциальной проводимости.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФ №18-73-00022

1. Балакирева В.Б., Горелов В.П. Синтез и электрофизические свойства твердых протонных электролитов на основе BaZrO_3 // Неорганические материалы, г. Екатеринбург, 2001. – Т. 37, № 5 – С. 636–640.
2. Справочник химика / Редкол.: Никольский Б.П. и др.. — 2-е изд., испр. — М.-Л.: Химия, 1966. — Т. 1. — 416 с.
3. Справочник химика / Редкол.: Никольский Б.П. и др.. — 2-е изд., испр. — М.-Л.: Химия, 1966. — Т. 1. — 416 с.
4. Fabbri E., Pergolesi D., Licocchia S., Traversa E. Does the increase in Y-dopant concentration improve the proton conductivity of $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ fuel cell electrolytes? // Solid State Ionics. – 2010. – V. 181. – P. 1043–1051.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО МЕДЬ-НИОБИЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ИНСТРУМЕНТА

Зайцев Е.Ю.¹, Спири́н А.В.¹, Крути́ков В.И.¹, Парани́н С.Н.¹,
Заяц С.В.¹, Колеух Д.С.¹

¹Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
E-mail: jzaizew@gmail.com

STUDY OF A MATERIAL BASED ON A NANOSTRUCTURED COPPER- NIOBIUM ALLOY FOR THE DEVELOPMENT OF MAGNETIC PULSE TOOLS

Zaytsev E.Yu.¹, Spirin A.V.¹, Krutikov V.I.¹, Paranin S.N.¹,
Zayats S.V.¹, Koleukh D.S.¹

¹Institute of Electrophysics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The results of study of samples made of finely dispersed Cu-Nb by powder method are given. Comparative tests of materials stability under the generation of magnetic fields up to 40 Tl of microsecond duration are carried out.

Основной проблемой при генерации импульсных сильных магнитных полей (СМП) является деградация и разрушение проводящих материалов в условиях совместного силового и термического воздействия импульсного тока и магнитного поля, что особенно характерно для материалов индукторов на основе алюминия и меди. Эффективными для таких применений могут быть специальные сплавы, сочетающие в себе высокую проводимость и прочностные характеристики, например, наноструктурный композит Cu-Nb. В работе [1] показано, что катушки из данного материала в виде структурированного провода способны многократно генерировать СМП до 70 Тл субсекундной длительности. Однако данных по его использованию для генерации быстрых СМП не найдено. Как правило, для этих целей используют массивные одновитковые индукторы или концентраторы магнитного потока, что сложно реализовать из провода, но может быть реализовано, например, порошковым способом. Целью работы является получение порошковым способом объемных образцов из мелкодисперсного композита Cu-Nb, исследование свойств и поведения материала в полях до 40 Тл микросекундной длительности в сравнении с образцом коммерческого провода прямоугольного сечения (2x8 кв.мм) – шиной, из волокнистого композита Cu-18%Nb производства ООО «НПП «Нанозлектро» [2].

Микрокомпозиционный провод диаметром 0,18 мм, измельченный на фрагменты, подвергали помолу в шаровой мельнице. Компактные образцы в виде дисков диаметром до 32 мм с относительной плотностью до 97% получали магнитно-импульсным прессованием и последующим отжигом в вакууме при

температуре около 800°C /1 ч. Испытания материалов в СМП проводили в индукторной системе с концентратором потока, содержащим тестовые образцы размером $2 \times 8 \times 30$ мм из порошка и коммерческой шины.

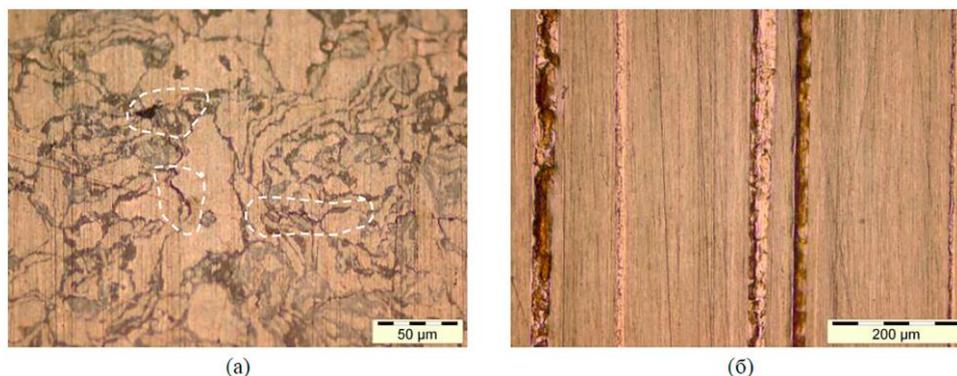


Рис. 1. Оптические изображения поверхности порошкового образца (а) и шины (б) после 50 импульсов СМП 40 Тл. На (а) пунктиром показаны области с микротрещинами.

Комплексный анализ данных о свойствах полученных образцов из порошка композита свидетельствует об их близости к свойствам структурированного провода. Исследование методом АСМ показало, что у порошковых образцов после отжига вплоть до температуры около 800°C сохраняется волокнистая структура, определяющая высокую прочность исходного материала. Тем не менее, порошковые образцы после отжига при максимальной температуре все же имеют удельное сопротивление на 30% больше (около $3 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$), чем у исходного провода после отжига, а также более высокую микротвердость, что может быть обусловлено наличием примесей, вносимых помолом, а также наличием (до 7 масс.%) оксидных фаз компонентов композита. После 50 импульсов поля 40 Тл с полупериодом 15 мкс образцы характеризовались целостностью, но имели различный характер и степень деградации рабочей поверхности (рисунок 1). У порошкового образца разрушение начиналось с образования микротрещин по границам зерен, соответствующих частицам исходного помольного порошка, в образце шины изменения происходят, в основном, в достаточно толстых медных прожилках между жилами из медь-ниобиевого композита. В ходе дальнейших испытаний образце из порошка выдержал около 80 импульсов СМП, шина – не менее 120.

Работа выполнена при частичном финансировании грантов РФФИ (20-58-00029 Бел_а, 20-21-00050 Росатом)

1. A. Lagutin, K. Rosseel, F. Herlach, J. Vanacken, Y. Bruynseraede. Development of reliable 70 T pulsed magnets // Meas. Sci. Technol. 2003. Vol. 14. pp. 2144-2150.
2. ООО «НПП» Наноэлектро» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. компании. Москва, Россия. URL: <http://www.naelco.ru> (дата обращения: 24.02.2022).

ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОЛУЭЛЕМЕНТОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ МЕТОДОМ КАЛАНДРОВАНИЯ

Зебзеева А.А.^{1,2}, Вылков А.И.², Денисова Э.И.¹

¹⁾ Уральский Федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: nastya-zebzeeva@mail.ru

MANUFACTURE OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF SOLID OXIDE ELECTROLYZER HALF-ELEMENTS BY CALANDRATING METHOD

Zebzeeva A.A.^{1,2}, Vylkov A.I.², Denisova E.I.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of High Temperature Electrochemistry, Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences

In this work, half-cells used as the basis of solid oxide fuel cells (SOFC) and electrolyzers (SOEC) were fabricated. The composition and porosity of the fabricated half-elements were determined.

В настоящее время стоит острый вопрос глобального потепления тесно связан с количеством выброса парниковых газов, уменьшить которые можно за счет энергоносителей с низким углеродным следом. Поэтому разработка новых технологий производства водорода, свободных от выбросов углекислого газа, приобретает все большую актуальностью.

Ведущее место занимает технология высокотемпературного электролиза воды при использовании твердооксидных электролизеров.

В данной работе разрабатывали технологию формирования планарных полуэлементов, используемых в качестве основы твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) и электролизеров (ТОЭ).

ТОЭ по структуре состоят из газоплотного электролита, топливного электрода (катода), кислородного электрода (анода).

Полуэлемент состоит из электролита и катода. В качестве электролита взят порошок $ZrO_2 - Y_2O_3$ полученный методом контролируемого двухструйного осаждения двух фракций (1–10 мкм, 10–45 мкм). Используемый материал катода является стабилизированный иттрием диоксид циркония, легированный оксидом никеля.

Формирование тонкопленочных электролитов ведут методом каландрования. Он заключается в прокатке пленок, содержащих соответствующий порошок и органическую связку. Этим же методом сформировали полуэлементы из подготовленных пластин соответствующих материалов.

Спекание сформированных полуэлементов проводили по температурному режиму: нагрев со скоростью 1° С/мин до 900° С; нагрев со скоростью 3° С/мин до 1570° С; выдержка в течение 3 часов при 1570° С, охлаждение со скоростью 3° С/мин до комнатной температуры.

Капиллярным методом и с помощью сканирующей электронной микроскопии была проведена оценка плотности электролитов и пористости катодов.

Так же были исследованы различные температурно-временные режимы спекания полуэлементов.

Анализ экспериментальных данных позволил определить оптимальный состав порошковых смесей, органической связки и пластификатора для создания плотного электролита, а так же определена оптимальная температура спекания полуэлементов ТОЭ.

Результаты исследований показали, что вышеназванные условия позволяют изготавливать плотные электролиты на пористом катоде.

1. Ни, М., Леунг, М. К. Х. и Люнг, Д. Ю. К. (2008). Технологическое развитие производства водорода твердооксидным электролизером (ТОЭЦ). Международный журнал водородной энергетики, 33, 2337–2354. DOI: 10.1016 / j.ijhydene.2008.02.048
2. Кузин Б.Л., Демин А.К., Липилин А.С., Перфильев М.В. Высокотемпературный электролизер для глубокого разложения воды // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Атомно-водородная энергетика и технология. 1984. Вып. 3 (19). С. 28 – 30.
3. Mukhopadhyay M. Functional Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cell – A Review / Mukhopadhyay M., Mukhopadhyay J., Basu R. N.// Transactions of the Indian Ceramic Socie-ty. – 2013 – 72 – Pp. 145–168.

COBALT DOPED NANOTUBULAR TITANIUM OXIDE

Zykov F.M.^{1,2}, Yuferov Y.V.^{1,2}, Selyanin I.O.², Kartashov V.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute Solid State Chemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

E-mail: fm.zykov@urfu.ru

This paper presents a study Co-doped nanotubular titanium oxide (Co-NTO) obtained by anodizing at 30 V 40 min. Cobalt doping of NTO was carried out by immersion in a solution of 0.1 M cobalt nitrate for various times, followed by annealing in air.

Because of declining stocks of existing and growing demand for promising fuel sources, there is an increasing need to create and use renewable fuel sources, including hydrogen. Its production is a very energy-intensive technology in traditional water electrolysis, so hydrogen production technology using renewable resources such as solar energy and water is required. This technology is founded by using the process of photocatalytic decomposition of water. This direction is becoming more popular over the years, which motivates scientists to look for new solutions to improve the properties of existing materials. It is titanium oxide has several interesting significant characteristics: non-toxicity, photodegradation resistance, small bandgap, sufficient photoconversion, and photocatalytic efficiency. To improve these characteristics, researchers widely use cationic and anionic doping and surface decoration methods. Papers about cationic doping [1,2] show an increase in the photoconversion efficiency in photocatalytic water splitting and a decrease in the bandgap. These papers present the development perspective of titania and the material ability to work in the visible spectrum and better photocatalytic efficiency.

It is believed that doping with cobalt can significantly increase photoconversion efficiency, a shift in the conversion peak from the UV to the visible part of the spectrum [3], and an improvement in the photodegradation of pollutants. Doping of TiO₂ is carried out by various methods: hydrothermal, electrodeposition of particles on the surface and immersion method. The preparation of nanotubular coatings of titanium oxide (nt-ATO) in an organic electrolyte with fluoride-containing ions was considered in the paper [4]. The results showed a decreasing bandgap from 3.4 to 3.2 eV, the maximum IPCE was increased from 5.8 to 8.3%, and the conversion peak shift was approximately 30 nm.

The titanium substrate was electrochemical polished in a solution containing 80 ml of ethylene glycol (EG), 20 ml of isopropanol, and 1 M NaCl at a direct current of 20 V for 50 min. Nt-ATO coatings on a polished titanium substrate were obtained in an electrolyte containing EG, ammonium fluoride 1.5% mol and water 2.3% mol at a voltage of 30 V with an anodizing time of 40 min. Then, the amorphous nt-ATO samples were immersed in a 0.1 M Co(NO₃)₂ solution and kept in it from 1 to 12 h. Then they were treated at a temperature of 400°C for 1 hour, with a heat-cooling rate of 1°C/min, in an air atmosphere.

The obtained samples were examined using a scanning electron microscope (SEM), XRD and incident photon-to-electron converse spectrometry methods. Figure 1 shows the SEM image of obtained Co-ntTO.

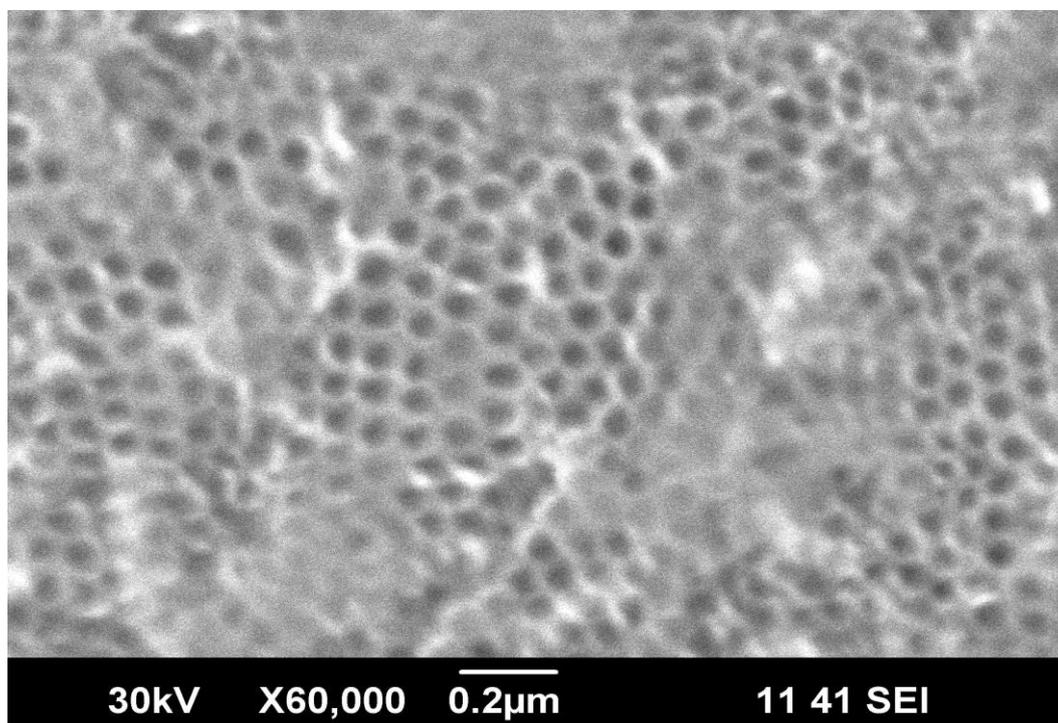


Fig. 1. SEM-image of surface Co-ntTO sample

Studying the efficiency of IPCE samples depending on the time of doping by immersion in a solution will show which samples have the best efficiency and the formation of impurity levels at which conversion occurs.

The authors appreciate the support of this work within the government assignment № AAAA-A19-119110190048-7

1. Wan, Y., Xu, A., Dong, C., He, C., Xiao, K., Tian, Y., Li, X., Journal of Materials Science 53, 9988–10000 (2018)
2. Hanaor, D.A.H., Assadi, M.H.N., Li, S., Yu, A., Sorrell, C.C., Computational Mechanics 50, 185–194 (2012)
3. Ali, H., Ismail, N., Mekewi, M., Hengazy, A.C., Journal of Solid State Electrochemistry 19, 3019–3026 (2015)
4. Yuferov, Y.V., Popov, I.D., Zykov, F.M., Suntsov A.Y., Baklanova I.V., Chukin A.V., Kukharenko A.I., Cholakh, S.O., Zhidkov, I.S., Applied Surface Science, 573, 151366 (2022)

СЕКЦИЯ 6

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО ОТБОРА НА ОСНОВЕ ТЕХНИК MAP REDUCE

Алексеева А.А.¹

¹) Институт Вычислительной Математики и Информационных Технологий,
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия
E-mail: anasteeysha@gmail.com

REALIZATION OF A MODIFICATION OF A SEQUENTIAL STATISTICAL SELECTION PROCEDURE BASED ON MAP REDUCE TECHNIQUES

Alekseeva. A.A.¹

¹) Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga
Region) Federal University, Kazan, Russia

This paper describes the algorithmic realization of a sequential statistical selection procedure, the derivation of an estimate of the complexity of the obtained implementation of the algorithm in the Big O notation, as well as a description of the modification of the algorithm using MapReduce t

Задача выбора наилучшей случайной величины из нескольких вариантов актуальна в ряде областей. Например, в медицине важно выбрать наилучший лечебный препарат среди ряда аналогов, в сельском хозяйстве бывает необходимо выбрать из нескольких вариантов наилучшую агрокультуру.

Целью данной работы является оценка эффективности программной реализации последовательной процедуры статистического отбора, а также описание модификации реализованного алгоритма с использованием техник MapReduce. Описание алгоритма было взято из статьи [1]. Авторы данной статьи приводят описание модификации последовательной процедуры статистического отбора - алгоритм first-crossing lookahead (FCLA). Алгоритм first-crossing lookahead основан на построении трех правил: правило остановки (stop_rule), правило решения (decision_rule), правило управления(control_rule). Правило остановки определяет в какой момент процедура завершит эксперимент. Правило решения применяется после завершения эксперимента и указывает на ту случайную величину, которая принимается процедурой отбора наилучшей. Правило управления выбирает случайную величину, из которой должно быть взято новое наблюдение в ходе эксперимента.

Алгоритм FCLA был успешно реализован с использованием средств языка программирования Python. Выполненная оценка сложности реализованного алгоритма в нотации Big O указывает на зависимость времени выполнения алгоритма от Nv^3 , где Nv – это количества случайных величин. То есть даже небольшое увеличение количества случайных величин может привести к

значительному увеличению времени выполнения алгоритма. Также оценка сложности позволила сравнить время выполнения трех правил и выделить `control_rule`, как правило, требующее наибольших временных затрат. Один из вариантов смягчения ограничений на количество случайных величин подразумевает применение концепции MapReduce к `control_rule`.

На рисунке 1 предоставлена схема модификации `control_rule` на основе техник MapReduce, где X - набор случайных величин, $\text{profit}_P(X_i)$ – функция, определяющая выгодность совершения следующего наблюдения из случайной величины X_i .

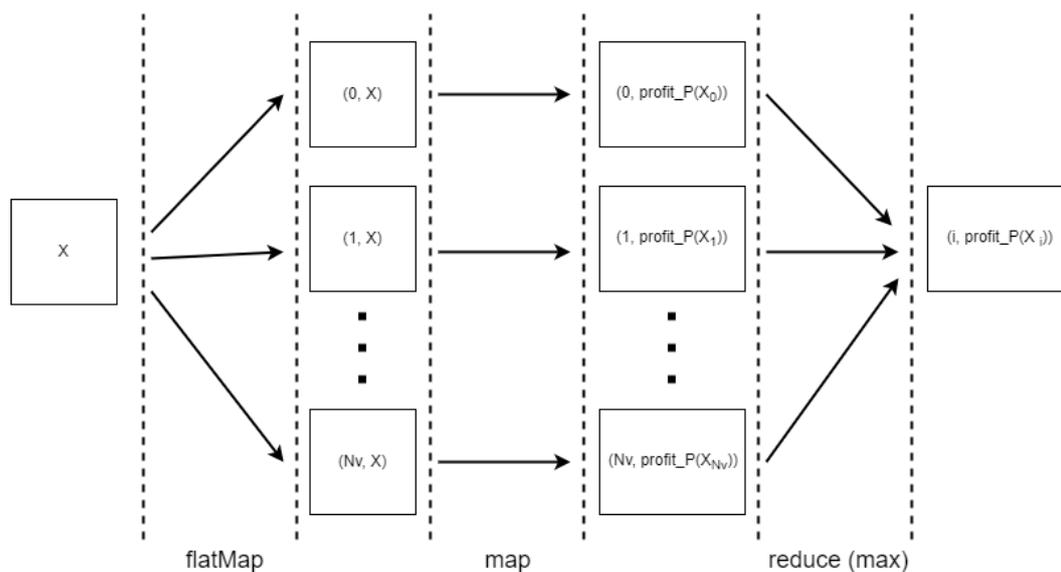


Рис. 1. Схема модификации `control_rule` на основе техник MapReduce

1. Kareev I.A., Zaikin A.A., Sequential First-Crossing Look-Ahead Procedure for Selecting a Population with the Largest Mean in Normal-Normal Model, Lobachevskii Journal of Mathematics, Vol.40, Is.8, P.1178 — 1185, (2019).

**ПРОБЛЕМАТИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
ВНУТРЕННИХ СИЛ ПО СЕЧЕНИЮ БРОНХОПЛАСТИЧЕСКИХ
ВМЕШАТЕЛЬСТВ ПРИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЯХ
ЛЕГКИХ**

Андреева С.Ю.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ ООО Научно-исследовательский центр "Авантренд", г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andreevasveta.22@yandex.ru

**PROBLEMS OF DETERMINING THE INTENSITY OF INTRINSIC
FORCES BY SECTION OF BRONCHOPLASTIC INTERVENTIONS IN
MALIGNANT LUNG DISEASES**

Andreeva S.IU.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ LLC Research Center "Avantrend", Yekaterinburg, Russia

The paper analyzes the problem with concomitant emergent factors. To solve it, a model of variable intrapulmonary bronchus stiffness coefficient is proposed, providing control of determining the internal forces and finding out the nature of their distribution along the section.

Применение бронхопластики направлено на удаления части крупного бронха с очагом поражения и последующей его пластикой.

На основании литературных данных большинство торакальных хирургов в своей практике используют анастомоз “конец в конец” [1]. При этом хирург сталкивается с проблемой различных диаметров бронхов при их сшивании, это обусловлено сложной внутренней структурой легочных образований, и врач интуитивно производит подобный вид операций, опираясь на основные хирургические принципы [2] упуская фактор возникающей деформации, т.е. изменения взаимного положения внутрилегочных бронхов, связанного с их перемещением, друг относительно друга за счет приложенных усилий, при которых бронхиальное дерево искажает свои формы и размеры без учета интенсивности внутренних сил по сечению, что может по итогу привести к нарушению прочности бронхиального дерева. Таким образом, подготовка таких операций и сами операции проводятся без учета следующих факторов:

- растяжение бронхов растет вместе с ростом внешних сил;
- силы, действующие между отдельными частями легких, зависят от деформации.

Следует отметить, что отсутствие учета этих факторов может привести к послеоперационным осложнениям, т. к. для обеспечения прочности сечений отдельных элементов бронхов необходимо учитывать, чтобы возникающие при

внешних нагрузках внутренние напряжения, были меньше нагрузки на площадь поперечного сечения анастомоза при его сопротивлении, во избежание нарушения прочности бронхиального дерева. Другими словами, необходимо количественно определить силовые воздействия частей бронхиального дерева, т. е. упругие напряжения, которые с учетом интенсивности внутренних сил стремятся деформировать элементы бронха, отделять их один от другого, не нарушая при этом прочности легкого в целом.

Учет характеристик возникающих деформаций в разработанных моделях бронхов, осуществляется только на основе однородно распределяющихся механических свойств (например, здоровые испытуемые, однородное изменение свойств легких в результате заболевания) [3].

Для описания эффектов, связанных с неоднородностью бронхиального дерева, когда в результате заболевания меняются некоторые части бронхов, предлагается модель переменного коэффициента жесткости внутрилегочных бронхов, задача которой определять интенсивность внутренних сил по сечению, что в свою очередь позволит контролировать изменения формы или размеров бронхо дерева в результате напряжений, вызванных приложенными нагрузками с учетом сил, действующих между отдельными частями легких, зависящих от деформации.

Таким образом, проблематика определения интенсивности внутренних сил по сечению бронхоспластических вмешательств при злокачественных новообразованиях легких может быть решена посредством предложенной модели переменного коэффициента жесткости бронхиального дерева, которая учтет развитие деформаций интенсивности внутренних сил по сечению и обеспечит решения задач, связанных с определением внутренних усилий и характера распределения их по сечению.

1. Шов после циркулярной резекции трахеи [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.mediasphera.ru/issues/khirurgiya-zhurnal-im-n-i-pirogova/2011/12/030023-12072011121>
2. Техника наложения хирургических швов [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://meduniver.com/Medical/Xirurgia/486.html>
3. Г. А. Любимов, Модели легких человека и исследование с их помощью меха_x0002_ники дыхания, Тр. МИАН, 1998, том 223, 196–206)

AUTOMATIC APPLE LEAF DISEASES DETECTION AND CLASSIFICATION USING MULTILAYER CONVOLUTION NEURAL NETWORK

Antor Mahamudul Hashan¹, Rizu Md Rakib Ul Islam¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
E-mail: mantor@urfu.ru

An improved CNN model is proposed for apple leaf diseases. Effective data augmentation and image preprocessing operations are devised. Our method boosts the apple leaf diseases recognition accuracy and reduces computational time.

Agriculture is one of the prime sources of economic growth in Russia, the global apple production in 2019 was 87 million tons. Apple leaf diseases are the main factors in the annual decrease in apple production, which causes huge economic losses. Automated methods for detecting apple leaf diseases are beneficial in reducing the laborious work of monitoring apple gardens and early detection of disease symptoms. This article proposes a model based on a modified multilayer convolutional neural network (CNN). The developed model is able to classify apple leaves into one of the following categories: apple scab, black rot, and cedar apple rust diseases using a newly created image dataset. The study included affine transformation and perspective transformation image augmentation techniques to increase the size of the dataset, which improves the accuracy of the model. OpenCV crop and histogram equalization method-based preprocessing operations are involved to improve our image dataset. The experimental results show that the system achieves 99.32% training accuracy and 99.03% validation accuracy on the proposed image dataset and improves computational time. The results visualize that the proposed CNN model envisages a higher classification accuracy when compared to the other two well-known approaches like depth convolutional neural network (DCNN) and DenseNets. This model can be used for the different apple leaf diseases datasets.

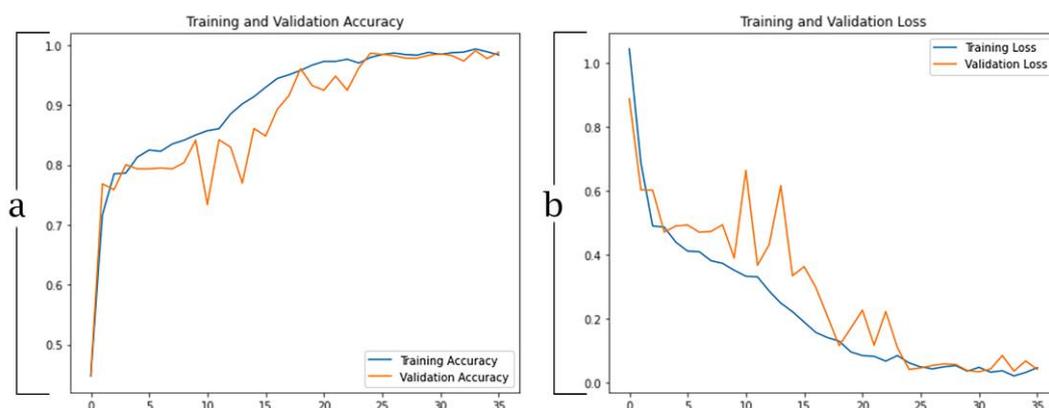


Рис. 1. Accuracy and loss graphs during model trainings: (a) training and validation accuracy; (b) training and validation loss.

Keywords: smart agriculture; apple leaf diseases; convolutional neural network; image classification; data augmentation.

We are thankful to Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia for their support and necessary facilities to carry out this study.

1. Baranwal, S., Khandelwal, S., & Arora, A. (2019). Deep learning convolutional neural network for apple leaves disease detection. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3351641>
2. Jiang, P., Chen, Y., Liu, B., He, D., & Liang, C. (2019). Real-time detection of apple leaf diseases using deep learning approach based on improved convolutional neural networks. IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions, 7, 59069–59080. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2914929>
3. Liu, B., Zhang, Y., He, D., & Li, Y. (2017). Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks. Symmetry, 10(1), 11. <https://doi.org/10.3390/sym10010011>
4. Yadav, D., Akanksha, & Yadav, A. K. (2020). A novel convolutional neural network based model for recognition and classification of apple leaf diseases. Traitement Du Signal, 37(6), 1093–1101. <https://doi.org/10.18280/ts.370622>
5. Zhong, Y., & Zhao, M. (2020). Research on deep learning in apple leaf disease recognition. Computers and Electronics in Agriculture, 168(105146), 105146. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105146>

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО УЧЕТУ И ВЕДЕНИЮ РАЦИОНАЛИЗАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Арсентьева А.В.¹, Смирнов Г.Б.¹, Гольдштейн С.Л.¹, Летавин Г.Э.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: alyonka_sun@mail.ru

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF OPERATION OF THE INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING AND MANAGEMENT OF RATIONALIZATION ACTIVITIES OF AN ENTERPRISE

Arsentyeva A.V.¹, Smirnov G.B.¹, Goldstein S.L.¹, Letavin G.E.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) LLC «Gazprom transgaz Yekaterinburg», Yekaterinburg, Russia

The information system is a mean for effective management and usage of information resources. This system automates the process of paperwork for submitting rationalization proposals. The information system allows to store a large amount of information in single databases.

В настоящее время организация рабочего процесса многих компаний в значительной степени автоматизирована. Актуальность автоматизации процесса учета и ведения рационализаторской деятельности (РД) состоит в том, что это позволит снизить временные затраты на сбор документов для подачи рационализаторских предложений (РП), а также хранить большие объемы информации в единых базах данных. Более того, функционал существующих программных продуктов электронного документооборота избыточен и экономически не выгоден для предприятия.

Рационализаторским признается техническое или организационное решение, оптимизирующее производственный процесс. Предложение считается полезным для предприятия, если оно обеспечивает получение экономического или иного положительного эффекта [1].

С целью раскрытия поставленной задачи были выделены следующие ключевые слова для поиска информации: «информационная система», «учет», «рационализаторская деятельность», «закон о рационализаторской деятельности», «информационная безопасность», «несанкционированный доступ», «information system», «rationalization activity».

В качестве прототипа информационной системы (ИС) по РД был выбран компилятивный прототип систем электронного документооборота «DocsVision» [2] и «Directum RX» [3], позволяющих осуществлять управление документацией и бизнес-процессами организации.

Основные недостатки прототипа заключаются в отсутствии автоматического формирования проектов приказов о выплате единовременных премий за рационализаторство с возможностью экспорта их в сторонние приложения, а также в отсутствии процесса напоминаний для поступивших предложений с экономическим эффектом. Предлагается ввести данные функции в будущую ИС. Автоматическое формирование проектов приказов будет происходить с использованием созданных ранее шаблонов, для которых будет необходимо только внесение актуальных данных. Также функцию, реализующую процесс напоминаний, предлагается организовать следующим образом: для пользователя, выступающего в роли уполномоченного, и для пользователя, выступающего в роли согласующего, с целью составления актов за второй год использования предложения на почтовый адрес будет приходить сообщение с напоминанием о выполнении работ.

Создание ИС по учету и ведению рационализаторской деятельности предприятия является целесообразным, так как она будет являться инструментом эффективного управления и использования информационных ресурсов по РП.

Работу проектируемой ИС можно описать как четкую последовательность действий, представленную в виде алгоритмической модели на рисунке 1.

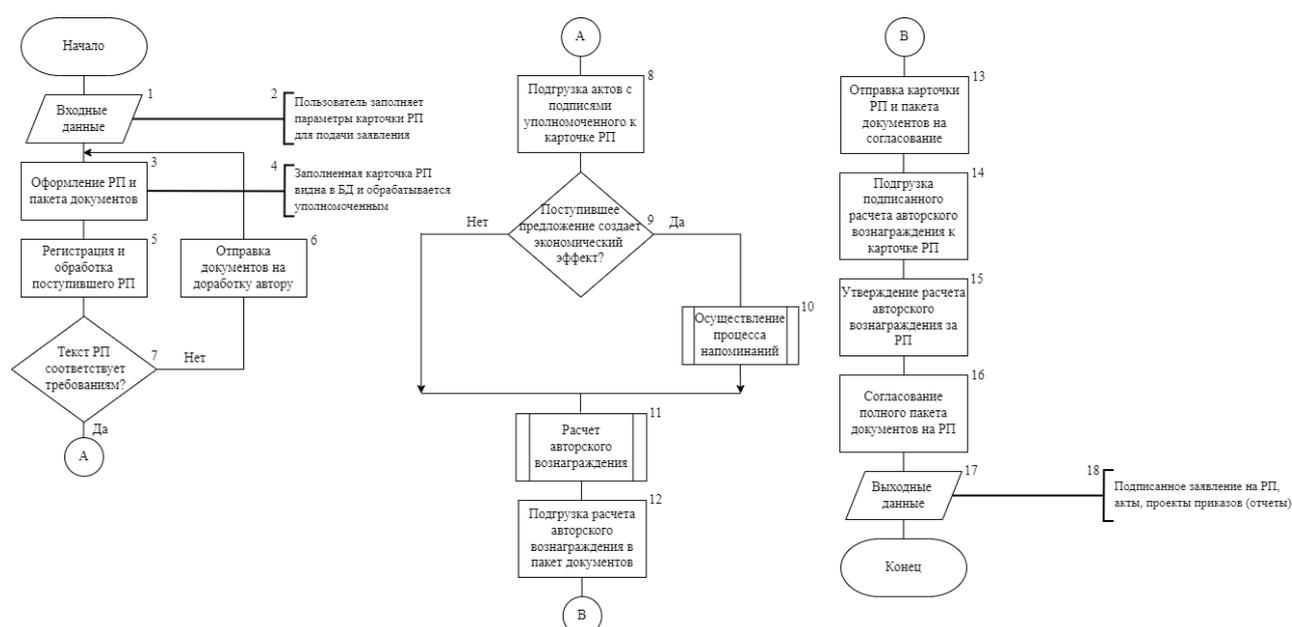


Рис. 1. Алгоритмическая модель информационной системы

1. Модельный закон о рационализаторской деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kpfu.ru/portal/docs/F369153262/6..Modelnyj.zakon.po.racionalizacii.pdf>
2. Система электронного документооборота DocsVision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docsvision.com/>
3. Directum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.directum.ru/>

ПРОБЛЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ РЕЦИДИВИРУЮЩЕЙ ГЛИАЛЬНОЙ ОПУХОЛИ ОТ НЕКРОЗА ПО МРТ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Сурова Е. Е.^{1,2}, Аскарова Е.Ф.^{1,2}, Соловьева С.Н.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ ООО Научно-исследовательский центр «Авантренд», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: liza_askarova@mail.ru

PROBLEMS OF DIFFERENTIATION OF RECURRENT GLIAL TUMOR FROM NECROSIS BY MRI IMAGES

Surova E. E.^{1,2}, Askarova E.F.^{1,2}, Solovieva S.N.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ LLC Research Center «Avantrend», Yekaterinburg, Russia

This paper discusses the problems of diagnosing necrosis and recurrence of glial brain tumors and ways to solve these problems.

В настоящее время стандартом лечения глиальных опухолей является хирургическая резекция с последующим облучением [1]. Тем не менее, не смотря на терапию, у большинства пациентов наблюдается осложнения – рецидив глиомы или образование некроза. По причине различия тактик их лечения, возникает необходимость в верификации рецидива и некроза.

Основная проблема заключается в отсутствии алгоритмов точной дифференциации рецидива и некроза. Неприменимость существующих моделей классификации объектов на изображениях для МРТ – изображений для дифференциации рецидива глиальных опухолей и некроза приводит к наличию проблем в области компьютерной диагностики при планировании тактики лечения.

Определение классификационного типа некроза или рецидива является задачей классификации объекта на изображении, так как входными данными являются МРТ изображения в формате DICOM. Однако существующие модели классификации объекта на изображении неприменимы к МРТ изображению рецидива глиальной опухоли головного мозга и некроза, так как один и тот же тип рецидива и постоперационного некроза может иметь многочисленные визуальные представления на МРТ изображении. Это приводит к тому, что признаки, характеризующие рецидив и некроз как объект, являются недостаточными, так как не учитывают особенности внутренней гетерогенной структуры, характерные для определенного классификационного типа рецидива глиальной опухоли головного мозга и области постоперационного некроза.

Проблемы учета сложности рассматриваемых структур возможно решить, создав сводный алгоритм, основанный на моделях распознавания рецидива и некроза. Существует модель автоматического определения границ глиальных

опухолей и анализа их текстур, которая используется для распознавания рецидива [2]. Она основана на применении методов фрактальной обработки изображения, расчета фрактальной размерности и текстурных характеристик. Однако эта модель не подходит для распознавания и анализа некроза: существует сложность в установлении границ некроза, структура рецидива глиальной опухоли и некроза различны. По этой причине необходимо разработать модель распознавания некроза, включающую автоматическую сегментацию, установление границ, определение фрактальных размерностей, текстурных характеристик, и создать алгоритм классификации на основе комбинации разработанной модели распознавания некроза и существующей модели распознавания рецидива. Разрабатываемый алгоритм поможет решить проблему выбора тактики лечения, что увеличит медиану выживаемости.

Целью работы является разработка алгоритма дифференциации рецидива глиальной опухоли и некроза.

Задачи, стоящие перед исследованием:

1. Проведение литературно-аналитического обзора структурных признаков, характеризующих некроз.
2. Оценка их преимуществ и недостатков, выбор значимых признаков.
3. Создание модели распознавания некроза
4. Создание алгоритма классификации на основе комбинации моделей распознавания некроза и рецидива глиальной опухоли.

1. McKinsey L. Goodenberger, Robert B. Jenkins., Genetics of adult glioma, Division of Laboratory Genetics, Department of Laboratory Medicine and Pathology, Mayo Clinic College of Medicine, Rochester, MN, USA (2012).
2. Соловьева С.Н., Уросова В.С. Разработка модели автоматического определения границ глиомы головного мозга, на основе комплексного метода обработки МРТ- и КТ-изображения [Текст]// Современные наукоемкие технологии. 2018. № 5. С. 83-88.

О ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДСКАЗЧИКА ПРИ ГРАВИРОВКЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Банников И. К.¹, Гольдштейн С. Л.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ilya.bannikov@urfu.ru

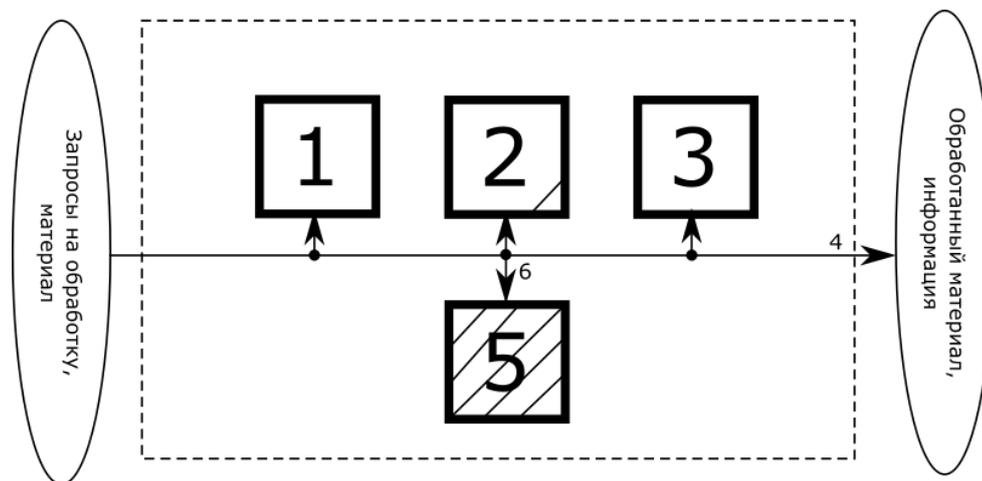
ABOUT USING THE SMART ANALYZER WHEN ENGRAVING DECORATIVE PANELS

Bannikov I. K.¹, Goldstein S. L.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A smart analyzer can be used to improve the quality of wood engraving. Concept modeling done.

В настоящее время практически в любой отрасли промышленности невозможно обойтись без умных интеллектуальных помощников. Будь то система управления станком с ЧПУ, или видеокамера, отслеживающая движение запчастей по сборочной линии, или то насколько верно люди выполняют технологический процесс. Но до сих пор остаются процессы, где не используется интеллектуальный подсказчик и человек с большей вероятностью может допускать ошибки. Гравировка по декоративной панели в мебельной промышленности является одним из таких процессов.



Предлагается в данном технологическом процессе добавить интеллектуальный подсказчик, который сможет определить параметры и материал обрабатываемого объекта, а также автоматически передать необходимые параметры обрабатываемому станку. Это позволит повысить качество продукции и облегчить труд человека. Например, подобное может сделать “коллектив” датчиков, которые

работая вместе [1] смогут дать точные данные о материале. Причем, в существующий процесс будет добавлен блок анализа данных, а сам процесс остается практически неизменным, что позволит применить предложенное решение практически в любом подобном технологическом процессе, а также повысить его надежность [2]. На рисунке представлена предварительная системно-структурная модель предлагаемого решения: штрихованные уголки (1 - блок подготовки данных, 2 - блок ввода информации о панели, 3 - блок обработки материала и информации, 5 - блок определения материала 4, 6 - интерфейсы)

1. Банников И.К., Ворманов И.А., Евсегнеев О.А., Пепелев А.М. Алгоритм управления распределенным коллективом роботов // V Международная молодежная научная конференция, посвященная памяти Почетного профессора УрФУ В.С. Коротова Физика. Технологии. Инновации. с.50 (2018)
2. Bannikov I.K., Rogovich V.I. APPLICATION OF A SWARM APPROACH IN TECHNICAL SYSTEMS TO INCREASE THE RELIABILITY OF DECISIONS, AIP Conference Proceedings 2313, 070021 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0032184>

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ЧАТ-БОТА С КОРПОРАТИВНЫМИ БАЗАМИ ЗНАНИЙ И ВНЕШНИМИ СИСТЕМАМИ

Базаров В.Ж.¹

¹) Восточносибирский государственный университет технологий и управления, г.
Улан-Удэ, Россия
E-mail: vacay.2013@mail.ru

DEVELOPMENT OF A CHATBOT INTEGRATION MODULE WITH CORPORATE KNOWLEDGE BASES AND EXTERNAL SYSTEMS

Bazarov V.Z.¹

¹) East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

The issues of using chatbots as a new tool for organizing interaction with consumers, a wide process of developing chatbots, features, problems, case studies and limitations are highlighted.

Бизнес всё больше становится клиентоориентированным, модифицируются бизнес-процессы и подходы к клиентскому сервису – появление новых технологий позволяет потребителю и его ожиданиям определять развитие компании [1].

С учетом последних достижений в области методов машинного обучения и естественных инструментов обработки языка в сочетании с наличием вычислительной мощности, расширилось применение интеллектуальных персональных помощников.

Перед компаниями возникает ряд важных задач: уметь идентифицировать и отслеживать путь клиента, формировать пул данных о нем и очень быстро отвечать на пользовательские запросы в любых цифровых каналах [2].

В качестве технических решений было выбрано:

Модуль «Сообщения» реализовано в виде приложения на NodeJS с использованием библиотек Bottender и MessagingAPI. В качестве целевых реализаций мессенджеров использованы Telegram, Viber;

Сервис «Регистрация» модуля «Настройки» включено в приложение, реализующий модуль «Сообщения», реализовано на NodeJS;

БД брокер-бота реализовано на PostgreSQL;

Для реализации всех методов, вызываемых целевыми системами, используется GraphQL-сервер Apollo, для автоматической связки БД PostgreSQL с эндпоинтами GraphQL-сервера используется библиотека PostGraphile.

Сервис «Оповещения о событиях» предназначен для формирования сообщений на основе действий пользователей в целевых системах. Сервис доступен через REST API. Для отправки сообщения целевая система должна вызвать соответствующий метод сервиса.

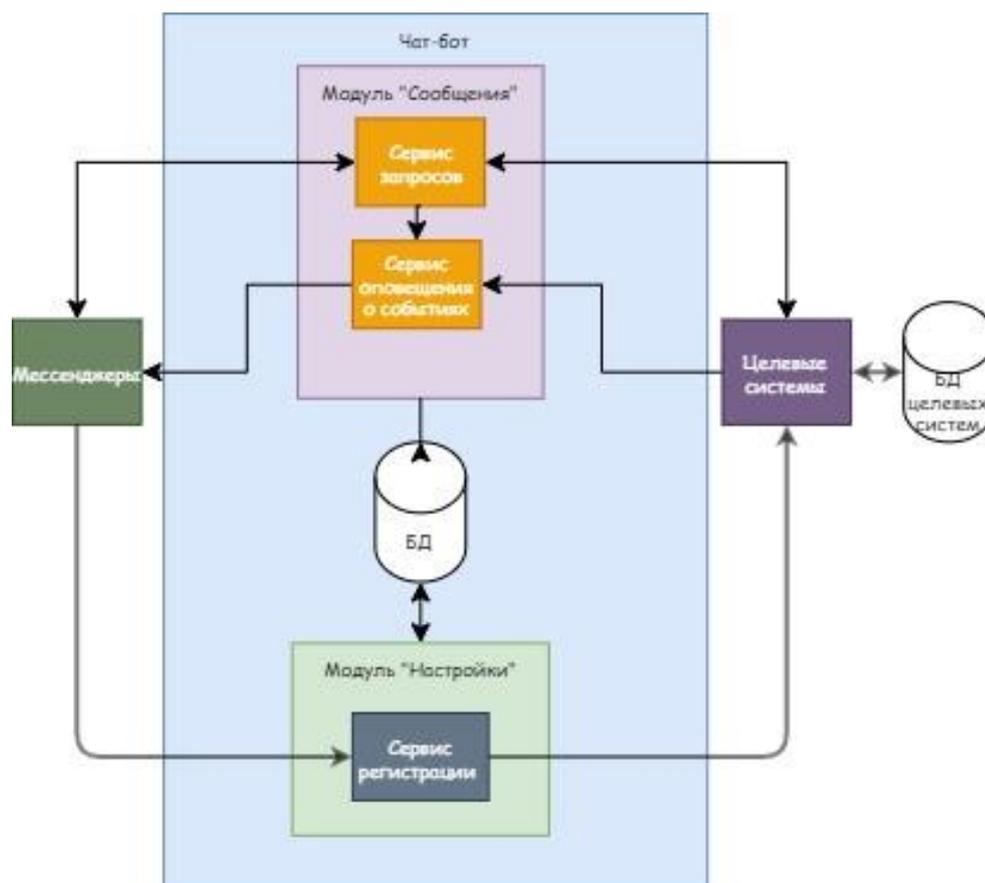


Рис.1. Архитектура модуля.

Сервис «Запросы» позволяет выводить в боте клавиатуры, содержащие пункты запросов. После вывода клавиатуры пользователь выбирает кнопку клавиатуры, нажимает ее и формирует запрос.

Сервис «Регистрация» выводит в мессенджере кнопку/команду, позволяющую записать в БД Брое-бота идентификатор пользователя в конкретном мессенджере. При этом, сопоставление идентификатора из бота с уникальным идентификатором, который будет использован в целевых системах, производится администратором.

Тестирование выполнения включает в себя необходимость бота запросить информацию для выполнения запроса пользователя после получения требования от пользователя. Главным приоритетом является проверка соответствия функциональности чат-бота требованиям и целям.

1. Caldarini, G.; Jaf, S.; McGarry, K. A Literature Survey of Recent Advances in Chatbots. Information, 4, 22, (2022)
2. Как чат-боты помогают выстраивать омниканальный опыт - <https://habr.com/ru/post/338656/> (дата обращения 20.02.2022) - Режим доступа: свободный

СТОХАСТИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ В МОДЕЛИ МЕТАПОПУЛЯЦИИ, СВЯЗЫВАЮЩЕЙ РАВНОВЕСНУЮ И ХАОТИЧЕСКУЮ ПОДСИСТЕМЫ

Беляев А.В.¹, Ряшко Л.Б.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: belyaev.alexander1337@yandex.ru

STOCHASTIC PHENOMENA IN A METAPOPULATION MODEL CONNECTING EQUILIBRIUM AND CHAOTIC SUBSYSTEMS

Belyaev A.V.¹, Ryashko L.B.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this paper, we consider a metapopulation consisting of two coupled population subsystems modeled by the Ricker map. The purpose of this study is to analyze the modes of corporate dynamics of equilibrium and chaotic subsystems, as well as noise-induced transitions from order to chaos.

В настоящее время интерес исследователей в области нелинейной динамики направлен на изучение связанных систем. Даже простые динамические системы, будучи связанными, могут демонстрировать широкое разнообразие качественно различных режимов, как регулярных, так и хаотических. В классе биологических систем особый интерес вызывает динамика популяций, связанных взаимной миграцией.

В данной работе рассматривается система, состоящая из двух связанных подсистем, моделируемых дискретным отображением Рикера. В изолированных подсистемах могут наблюдаться различные динамические режимы: равновесный, периодический и хаотический. Подробный стохастический анализ регулярной и хаотической динамики в случае двух равновесных изолированных подсистем был проведен в статье [1]. Целью же данного исследования является анализ динамических режимов корпоративной динамики при изменении интенсивности перетоков между популяционными подсистемами, первая из которых находится в равновесном режиме, а вторая – в хаотическом. Представлены и изучены аттракторы системы, проведен анализ колебательных режимов данных популяционных подсистем, построены бассейны притяжения для сосуществующих аттракторов при соответствующих значениях интенсивности связи. В дополнение к детерминированной, рассмотрена стохастическая система, учитывающая влияние случайных возмущений. Используя метод функции стохастической чувствительности, исследованы такие стохастические феномены, как индуцированные шумом переходы между аттракторами, которые порождают новые режимы поведения популяции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-11-00062).

1. A. Belyaev, I. Bashkirtseva, L. Ryashko, Ch., Sol. and Frac. 151, 111270 (2021).

РЕШЕНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПРИ РАДИАЛЬНОМ ВЫТЕСНЕНИИ ЖИДКОСТИ В ЯЧЕЙКЕ ХЕЛЕ-ШОУ

Черноскутов А.С.¹, Мартюшев Л.М.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: san4ya123@mail.ru

SOLUTION OF A NON-ISOTHERMAL PROBLEM DURING RADIAL DISPLACEMENT OF FLUID IN THE HELE-SHOW CELL

Chernoskutov A.S.¹, Martyushev L.M.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this paper, we consider the non-isothermal influence on the morphological stability of a radially displaced fluids. The equation for the perturbation amplitude is obtained.

За последние несколько десятилетий потеря устойчивости границы раздела двух жидкостей при вытеснении в ячейке Хеле-Шоу широко исследуется как теоретически, так и экспериментально [1-2].

Обычно решаются только изотермические задачи. Действительно, нам известна лишь одна работа, где численно рассмотрено влияние не изотермичности при вытеснении [3]. Вместе с тем, подобная тема важна, поскольку, хорошо известно, что температура жидкости прямо влияет на вязкость, которая, в свою очередь, непосредственно влияет на устойчивость границы при вытеснении. Исходя из этого, целью работы стало аналитическое решение данной задачи.

Рассмотрим ячейку Хеле-Шоу. Пусть имеются две пластины, расстояние между которыми b . Цифрой "2" будем указывать вытесняемую жидкость, а цифрой "1" вытесняющую. Радиус внешней границы R_∞ . Радиус, через который поступает жидкость, R_0 . На невозмущенный радиус накладывается возмущение с амплитудой δ и модой n .

Будем считать, что две жидкости несмешивающиеся, несжимаемые с разной теплопроводностью λ_1 и λ_2 соответственно. Считаем, что менее вязкая жидкость вытесняет более вязкую (вязкости η_1 и η_2 , соответственно). Будем рассматривать медленное квазистационарное радиальное вытеснение одной жидкости другой. Через отверстие (радиусом R_0) в центре круглой ячейки поступает вытесняющая жидкость с постоянным расходом Q и некоторой температурой T_0 . Движение и распределение тепла рассматривается квазидвумерным, т.е. все характеристики потока усреднены по толщине. На границе ячейки R_∞ температура жидкости равна T_∞ ($T_0 > T_\infty$), а ее давление считается нулевым ($p_\infty=0$).

В этом случае, вязкость будет являться функцией температуры. В данной работе использовано одно из приближений для зависимости вязкости от температуры, так называемая, формула Слотта [4].

Считается, что распределение температуры в жидкости, как и давление, подчиняется уравнению Лапласа. Следуя подходу, представленному в [2,5], представим давление и температуру степенным рядом, при этом ограничимся только первым порядком по δ . Разложим в ряд Тейлора каждое слагаемое вблизи R (невозмущенная граница). Подставим данное разложение в уравнения, а затем, приравняв коэффициенты в получившихся выражениях при нулевом и при первом порядке по δ , получим решение в нулевом и линейном порядке.

Полученное уравнение позволяет определить и проанализировать поведение критического размера морфологической устойчивости при изменении температур и других параметров задачи.

На рис.1 приведено возможное поведение давления, полученное на основе полученных аналитических формул в нулевом порядке.

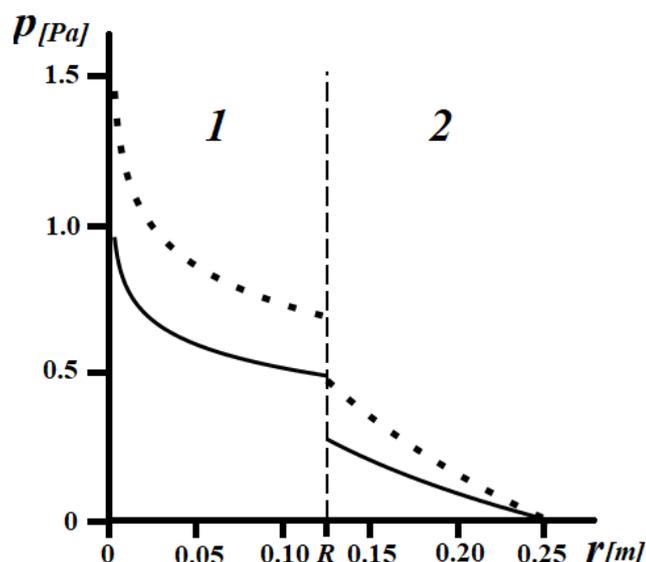


Рис. 1. Зависимость давления от радиуса. Линией обозначена зависимость с учетом изменения температуры, а точками - без учета изменения температуры [2]).

Данные зависимости (рис.1) получены при следующих параметрах: $T_{\infty}=20$ °C, $T_0=20$ °C, $R_0=2$ mm, $R_{\infty}=250$ mm, $R=125$ mm, $Q \cdot b=0.1$ ml/c, $\lambda_1=0.519$ W/m·°C, $\lambda_2=0.167$ W/m·°C, $b=2$ mm, $\sigma=26.6 \cdot 10^{-3}$ N/m. Функции для вязкости выбраны для ПМС-5 и водного раствора глицерина (40%), соответственно.

1. P. G. Saffman and G. I. Taylor, Proc. R. Soc. London A 245, 312 (1958)
2. L. M. Martyushev and A. I. Birzina, Tech. Phys. Letter, 34(3), 213 (2008)
3. S. J. Jackson, H. Power and D. Giddings, Computers and Fluids, 156, 621 (2017)
4. Winslow h. Herschel, Ind. Eng. Chem., 14, 8 (1922)
5. A. S. Chernoskutov, L. M. Martyushev, Physics of Fluids, 33(4), 044103 (2021)

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ

Давыдов Д.Р.¹, Антонов Д.О.¹, Ковалева Е.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: danil.davydov@urfu.me

MACHINE LEARNING FOR THE ANALYSIS OF DYNAMIC ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE SPECTRA OF pH-SENSITIVE NITROXIDE RADICALS

Davydov D.R.¹, Antonov D.O.¹, Kovaleva E.G.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this study, two architectures of neural networks have been developed and compared in order to split the dynamic spectra of electron paramagnetic resonance (EPR) into EPR spectra arising from pH-sensitive nitroxide radicals with different mobility.

За последние несколько лет, алгоритмы машинного обучения, в частности, нейронные сети, охватывают все большие области деятельности человека. Данное утверждение справедливо и в отношении спектроскопии. Наиболее активное применение машинного обучения проявляется в Рамановской спектроскопии [1], рентгеновской [2], спектроскопии ядерного магнитного резонанса [3] и во многих других типов спектроскопии, нацеленных на проведение анализа химических соединений и поверхностей твердофазных материалов. Однако, примеров использования алгоритмов машинного обучения в области ЭПР спектроскопии, в частности, в анализе динамических спектров ЭПР pH-чувствительных нитроксильных радикалов (НР), спектры которых имеют сложную форму, на данный момент не имеется.

В данной работе разработаны архитектуры нейронных сетей и их обучение с целью анализа динамических спектров ЭПР сложной формы. Были разработаны и обучены 2 вида нейронных сетей - сверточная и полносвязная нейронные сети. Эффективность анализа нейронных сетей проверена на экспериментальных спектрах ЭПР НР как спиновых зондов, введенных в природный нанотрубчатый галлуазитный материал и в мезопористое молекулярное сито (ММС) SBA-15 (см. рисунок 1).

Результаты работы могут быть полезны исследователям, занимающимся синтезом и исследованием свойств пористых и наноструктурированных систем.

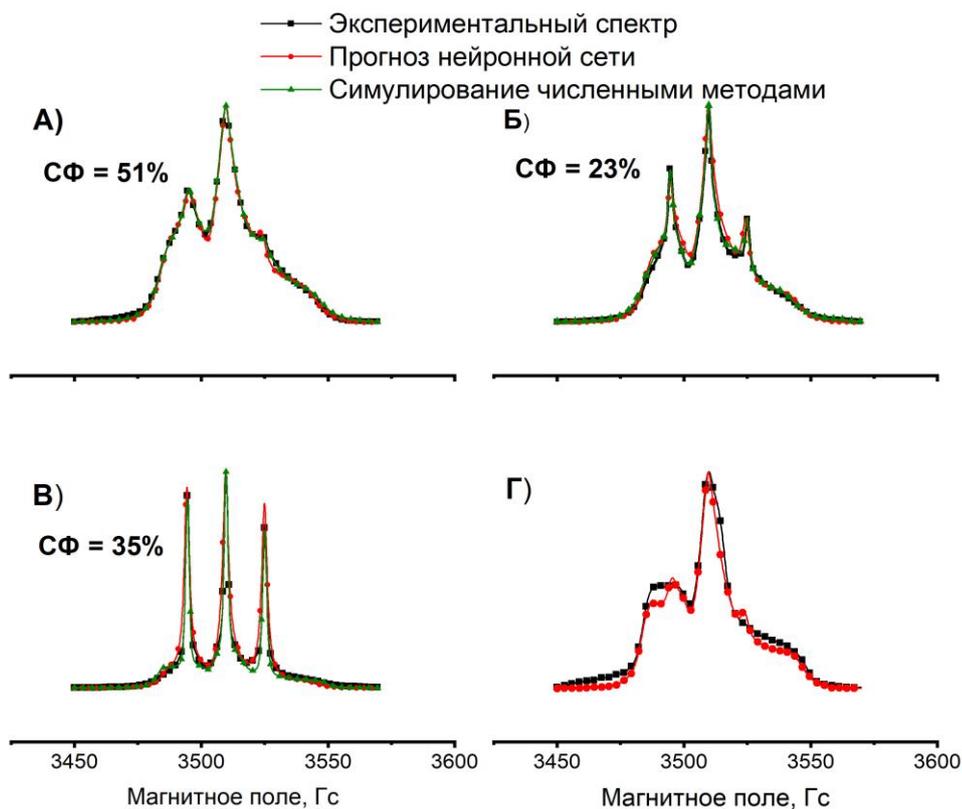


Рис. 1. Сравнение полученных спектров для разных материалов. А-В) галлуазит с различной степенью функционализации (СФ); Г) SBA-15.

Исследование проведено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований грант № 18-29-12129мк.

1. Zhang, R. et al. Transfer-learning-based Raman spectra identification. *Journal of Raman Spectroscopy*, (2020), 51(1), 176-186.
2. Trejo, O. et al. Elucidating the Evolving Atomic Structure in Atomic Layer Deposition Reactions with in situ XANES and Machine Learning. *Chemistry of Materials*, (2019), 31(21), 8937-8947.
3. Kang, D. et al. Predicting the components and types of kerogen in shale by combining machine learning with NMR spectra. *Fuel*, (2021), 290, 120006.

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ ИТ-СПЕЦИАЛИСТА И ЕГО РУКОВОДИТЕЛЯ

Донцов О.Г.¹, Гольдштейн С.Л.¹, Грицюк Е.М.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Свердловский областной онкологический диспансер, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: oleg.dontsov@urfu.ru

ON THE INTERACTION OF INFORMATION PRODUCTS OF THE IT SPECIALIST AND HIS MANAGER

Dontsov O.G.¹, Goldshtein S.L.¹, Gricjuk E.M.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary, Yekaterinburg, Russia

The article describes the model of interaction between the participants in the dialogue of IT specialist and his manager.

Для участников диалога, например, в варианте «начальник – подчиненный» [1], как базового звена многоуровневого управления, полезна динамическая модель:

$$dx/dt=a_1 \cdot xy-a_2 \cdot x, \quad dy/dt=b_1 \cdot xy-b_2 \cdot x^2-b_3 \cdot y$$

где t – время, $x(t)$ – динамика продукта подчиненного, $y(t)$ – динамика продукта начальника, $a_1 \cdot xy$ – сколько продукта и какого качества следует производить подчиненному, $-a_2 \cdot x$ – устаревание продукта подчиненного, $b_1 \cdot xy$ – взаимокоррекция продуктов, $-b_2 \cdot x^2$ – затраты начальника на анализ продукта подчиненного, $-b_3 \cdot y$ – устаревание продукта начальника.

На рисунке рассмотрены 4 примера ситуаций в виде фазовых портретов:

1) После приказа подчиненный, не получая новых приказов уменьшает динамику своего продукта.

2) Если необходимость продукта подчиненного возрастает (a_1), то его динамика возрастает больше при соответственном приказе от начальника

3) Если устаревание продукта начальника (b_3) будет выше, чем взаимокоррекция продуктов (b_1), то динамика продукта подчиненного практически не меняется, так как достаточно мало времени на старение, когда подчиненный не успевает выполнять распоряжение начальника

4) Если затраты начальника на анализ продукта подчиненного (b_2) будут больше, чем взаимокоррекция продуктов (b_1), то возникает ситуация, когда появляется много указаний от начальника, что в какой-то момент приводит к резкому падению динамики продукта подчиненного.

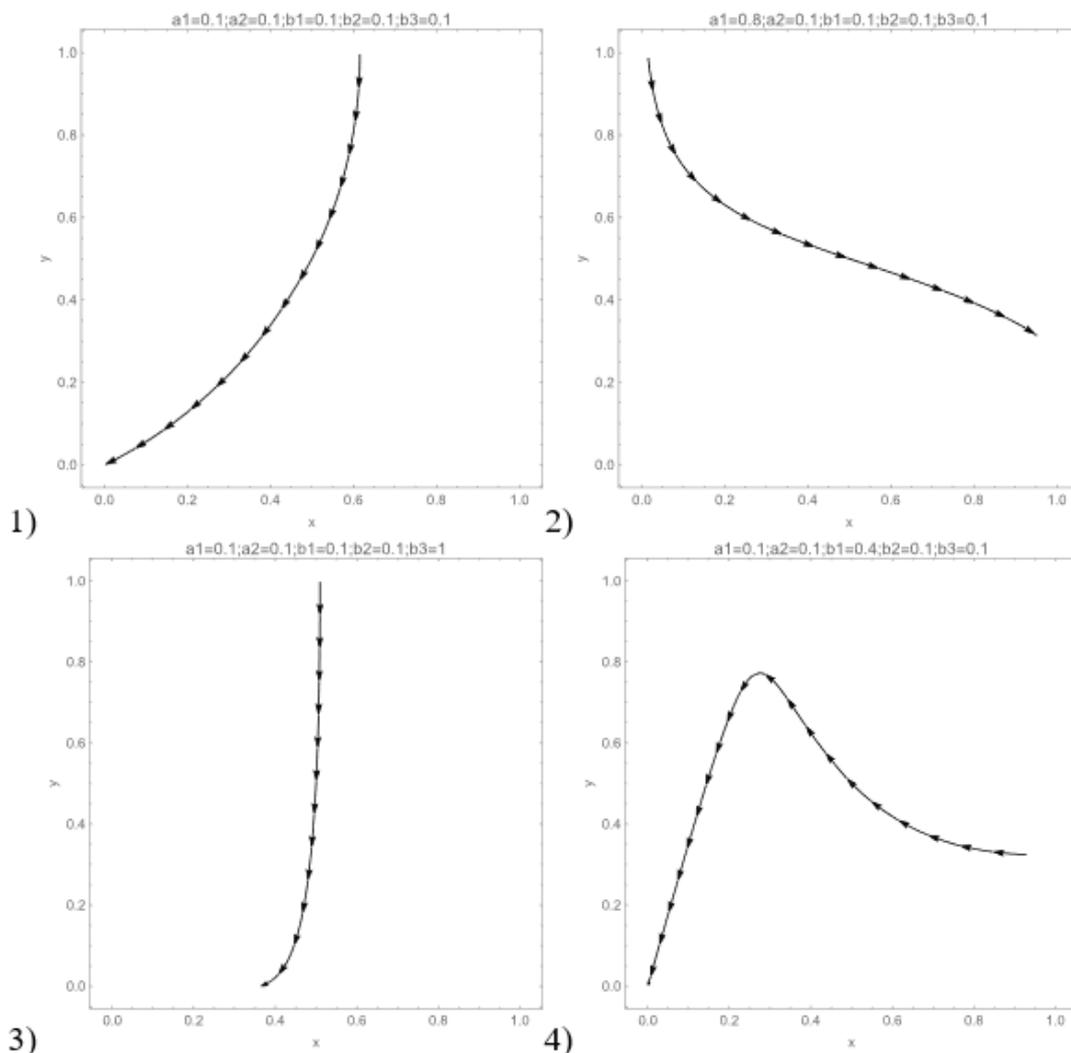


Рис. 1. Примеры фазовых портретов.

Рассмотренная модель может служить предпосылкой для перехода к модели многоуровневого управления, например, как в ссылке [2], тогда обе модели дают полное представление о задаче.

1. Милованов В.П. Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация / В. П. Милованов – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 264 с.
2. Печеркин С.С. Устойчивость, стимулируемость и распределенность многоуровневого управления: постановка задачи / С. С. Печеркин, С. Л. Гольдштейн, С. В. Кабанова, А. И. Короткий // Материалы III международного НПС «Интеллектуальные информационные технологии в управленческой деятельности». – Екатеринбург: ИПК УГТУ-УПИ, 2001. – С.244–253.

ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПАТОГЕНЕЗА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЯЗЫКАХ

Дордюк В.Д.^{1,2}, Демичева Е.И.^{1,2}, Ушенин К.С.^{1,2}

¹⁾ Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: fimby@mail.ru

DESCRIPTION OF PATHOGENESIS MECHANISMS USING METHODS OF NATURAL LANGUAGE PROCESSING

Dordyuk V.D.^{1,2}, Demicheva E.I.^{1,2}, Ushenin K.S.^{1,2}

¹⁾ Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The paper presents an analysis of differential gene expression using modern natural language processing methods. Various types of the BERT pre-trained language model as well as Doc2vec were used in the work.

На сегодняшний день известно множество методов обработки и анализа данных дифференциальной экспрессии генов, таких как метод главных компонент или диаграммы Венна. Однако, данные методы не используют современные подходы машинного обучения, которые позволяют работать с большими объемами данных. В данной работе был проведен анализ дифференциальной экспрессии генов с применением методов обработки текстов на естественных языках. Были использованы предобученные варианты языковой модели BERT, включающие: Bio_ClinicalBERT [1], BioBERT [2], BlueBERT [3], а также модель Doc2vec [4]. В качестве исходных данных использовались описания функций 12000 генов, а также имена биологических процессов из базы Gene Ontology, в которых эти гены участвуют. Функции генов были представлены как вектора в семантических пространствах, теги Gene Ontology и аббревиатуры были закодированы в виде бинарных векторов признаков. Объединенные вектора признаков прошли кластеризацию с помощью одного из методов: agglomerative clustering, HDBSCAN, K-means. Качество кластеризации оценивалось по параметрам Silhouette score и Davies-Bouldin score. Результаты лучшей кластеризации были вручную проанализированы экспертом. По итогам работы, наилучшей моделью оказалась BlueBERT и метод кластеризации K-means. Полученные кластера генов соотносятся с физиологическими внутриклеточными процессами, в которых они участвуют.

1. Alsentzer, Emily & Murphy, John & Boag, Willie & Weng, Wei-Hung & Jin, Di & Naumann, Tristan & McDermott, Matthew. (2019). Publicly Available Clinical BERT Embeddings.
2. Jinhyuk Lee, Wonjin Yoon, Sungdong Kim, Donghyeon Kim, Sunkyu Kim, Chan Ho So, Jaewoo Kang, BioBERT: a pre-trained biomedical language representation model for biomedical text mining, *Bioinformatics*, Volume 36, Issue 4, 15 February 2020, Pages 1234–1240, <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btz682>
3. Peng, Yifan & Yan, Shankai & lu, Zhiyong. (2019). Transfer Learning in Biomedical Natural Language Processing: An Evaluation of BERT and ELMo on Ten Benchmarking Datasets. 58-65. 10.18653/v1/W19-5006.
4. Le, Quoc & Mikolov, Tomas. (2014). Distributed Representations of Sentences and Documents. 31st International Conference on Machine Learning, ICML 2014. 4.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИТ-ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДАМИ ТОПЛИВА В ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Евсеенко А.С.¹, Заплатин М.И.², Смирнов Г.Б.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург, Россия

²) АО "НПО автоматики", г. Екатеринбург, Россия

E-mail: 281200naskaa@gmail.com

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF IT SUPPORT FOR THE PROCESS OF DESIGNING A FUEL CONSUMPTION CONTROL SYSTEM IN LIQUID ROCKET ENGINES

Evseenko A.S.¹, Zaplatin M.I.², Smirnov G.B.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) AO "NPO automation", Yekaterinburg, Russia

Development of an IT support structure for the process of designing a fuel consumption management system in liquid rocket engines, which is a mathematical model of the SURT and a service where the operation of the system, the process of processing and storing data, displaying test results on graphs.

Одной из важных задач управления работой двигательных установок является задача управления расходом ракетного топлива, которая возлагается на систему управления расходом топлива. Система управления расходом топлива (СУРТ) предназначена для обеспечения эффективного и оптимального использования располагаемого запаса топлива в полете ракеты. СУРТ должна обеспечивать выполнение следующих требований в процессе полета ракеты-носителя (РН) [1]:

- синхронность выработки компонентов топлива на момент выключения двигательной установки;
- регулирование коэффициента соотношения массовых расходов компонентов топлива относительно номинального значения;
- обеспечение заданной циклограммы режима работы жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) по тяге.

Для подтверждения выполнения заданных требований нужно проведение математического моделирования на этапе проектирования СУРТ, которое позволит оценить точность работы реальной системы регулирования соотношения компонентов и получить информацию о расходах компонентов, а также проводить перенастройку номинала коэффициента соотношения расходов.

Для анализа и отбора информации были выделены следующие ключевые слова, по которым производился поиск: система управления, расход топлива, control system, fuel consumption, flow sensors. Найден патент «Комбинированная

система управления расходом топлива ракетной двигательной установки с многократным включением» [2], который выбран в качестве прототипа.

Выбранный прототип является эффективным и многозадачным, но алгоритм требует максимальных затрат памяти вычислительного устройства и времени вычисления, а также не имеет алгоритмической защиты от отказов и недостоверной информации. В разрабатываемой системе реализуется алгоритмическая защита, обеспечивающая поддержание высокой эффективности работы системы при отдельных отказах в ее аппаратуре и разрабатывается ИТ-поддержка на этапе проектирования системы управления расходом топлива, которая нужна для повышения качества разработки СУРТ, оценки точности и правильности функционирования проектируемой системы управления. Также ИТ-поддержка позволит наглядно моделировать работу системы управления расходом топлива, что обеспечивает удобство проведения анализа процессов изменения регулируемых параметров, графического отображения получаемых результатов, автоматизации обработки.

Применительно к рассматриваемой задаче проектирования СУРТ можно отметить, что на текущий момент нет достаточно удобного сервиса для анализа, хранения и обработки данных, отображения результатов системы управления расходом топлива. Предлагается создать программно-математическое обеспечение (ПМО) с целью повышения уровня автоматизации и качества процесса проектирования СУРТ, то есть ИТ-поддержку, которая представляет собой математическую модель СУРТ и сервис, где будет промоделирована работа системы, процесс обработки и хранения данных, отображение результатов испытаний на графиках. На рис. 1 представлена модель ПМО СУРТ.

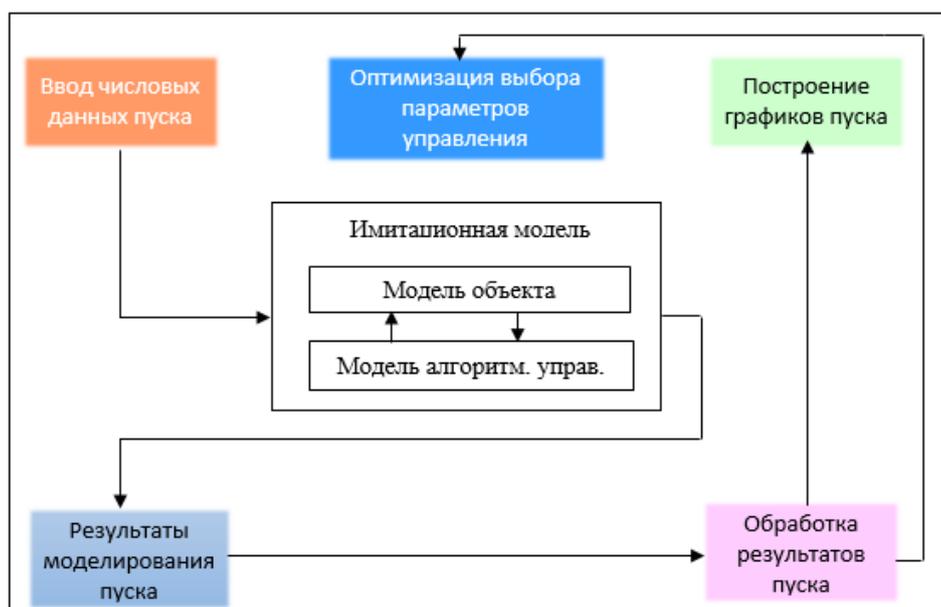


Рис. 1. Модель ПМО СУРТ

1. И.М. Игдалов, Ракета как объект управления: Учебник – Д.:АРТ-ПРЕСС, 481-492 (2004).
2. Ю.О. Бахвалов, В.П. Иванов, В.П. Молочев, И.С. Партола, Г.В. Семенов, Комбинированная система управления расходом топлива ракетной двигательной установки с многократным включением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f2/a5/55/2efbbc67bd86f5/RU2492122C2.pdf>.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

Фадеева А.Д.¹, Касатиков Н.Н.¹

¹Московский Авиационный институт (НИУ), г. Москва, Россия
E-mail: an314@mail.ru

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CREATING DIGITAL TWINS OF THE EARTH MODEL

Fadeeva A.D.¹, Kasatikov N.N.¹

¹Moscow Aviation Institute (NRU), Moscow, Russia

The report discusses the possibilities of using digital twins for monitoring territories on satellite images, describes the model for using the Cesium library in conjunction with neural networks, and provides examples of including 3D models in the developed solution.

Развитие информационных технологий и искусственного интеллекта привело к упрощению многих процессов для финальных пользователей программы. В настоящее время для реализации контроля производства и каких-либо задач [1] (в частности, мониторинга строительства объектов и эксплуатации разнообразных сооружений) достаточно просто иметь персональный компьютер и оператора, которому уже не нужно выезжать и проверять объекты лично, затрачивая на этот процесс силы и время.

В связи с этим представляется актуальным использование так называемого цифрового двойника в гибридной связи с методами нейронных сетей.

Цель работы – мониторинг территорий на спутниковых снимках. Для этого была выбрана открытая библиотека Cesium, позволяющая создавать трехмерные модели Земли и карты мира, а также загружать необходимые спутниковые изображения для визуализации. Данный цифровой двойник выполняет функцию простого школьного глобуса, на который возможно нанести интересные заказчиков и потребителей изображения.

Иначе говоря, данная программа играет роль просмотрщика.

В своей работе для решения задач контроля эксплуатации объектов дорожной сети и инфраструктуры зданий мы интегрировали созданные нами нейронные сети в Cesium. Таким образом, данное решение позволяет контролировать заданные объекты в режиме реального времени [2]. С помощью корректной работы программы, а также оперативной связи с операторами, которые будут подгружать на цифровую модель местности снимки для нужных территорий, можно быстро решать проблемы естественных воздействий природы на приближенную к объектам государственной важности территорию.

Более того, важно отметить, что для контроля строительства идеально подойдет связь цифрового двойника, нейронных сетей и 3D моделей на основе

открытого исходного кода Cesium. Данная технология имеет перспективы при создании цифровых двойников городов, аккумулирующих всю городскую инфраструктуру. Кроме технологии Digital Twin и методов нейронных сетей, представляется необходимым присутствие данных, полученных при помощи IoT-датчиков [3]. Описанная технология [4] позволит быстро реагировать на серьезные антропогенные изменения, произошедшие на заданном участке.

На момент выступления программа позволяет на цифровой модели рельефа автоматически, без помощи оператора выявлять дорожную сеть, здания, гидрографию, растительность, что экономит трудовые ресурсы и позволяет сократить количество операторов, задействованных для выполнения этой задачи.

1. Касатиков Н.Н., Фадеева А.Д., Брехов О.М., Цибин А.В., Белоногова Е.А. Практическое создание системы для составления данных устройств Интернет-вещей 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» 20th International Conference «Aviation and Cosmonautics» (AviaSpace-2021) Тезисы с.221
2. Касатиков Н.Н. , Толмачев С.А. , Рогожин М.Е. , Гомозов О.А. , Макеров М.И. , Токарев А.В. , Фадеева А Д , Сытов А О , Кудрявцев А.В. Обработка изображений на спутниковых снимках с помощью нейронных сетей. Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 15–19 ноября 2021 г. Электронный сборник материалов конференции с. 90
3. Nikolay Kasatikov, Oleg Brekhov, Alexander Sytov and Ekaterina Milovanova Leveraging the Internet of Things for Energy Applications E3S Web Conf. Volume 289, 2021
4. Касатиков Н.Н. , Брехов О.М. , Желаннов С.А. , Цибин А.В. , Гомозов О.А. , Кузьмин Г.В. , Фадеева А Д Формирование цифровых двойников в урбанизированных территориях с использованием методов городских вычислений Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 15–19 ноября 2021 г. Электронный сборник материалов конференции с.30

РАЗРАБОТКА КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКА RAW С КАМЕРЫ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА В СТАНДАРТНОЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО

Фатеев А.С.¹

¹) Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия
E-mail: fateev.as@phystech.edu

DEVELOPMENT OF A CONVERTER FOR TRANSFORMING A RAW VIDEO STREAM FROM A VISIBLE RANGE CAMERA INTO A STANDARD COLORIMETRIC COLOR SPACE

Fateev A.S.¹

¹) Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

In this study, the development of a converter for converting raw images to sRGB is considered. The main stages of transformation are described and implemented.

В современных системах, где требуется изображение не только хорошего качества, но и с высокой детализацией, например, для распознавания объектов, вместо IP-камер используют промышленные камеры. Данный вид камер предназначен для работы в среде с высокой пропускной способностью и обеспечивает оптимальное качество видео без сжатия.

В докладе рассматривается разработка конвертера для потока данных формата RAW с камеры видимого диапазона VIS.01-252Q-7030-xFL на базе сенсора IMX252LQR, на контроллере Z7030B, с интерфейсом PCIe. Камера разрабатывается лабораторией систем специального назначения МФТИ.

Конвертер осуществляет преобразование данных формата RAW. Данное преобразование необходимо для превращения необработанных данных изображения в стандартный формат, который понимают программы для редактирования и просмотра изображений, а также устройства для работы с ними. Обычно для этого используется колориметрическое цветовое пространство sRGB[2].

Преобразование RAW изображения в sRGB можно разделить на следующие базовые этапы [1]. Первый этап – получение линейных данных с камеры. Данные выдаются по PCIe в виде последовательности 32-битных слов. В полученных данных есть дополнительная информация о текущем кадре которую необходимо игнорировать в части преобразования и обрабатывать отдельно. Второй этап – нормализация данных и баланс белого. Полученный кадр содержит информацию 12 бит, 4 бита нули. Необходимо масштабировать данные до 16 бит. Следующий шаг – применить баланс белого к линейным данным, умножив каждый R,G,B пиксель соответствующий коэффициент. Третий этап - дебаризация и коррекция цветов. Разделение красных, зелёных и синих пикселей, на отдельные

полноразмерные цветовые плоскости, путем аппроксимации отсутствующих данных. После необходимо провести коррекцию цветов. Последний четвертый этап - применение гаммы в зависимости от выбранного цветового пространства. В базовом преобразовании raw изображений процесс остается линейным до самого последнего этапа.

В результате реализации и выполнения всех этапов преобразования было получено изображение в стандартном колориметрическом цветовом пространстве sRGB, которое понимают программы для редактирования и просмотра изображений, а также устройства для работы с ними.

1. Zhilu Zhang, Haolin Wang, Ming Liu, Ruohao Wang, Jiawei Zhang, Wangmeng Zuo, Learning RAW-to-sRGB Mappings with Inaccurately Aligned Supervision, (2021)
2. Andy Rowlands, Physics of Digital Photography Hardcover, Pages 3-1 to 3-72 (2020)

УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Калиева А.А.¹, Бекетов Г.Ш.², Куракбай М.Б.²

¹) Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Нур-Султан,
Казахстан

²) Баишев Университет, Актобе, Казахстан
E-mail: aiman_93kz@mail.ru

INSTABILITY CONTROL IN AIRCRAFT AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

Kaliyeva A.A.¹, Beketov G.Sh.², Kyrakbai M.B.²

¹) L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²) Baishev University, Aktobe, Kazakhstan

In general, an aircraft as a solid is described by a system of nonlinear non-stationary differential equations. This system includes the equations of motion of the center of mass, the equations of motion relative to the center of mass and kinematic equations.

Система уравнений летательного аппарата (БПЛА) не решается аналитически и непригодна для создания каких-либо общих методик анализа и синтеза систем автоматического управления. С целью разработки таких методик прибегают к определенным упрощениям исходной системы дифференциальных уравнений.

Прежде всего движение летательного аппарата рассматривается в какой-то конкретный момент времени и в ближайшей окрестности его. Все коэффициенты системы дифференциальных уравнений становятся постоянными, и система в дальнейшем рассматривается как стационарная. Такой метод, когда движение объекта рассматривается в некотором множестве точек траектории, называют методом “замороженных” коэффициентов.

При определенных значениях угловых параметров движения, из которых определяющим является значение угла крена, близкое к нулю, можно пренебречь перекрестными связями между продольным и боковым движениями летательного аппарата и выделить из общей системы уравнений две системы более низкого порядка: систему уравнений продольного движения и систему уравнений бокового движения. Следующим шагом является линеаризация полученных систем по методу малого отклонения.

При учете того обстоятельства, что при действии на летательный аппарат различных возмущений, в том числе и отклонения руля высоты, скорость полета изменяется намного медленнее угловых координат, можно пренебречь вариациями скорости за время изменения угловых величин.

Неустойчивость летательного аппарата при угловом (коротко периодическом) продольном движении недопустима. Это объясняется тем, что при частоте колебаний с выше 0.3....0.4 Гц летчик (оператор, в случае БПЛА) в силу запаздывания

реакции не может своевременно и правильно отклонять органы управления для парирования колебаний и, в определенных условиях, может даже усиливать колебания, раскачивая летательный аппарат.

Исследования показывают, что летчик может обеспечить хорошие динамические качества всей системы, только если летательный аппарат обладает такими характеристиками устойчивости и управляемости, при которых потребные для этого возможности летчика не превосходят им реализуемые [1-5].

Следовательно, летчик может успешно пилотировать не всякий летательный аппарат, а лишь такой, который обладает достаточно хорошими динамическими характеристиками. Поскольку динамические характеристики летчика ограничены и улучшить их невозможно, то согласование указанных характеристик летчика и летательного аппарата возможно лишь за счет обеспечения необходимых характеристик летательного аппарата.

Таким образом, предложенный градиентно-скоростной метод вектор-функций Ляпунова позволит определить области робастной устойчивости. Система управления, построенная в классе однопараметрических структурно-устойчивых отображений, будет устойчивой в неограниченно широких пределах изменения неопределенных параметров объекта управления.

1. Гусев А.Н., Основы теории автоматического управления: Учеб. пособие/ Самар, гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2001. 164с.
2. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. М.: Наука, 1973. 560с.
3. Шустер Г. Детерминированным хаос: Введение: Пер. с англ. – М. Мир, 1988. – 240 с.
4. Бейсенби М.А. Модели и методы системного анализа и управление детерминированным хаосом в экономике. Астана, 2011,-201 с.
5. Бейсенби М.А. Методы повышения потенциала робастной устойчивости систем управления. - Астана, 2011. - 352с.

ВИХРЕВЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОГО СЛОЯ ВОДЫ. ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Керекелица И.В.¹, Мартюшев Л.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ivan.kerekelica@mail.ru

VORTEX THERMAL STRUCTURES ON THE SURFACE OF A THIN LAYER OF WATER. NUMERICAL EXPERIMENT

Kerekelitsa I.V.¹, Martyushev L.M.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Simulation of convection in a thin liquid layer heated from below with the no-slip condition on the evaporation surface. Thermal structures in the form of vortices were obtained on the water surface. The range of layer sizes at which vortices appear is determined.

В тонких слоях жидкости с открытой верхней поверхностью, при подогреве слоя воды снизу, наблюдаются и исследуются различные структуры, возникающие из-за конвекции жидкости и испарения. Такие структуры можно легко наблюдать с помощью тепловизионной камеры [1].

С помощью численного моделирования удобно проводить установление диапазонов параметров, в которых можно наблюдать определенные структуры [2]. В настоящей работе стояла цель исследовать систему, которую экспериментально начали изучать в работе [1].

Постановка задачи следующая: расчетная область – слой воды цилиндрической формы с высотой от 0.5 до 0.9 см и диаметром от 4 до 8 см. Вода считается несжимаемой, а ее течение ламинарным, описываемыми уравнениями Навье-Стокса, неразрывности и состояния. На нижней и боковой поверхностях слоя задана постоянная температура 45 °С, а скорость воды обращается в ноль. Температуры над верхней поверхностью воды и начальная температура всей воды равна 25 °С. На верхней поверхности учитывается суммарный тепловой поток, который состоит из потоков за счет испарения, за счет конвекции и излучения [3]. Также на верхней поверхности задано условие прилипания (скорость воды обращается в ноль). Моделируется нестационарный нагрев слоя воды в течении 720 с. За это время тепловой поток и средняя температура на поверхности воды стабилизируется.

Численный расчет проводился в пакете Comsol Multiphysics. Расчетная сетка сформирована из тетраэдрических элементов с линейными размерами 0.5 мм и 1.2 мм на поверхности испарения и для остальной расчетной области, соответственно. Общее число элементов расчетной сетки колеблется от 450 тыс. до 900 тыс. для разных значений высоты и диаметра слоя.

В результате расчетов обнаружено, что вихревое вращающееся поле температуры (рис.1) на поверхности воды наблюдается в диапазоне высоты слоя от 0.65 см до 0.75 см, и в диапазоне диаметра от 5.5 см до 6.5 см. Вихревые структуры на фазовой диаграмме граничат с неподвижными роллами при меньших значениях диаметра и высоты слоя, и с древовидными тепловыми структурами при больших значениях.

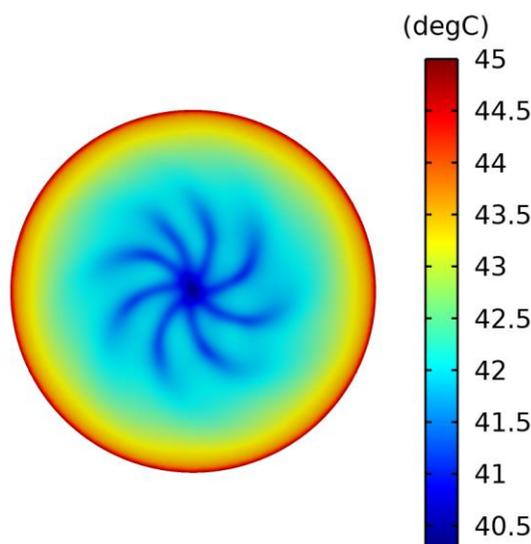


Рис. 1. Пример вращающейся тепловой структуры на поверхности слоя воды.

1. D.A. Rusova, L.M. Martyushev, AIP Conf. Proceed. 2174, 020162 (2019).
2. I.V. Kerekelitsa, K.V. Zvonarev and L. M. Martyushev, AIP Conf. Proceed. 00172 (2021).
3. E. Sparrow, G. Kratz and M. Schuerger, ASME J Heat Transfer. 105, 469–475 (1983).

АЛГОРИТМ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ НА ГРАФАХ

Халмакшинов Е.А.¹

¹) Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Улан-Удэ, Россия
E-mail: pobot3r@gmail.com

ALGORITHM FOR DATA AGGREGATION ON GRAPHS

Khalmakshinov E.A.¹

¹) East Siberian state university of technology and management, Ulan-Ude, Russia

This paper proposes an algorithm for aggregation of graph data, based on the results of analysis of other algorithms, such as: ranking, shortest path search and clustering. The developed algorithm provides a facilitation of data analysis process on graphs with attribute composition.

В настоящее время количество электронных данных растёт всё более быстрыми темпами, как по размеру, так и по возможности подключения. Данный рост способствует увеличению интереса к взаимосвязям между данными, тем самым повышая спрос на технологии, которые могут обрабатывать подобные данные [1].

Перспективность исследования данных на графах обусловлена ростом количества информации в Интернете, пополняемой пользователями сети, а это, тем самым приводит к её постепенному превращению в большую базу знаний, данные которой легче всего представить в виде взаимосвязанных блоков информации.

Основная проблема исследования заключается в визуальном представлении результатов анализа графовых данных, так как при отображении графа возникают такие проблемы как:

1. Наложение сущностей и связей. Это приводит к проблеме анализа результатов, отображаемых на графе, так как появляются сложности идентификации сущности.

2. Фильтрация по атрибутивному составу сущности. Скорость выполнения вычислений на графах существенно замедляется, если включать в запрос на получение данных атрибуты сущности.

Решением данных проблем является достижение структурированного вида данных, путём выполнения распределенного агрегирования результатов анализа данных графа.

Основной процесс обработки графов изображен на рисунке 1.

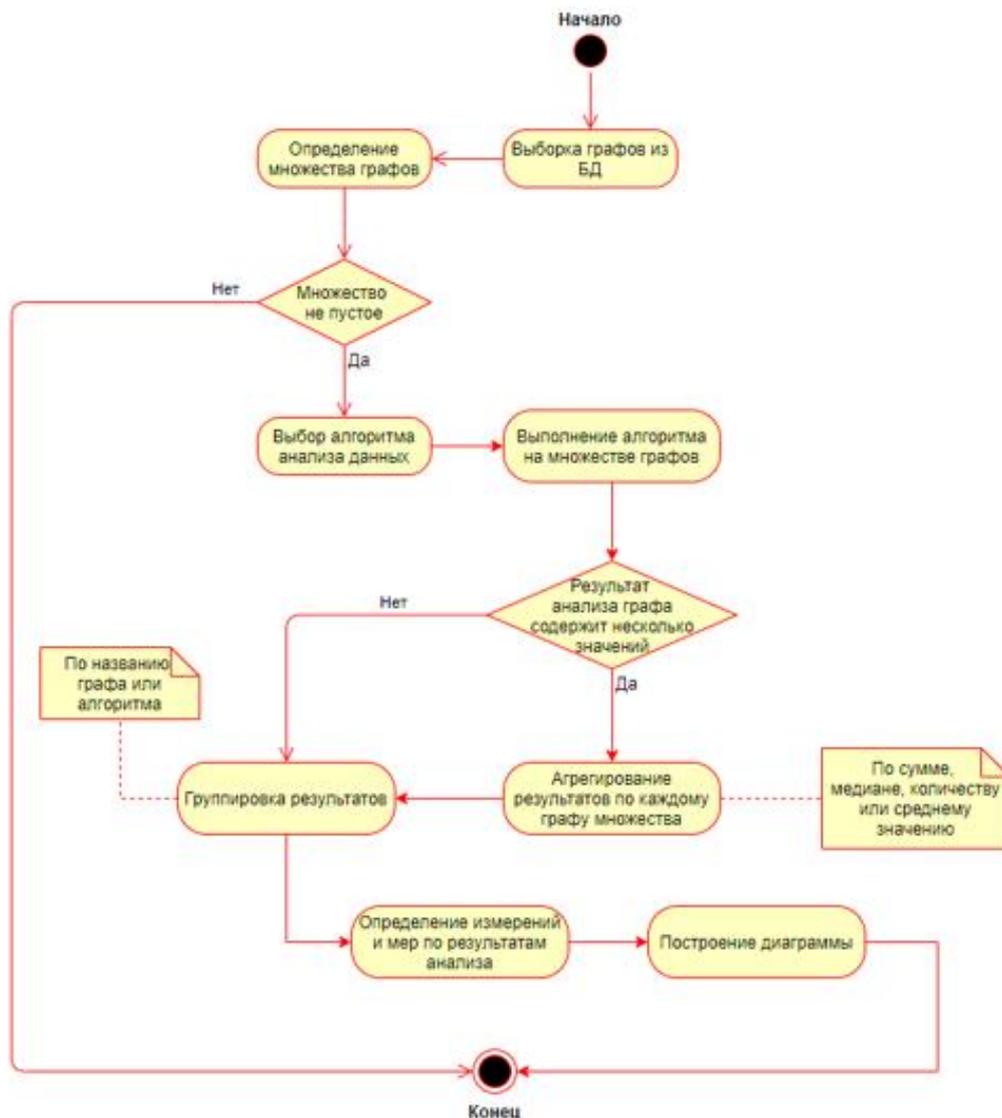


Рис. 1. Диаграмма действий алгоритма агрегации данных графа

Описание шагов выполнения:

1. Выборка графов представляет собой получение графа из базы данных.
2. Подразумевается, что в графе базы данных, полученном на первом шаге, может содержаться некоторое множество однотипных графов, то есть которые относятся к одному классу.
3. Граф базы данных может быть пустым, поэтому необходима проверка на наличие вершин, если их нет, то алгоритм завершает работу.
4. Выбор алгоритма анализа данных является одним из самых важных этапов, так как именно по его результатам воспроизводится дальнейший процесс.
5. Выбранный в предыдущем шаге алгоритм должен обрабатывать на каждом из графов выборки (пункт 2).
6. Если результат анализа на одном из графов содержит несколько значений необходимо выполнить операцию агрегирования, которая включает в себя суммирование, среднее, количество значений, а также поиск медианы. В ином случае

сразу выполняется группировка (объединение) результатов анализа по каждому графу в одно множество по названию графа или алгоритма.

7. Определение измерений и мер производится для представления значений множества из пункта 6 в виде OLAP – куба, который является структурой диаграммы.

8. Построение диаграммы производится по результатам из пункта 7.

Разработанный алгоритм предоставляет наибольшую гибкость для анализа данных, исключая проблемы наложения вершин и связей, а также отображения атрибутного состава сущностей в атрибутно-ориентированных графах.

1. Линник Е.В. Графовая аналитика для решения ключевых проблем в банковской сфере [Текст] / Молодой ученый. – 2018. – №52 (238). – С. 128-134.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ВАРИАНТОВ ВОПРОСОВ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА

Киселев В.А.¹, Евдокимов В.В.¹, Некрасов К.А.¹, Денисова О.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kiselev.vladislav@urfu.me

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED COMPLEX FOR GENERATING RANDOM VARIANTS OF QUESTIONS FOR A COLLOQUIUM

Kiselev V.A.¹, Evdokimov V.V.¹, Nekrasov K.A.¹, Denisova O.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

An automated software complex for generation of random questions for a colloquium, designed to provide a reliable test of students' knowledge in the subject "atomic physics" with a minimum expenditure of teaching resources is developed.

В настоящее время компьютерные технологии широко применяются в образовательных процессах вузов [1]. Несмотря на свои очевидные преимущества, внедрение цифрового образования имеет и существенные недостатки, особенно при попытке получить объективные сведения о знаниях студента, например, при проведении компьютерного тестирования. Основная проблема состоит в том, что, объединяясь, студенты составляют базы данных правильных ответов, размещают их в интернете, что позволяет впоследствии быстро найти вопрос вместе с ответом. Единственным способом борьбы с этим является постоянное переформулирование вопросов, т.е. переписывание тестов.

Целью работы являлась разработка программы, позволяющей генерировать случайные варианты билетов с заданным числом вопросов по курсу "Атомная физика". База данных шаблонов вопросов представлена текстовым файлом, который преподаватель может при желании самостоятельно редактировать без помощи разработчика продукта.

При запуске программа сканирует рабочую папку в поиске баз для лабораторных работ и предлагает открыть одну на выбор, что позволяет независимо создавать и передавать базы. Программа поддерживает три типа вопросов: вопрос с вставкой случайного элемента из заранее подготовленного списка; вопрос с генерацией зашумленных данных для построения графика студентом; вопрос с картинкой, в определенные места которой вставляются текстовые надписи из заранее подготовленного списка. После генерации вопросы отображаются на экране монитора с возможностью сохранения и печати варианта. Также предусмотрена генерация сразу нескольких вариантов.

Данная программа будет внедрена в образовательный процесс со следующего учебного года, что позволит существенно снизить нагрузку на преподавателя, заинтересовать студента в получении знаний, так как теперь оцениваться будут именно они, а не его способность пользоваться поисковыми системами.

1. Kostadinova, Iva & Rasheva-Yordanova, Katia & Ivanov, Ivan & Petrova, Pepa. (2017). AUTOMATED SYSTEM FOR GENERATING AND VALIDATION A LEARNING TESTS. 10.21125/iceri.2017.0160.

МОДЕЛЬ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ГАРМОНИК С МНОГОКРАТНЫМ ВЛОЖЕНИЕМ

Климов А.М.¹, Кашин И.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ak12wirexia122@gmail.com

A MACHINE LEARNING MODEL BASED ON ELEMENTARY HARMONICS WITH MULTIPLE EMBEDDINGS

Klimov A.M.¹, Kashin I.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this article we propose an original numerical scheme based on elementary harmonics, which implements the functionality of the machine learning model. The constructed model is tested on regression and classification problems.

Был построен математический конструкт, позволяющий подавать на вход определенный набор данных и однозначно извлекать из него отклик. На вход подается вектор, каждый элемент которого подается на K элементарных гармоник в качестве аргумента синуса, после чего производится суммирование по всем гармоникам каждого входного элемента и по всем элементам входного вектора. Полученная сумма становится аргументом всех имеющихся гармоник, и вычисляется новая сумма S_q , $q=1, \dots, Q$. Данная операция повторяется Q раз, последний результат которой S_Q , интерпретируется как отклик модели. В ходе работы было разработано две численные схемы: с одним выходом (single-output) и многими выходами (multi-output). Multi-output модель дополняет single-output модель дополнительными независимыми гармониками, которые позволяют единственному выходной параметр (отклик), разделить на произвольное число выходов.

Тестирование модели проводилось на классических задачах регрессии и классификации. В задаче регрессии выполнялось обучение модели для задачи сложения двух чисел и интерполирования математических функций (кривая Гаусса, экспонента, кривая Лоренца). В задаче классификации модель тестировалась на наборе данных, называемом «ирисы Фишера», в данных содержатся параметры ирисов (длина и ширина чашелистика, длина и ширина лепестка), меткой класса служили виды ирисов (0 – вид *setosa*, 1 – *versicolor*, 2 – *virginica*). А также на открытом наборе данных [1], содержащем информацию о параметрах пациентов (артериальное давление, пульс и др.), а меткой класса служило наличие сердечного заболевания (0 – пациент здоров, 1 – есть заболевание).

Предложенная модель показала эффективность в задачах регрессии выше, чем классические алгоритмы машинного обучения (линейная и логистическая

регрессии [2], деревья решений [3], градиентный бустинг [4]), а в задачах классификации на одном уровне с ними.

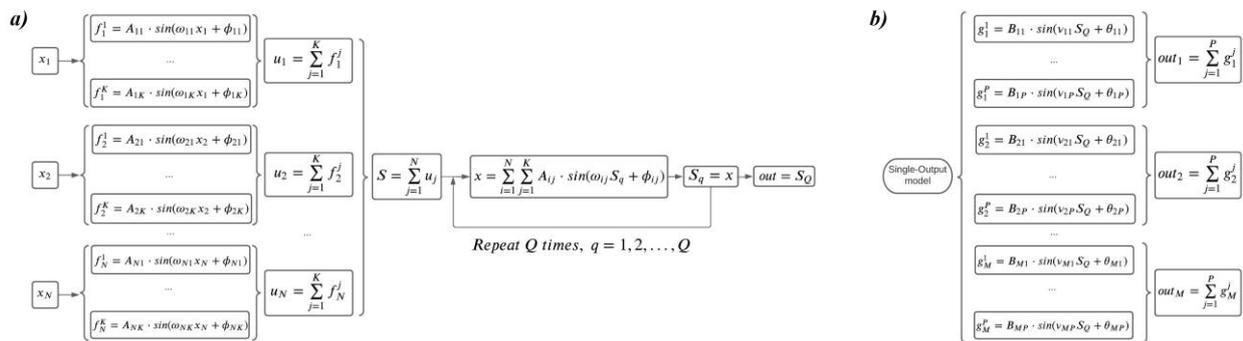


Рис. 1. (a) - Single-output архитектура. (b) - Multi-output архитектура

1. <https://www.kaggle.com/johnsmith88/heart-disease-dataset>
2. Kleinbaum D.G. (1994) Introduction to Logistic Regression. In: Logistic Regression. Statistics in the Health sciences. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4108-7_1
3. Dobra A. (2016) Decision Trees. In: Liu L., Özsu M. (eds) Encyclopedia of Database Systems. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7993-3_553-2
4. Natekin A and Knoll A (2013) Gradient boosting machines, a tutorial. Front. Neurobot. 7:21. doi: 10.3389/fnbot.2013.00021

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПАТТЕРНЫ В МОДЕЛЯХ
ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ: МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТЬ,
БАСЕЙНЫ ПРИТЯЖЕНИЯ, СТОХАСТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ**

Колениченко А.П.¹, Ряшко Л.Б.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kolinichenko.ale@gmail.com

**SPATIAL PATTERNS IN POPULATION DYNAMICS MODELS:
MULTISTABILITY, BASINS OF ATTRACTION, STOCHASTIC
TRANSITIONS**

Kolinichenko A.P.¹, Ryashko L.B.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Spatially-extended population dynamics model is considered. Within the zone of Turing instability stable non-homogeneous patterns exist. Multistability of the system in this zone is displayed. Noise-induced transitions between basins of attraction and stochastic sensitivity of patterns are discussed.

Тема исследования самоорганизации в сложных нелинейных системах в последнее время привлекает внимание многих исследователей разных областей науки [1-4]. Одно из важных направлений исследований – модели популяционной динамики. В частности, в этих моделях рассматривается феномен диффузионной неустойчивости – генерация пространственно-неоднородных устойчивых структур – паттернов.

Отдельное внимание уделяется изучению влияния случайных возмущений на происходящие в системах процессы. В стохастическом режиме в системе могут быть обнаружены феномены, не наблюдаемые без шума. Так, например, в условиях мультистабильности возможны стохастические переходы между сосуществующими паттернами-аттракторами. Этот результат говорит о разной степени стохастической чувствительности сосуществующих паттернов [5]. Подробное исследование устойчивости паттернов на данный момент является актуальной задачей нелинейной динамики.

В данной работе рассмотрена пространственная модель популяционной динамики. Методом функций стохастической чувствительности (ФСЧ) исследован разброс случайных состояний относительно паттернов-аттракторов. Показано различие стохастической чувствительности сосуществующих паттернов в зависимости от параметров системы. Также проведено исследование бассейнов притяжения паттернов при вариации параметров системы. С помощью данных численного моделирования рассмотрена связь изменения границ бассейнов,

стохастической чувствительностью паттернов и направления стохастических переходов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-11-00062).

1. G. Nicolis and I. Prigogine, Self-Organization in Nonequilibrium Systems. NY, Wiley (1977).
2. M. Cross and H. Greenside, Pattern Formation and Dynamics in Nonequilibrium Systems. Cambridge: Cambridge University Press (2009).
3. A. Kolinichenko and L. Ryashko, J. Comput. Nonlinear Dynam. 15, 011007 (2020).
4. A. Kolinichenko, A.N. Pisarchik and L. Ryashko, Phil. Tr. Royal Soc. A 378, 20190252 (2020).
5. I. Bashkirtseva, A. Kolinichenko and L. Ryashko, Chaos, Solitons & Fractals, 153, 111491 (2021).

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИКУ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕДАЧ С УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ШАРНИРАМИ

Конюшевский А.В.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: A.V.Koniushevsky@urfu.ru

TECHNOLOGICAL LOAD INFLUENCE ON THE DYNAMICS OF SPATIAL GEARS WITH UNIVERSAL JOINTS

Konyushevskiy A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Mechanical system with universal joints investigation was performed. Technological loads were added to the model and the influence of different parameters was studied. Dynamic factors of the system were calculated.

Рассмотрена пространственная передача с универсальными шарнирами машины для очистки полимерной изоляции магистральных трубопроводов. Разработаны кинематическая и динамическая модели системы, в которых учитываются кинематические особенности универсального шарнира и технологического инструмента. Создана математическая модель, которая в свою очередь, приведена к виду, удобному для реализации численными методами. С помощью специально разработанного алгоритма, реализованного на языке программирования C++, смоделирована работа шарнирной передачи.

Предметом исследования явилась динамика шарнирной передачи. С помощью созданного программного комплекса возможно изучать влияние геометрических, кинематических, силовых параметров на нагрузки в звеньях системы. Таким образом, на примере расчета фрагмента механизма машины для очистки полимерной изоляции показана возможность инженера в краткие сроки спроектировать любую систему с универсальными шарнирами, при этом максимально рациональную, отвечающую вопросам как надежности, так и экономичности.

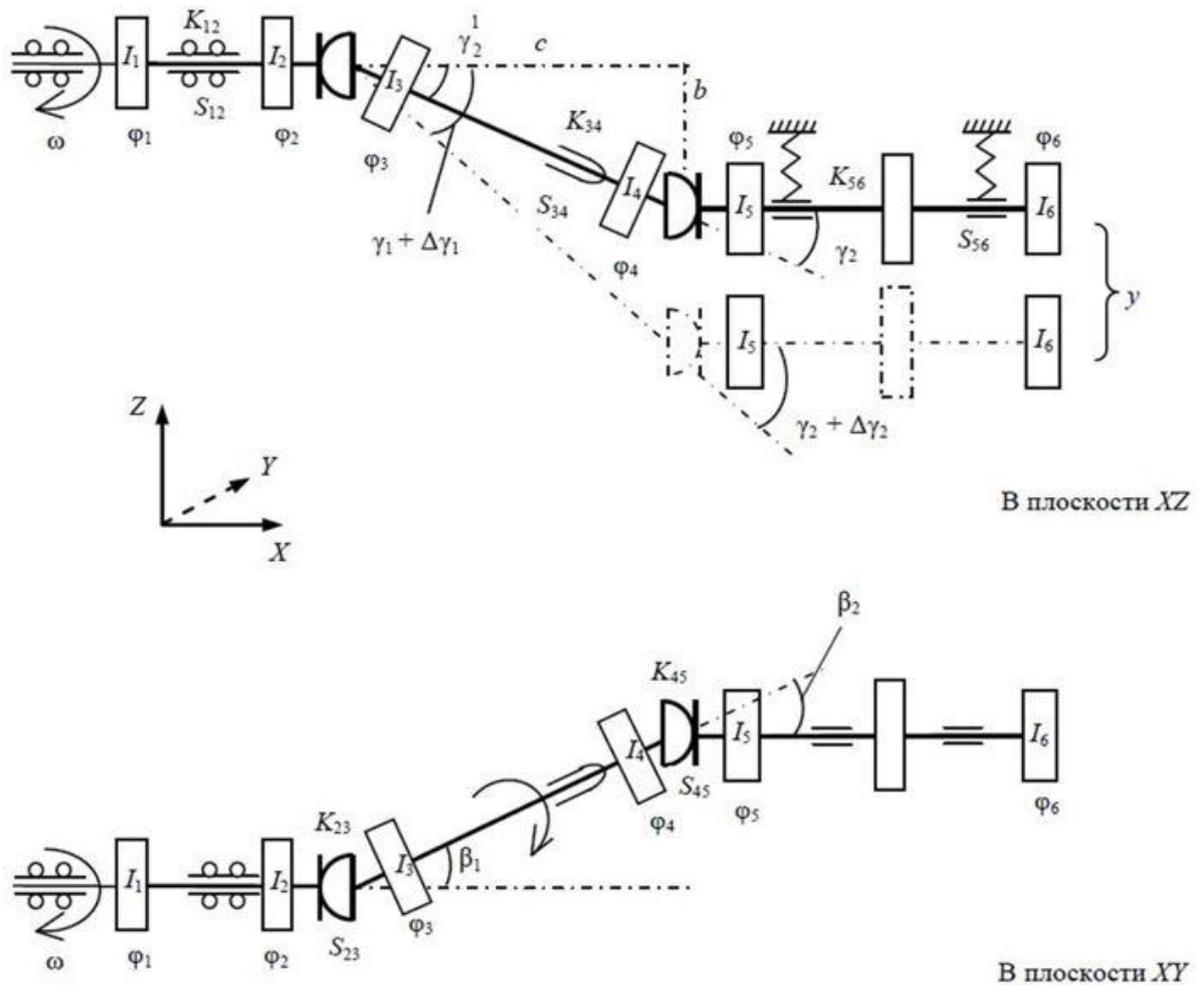


Рис. 1. Динамическая модель сдвоенной шарнирной системы

1. Поляков А.А. Устройство для очистки наружной поверхности трубопроводов / А.А. Поляков, А.А. Артемкин, Э.С. Батюшев//Авт.свид. №1814934 Б.И., 1993, №18.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ДИОКСИДА УРАНА

Костарев Г.К.¹, Бормотова О.В.¹, Некрасов К.А.¹

¹ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: football7fkural98@ya.ru

SIMULATION OF A THREE-DIMENSIONAL CRYSTAL LATTICE OF URANIUM DIOXIDE

Kostarev G.K.¹, Bormotova O.V.¹, Nekrasov K.A.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work includes a study of the behavior of the uranium dioxide crystal lattice near a vacancy. The main properties of the material and various types of deformations are considered.

Графические процессоры (GPU) на сегодняшний день являются более перспективными и оптимальными, чем центральные процессоры (CPU), с точки зрения расчетов, не связанных с построением видеографических материалов. Быстрое развитие технологий ведет за собой увеличение сложности и объемов решаемых задач, с которыми CPU справляется все менее эффективно, ведь количество ядер в процессоре и его частота изменяются в достаточно малом диапазоне значений. Метод использования GPU в качестве «расчетного конвейера» называется GPGPU (General-purpose computing on graphics processing units) и активно поддерживается основными производителями видеоадаптеров (NVIDIA, AMD).

Целью научно-исследовательской работы является моделирование трехмерной кристаллической решетки диоксида урана с последующей её релаксацией после удаления одного из атомов решетки – возникновения вакансии.

Данная работа является довольно актуальной на момент исследования, так как может быть использована в контексте топлива для атомных электростанций.

Программный код написан в приложении Microsoft Visual Studio на языке программирования C++ с использованием технологии CUDA, позволяющей применять при расчетах графический ускоритель. Так как используемая видеокарта имеет большое количество параллельных потоков, то проводимый расчет происходит гораздо быстрее, чем при последовательных алгоритмах.

1. Берилло А. А. Nvidia cuda — неграфические вычисления на графических процессорах, (2008).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ДИНАМИКИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ И ЕГО СВЯЗИ С ТЕОРИЕЙ ИГР

Ковалев А.А.¹, Кашин И.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kovalev.sashok@mail.ru

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC EQUILIBRIUM OF DYNAMICS WITH A PRELIMINARY DISTRIBUTION AND ITS RELATION TO GAME THEORY

Kovalev A.A.¹, Kashin I.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The aim of the work is to link the simulation of frustration systems with game theory, to give a qualitative description of the approach and the corresponding macro parameters.

Моделирование фрустрационных режимов является проблемной задачей, существование «противоборствующих» механизмов приводит к нетривиальным конфигурациям.

Фрустрационный режим – такая конфигурация системы, в которой энергетически предпочтительное состояние не является оптимальным для всех каналов взаимодействия одновременно. Например: спиновый лед [1].

Из теории игр известно, что в смешанных играх двух и более игроков существует такое решение, при котором ни один из игроков не может увеличить выигрыш, изменив свою стратегию в одностороннем порядке, когда другие игроки не меняют своих стратегий [2]. Открытие Джона Нэша оказало значительное влияние на социологию, экономику и другие аспекты нашей жизни.

В данной работе исследуется возможность связать моделирование фрустрационных режимов с равновесием Нэша с помощью алгоритма PEDD [3], который описывает взаимодействие конкурирующих агентов в едином конфигурационном пространстве. Также вводится понятие динамического равновесия – такого (глобального) состояния системы, при котором дальнейшее моделирование не приводит к значительному изменению полученных результатов.

1. Андерсон, П. В. (15 мая 1956 г.). «Упорядочение и антиферромагнетизм в ферритах». Физический обзор . Американское физическое общество (APS). 102 (4): 1008–1013. DOI : 10.1103 / Physrev.102.1008 . ISSN 0031-899X .
2. Захаров, А. В. Теория игр в общественных науках [Текст] : учебник для вузов / А. В. Захаров ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. — (Учебники Высшей школы экономики). — 304 с. — 1500 экз. — ISBN 978-5-7598-1180-0 (в пер.). с. 20-21

3. Predetermined equilibrium driven dynamics Kashin I.V. (Cite as: AIP Conference Proceedings 2313, 030048 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0032348> Published Online: 09 December 2020).

VISUAL METAPHORS OF MATHEMATICAL OBJECTS AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN HIGH EDUCATION

Krochin A.L.¹, Spitsin S.E.¹, Krokhin L.A.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
E-mail: alkrochin@yandex.ru

Visual metaphor serves as a graphical aid for the students in understanding the properties of mathematical objects and deriving certain theorems. All illustrative materials are stored on the author's website. So we can hand out assignments and collect reports.

Teaching of both natural and mathematical academic disciplines is accompanied by a demonstration of the graphic component. Lecturer can visualize the topics hard for student to comprehend [1]. The effectiveness of this technology has been tested and wide recognized [2]. Individual practical tasks and the possibility of in-depth self-study are also a necessary component of learning.

The online format makes significant changes to the way the educational material is presented. On the other hand, it also expands the lecturer's capabilities in terms of using multimedia tools. Especially considering the gadgets with high-quality color graphic screens and headsets.

In this report, the following scheme of organizing a teacher-student communication channel in extracurricular classes is proposed.

The material is located on two media. Firstly, there is a printed document with a detailed summary of lectures, mathematical calculations (possibly in abbreviated form) and a small number of graphic illustrations. In addition, the site stores:

- a) detailed mathematical calculations and logical justifications and conclusions made using dynamic representation technologies;
- b) high-quality color illustrations and animation [1];
- c) individual assignments and test forms;
- d) interactive means of direct control (test, exam, assignments);
- e) any additional materials.

According to the authors, access to the content of the site will be carried out through mobile devices (tablets, smartphones). Text manuals will contain links (URLs) to relevant additional materials in the form of QR tags.

This access method expands the didactic content of the text manual, allowing you to simultaneously see both the text page and the graphic component, as well as, if necessary, the verbal component. Such parallel perception is considered highly effective in psychological and physiological terms [3].

The practical implementation of such technology nowadays is simple. The technology hardware in the form of a smartphone is available to almost every student. At the same time, the usual software of such a device supports reading and decrypting QR codes, connecting to a resource, demonstrating both texts with formulas in pdf, oral format, and multimedia.

One of the authors successfully uses QR - tags during lectures and practical classes at UrFU. A textbook with “augmented reality” - illustrative materials and other addons - is in print.

The location of additional materials on the site allows you to adaptively modernize the illustrative component, change the options for individual tasks, therefore extending the life cycle of the methodological manual.

We note both the readiness and motivation of students for this approach. Also, the preservation of skills in working with printed texts.



Рис. 1. Scheme for the implementation of augmented reality through the QR tag

1. Krochin, A.L.: Principles and technology of mathematical visualization: Uch. manual (in Russian), Ekaterinburg, Publishing house Ural University press, (2014)
2. Clark R.C. e-Learning and the Science of Instructions : Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning/ Ruth C. Clark, Richard E. Mayer. — New Jarsey: J. Wiley and Sons, Inc., 2016, - 856 .
3. Krochin A.L. On Mayer's cognitive theory of multimedia learning (CTML) and the relationship of the verbal and visual components of the mathematical disciplines lecture presentation / New educational technologies: collection of abstracts of reports Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference - Yekaterinburg: 2014, 10 p.

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА, ОСНОВАННАЯ НА МЕТОДЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лисовенко А.С.¹, Лимановская О.В.¹

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: 70dog@mail.ru

THE CONCEPT OF A MODEL FOR PREDICTING THE PATIENT'S CONDITION BASED ON THE AGENT-BASED MODELING METHOD

Lisovenko A.S.¹, Limanovskaya O.V.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

To track and predict the patient's condition in this work, it is proposed to use agent-based modeling, where the agents are agents of influence on the patient and agents that correspond to patients. This approach will allow us to build an extensible model for predicting the patient's condition.

Актуальность разработки модели прогнозирования состояния пациента на основе его клинических показателей обосновывается современной концепцией развития здравоохранения [1].

Разрабатываемая модель прогнозирования состояния пациента основывается на методе агентного моделирования. Каждому пациенту ставится в соответствие агент “Пациент”, целью которого является отслеживание и прогнозирование состояния пациента. Также в модели выделяется агент “Воздействие”, целью которого является оказание воздействия на агента пациента. Воздействие может быть как положительным (лечение), так и отрицательным (болезнь).

Главной особенностью разрабатываемой модели является ее расширяемость под отслеживание различных моделируемых характеристик пациента. Расширяемость модели обуславливается следующим: при необходимости добавления отслеживаемой характеристики описываются соответствующие воздействия на пациента и соответствующая составная часть состояния пациента. После чего через взаимодействие агента “Воздействие” с агентом “Пациент” происходит реализация описанных воздействий с последующим прогнозированием состояния пациента.

На данный момент в модели выделяются следующие моделируемые характеристики:

- 1) Выявление ведущего механизма старения человека,
- 2) Прогнозирование скорости развития пневмонии.

Выделение в модели механизма добавления новых воздействий на пациента и новых отслеживаемых характеристик в сумме с принципами агентного моделирования позволяет построить расширяемую предиктивную модель.

1. Conceptual innovation: 4P Medicine and 4P surgery, K. Slim, M. Selvy, J. Veziat, Journal of Visceral Surgery.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ КООРДИНАТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Логунов А.В.^{1,2}, Шлык Ю.К.¹

- ¹) ФГБОУ ВО "Тюменский индустриальный университет", 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
²) ООО "Тюменский нефтяной научный центр", 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Осипенко, 79/1
E-mail: logunovav97@mail.ru

DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR DETERMINATION OF ELECTRIC LINE DAMAGE LOCATION USING AMPLITUDE-PHASE COORDINATE CHARACTERISTIC

Logunov A.V.^{1,2}, Shlyk Yu.K.¹

- ¹) Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Industrial University of Tyumen», 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russia
²) Tyumen Oil Scientific Center LLC, 79/1, Osipenko St., Tyumen, 625000, Russia

The work is devoted to the development of a fundamentally new algorithm for determining the location of damage to a power transmission line based on the classical theory of electrical circuits using the original amplitude-phase coordinate characteristics.

Эффективность работы любых электротехнических комплексов неразрывно связана с бесперебойной поставкой электроэнергии к потребителям, которая осуществляется по кабельным или воздушным линиям электропередачи.

Всякое нарушение целостности линии, вызванное тем или иным видом повреждения, неизбежно отразится на режиме работы всего комплекса.

Арсенал современных методов и средств определения места повреждения электрических линий весьма разнообразен. В их числе можно назвать такие дистанционные методы, как: импульсный, петлевой, метод колебательного разряда, емкостной и волновой [2].

Самостоятельную группу образуют топографические методы, к которым относятся: потенциальный, индукционный и акустический.

Все эти методы имеют сугубо экспериментальный характер. Их целью является определение координаты места повреждения линии, однако достигается она опосредовано, через измерение других величин, причем не электрической природы.

К примеру, в импульсном и волновом методах измеряемой величиной является время [5]. В емкостном методе измеряют емкость оборванных жил кабеля, а в петлевом – их электрическое сопротивление.

Все эксперименты, которые проводятся в рамках реализации названных методов являются, как правило, сложно организованными, поскольку они

проводятся с учетом выполнения различного рода особых условий, таких как электрический пробой изоляции в методе колебательного разряда, или ограничений, которые накладываются на величину переходного сопротивления в месте повреждения при использовании емкостного метода.

Топографические методы вообще имеют особый статус, поскольку применяются в полевых условиях и могут использоваться для уточнения координаты места повреждения, предварительно определенной тем или иным методом дистанционной группы. При этом поиск повреждения на трассе прокладки кабеля осуществляется с использованием специализированной контрольно-измерительной аппаратуры промышленного производства [1].

Из всего сказанного можно сделать вывод о том, что существующие на сегодня методы не свободны от недостатков. В числе главных выделим сложность технической реализации и невысокую точность в определении места повреждения линии, которая в ряде случаев компенсируется совместным использованием двух и более методов одновременно [4].

Данное обстоятельство является основанием для разработки принципиально иного подхода к решению этой проблемы, в котором главенствующая роль будет отводиться теоретическим разработкам модели электрической линии с повреждением [3].

В такой постановке решение поставленной задачи существенно упростится, а ее экспериментальная составляющая сведется к минимуму.

Примером реализации такого подхода может стать метод, в основе которого лежит оригинальная амплитудно-фазовая координатная (АФКХ) характеристика входного тока линии с повреждением.

В докладе приводится алгоритм ее получения, который иллюстрируется числовым примером и соответствующими графическими построениями.

1. Авдеева, К. В. Анализ топографических методов определения мест повреждения изоляции кабеля / К. В. Авдеева, Ю. М. Елизарова // Приднепровский научный вестник. – 2019. – Т. 7. – № 2. – С. 37-40.
2. Основные методы определения мест повреждения (ОМП) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://angstremip.ru/blog/492/>.
3. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. М.: Энергия, 1975. – 752 с.: ил.
4. Способ определения места повреждения кабельных и воздушных линий электропередач // Патент РФ № 2733825. 2020. Бюл. №28. / Кучерявенков А. А., Рукавицын А. А., Феоктистов А. В., Бондаренко А. А.
5. Шалыт, Г.М. Определение мест повреждения линий электропередачи импульсными методами / Г. М. Шалыт // М. : «Энергия», 1968. – 216 с.

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА ОЦЕНКИ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЯ

Мальцев А.Ю.¹, Гольдштейн С.Л.¹, Грицюк Е.М.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) ГАУЗ СО МКМЦ «Бонум», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: maltsevt@yandex.ru

SYSTEM-STRUCTURAL MODELS OF THE MECHANISM FOR EVALUATING THE COMPUTERIZED ACTIVITY OF AN INSTITUTION

Maltsev A.Y.¹, Goldstein S.L.¹, Gritsyuk E.M.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) GUAZ SO MKMC "BONUM", Yekaterinburg, Russia

The task of developing system-structural models of the mechanism for assessing the quality of the institution's computerized activities in terms of effectiveness, efficiency and potentials has been set and solved.

На основе информационного и, в частности, патентного поиска составлен компилятивный прототип механизма и предложено его развитие (рис.1).

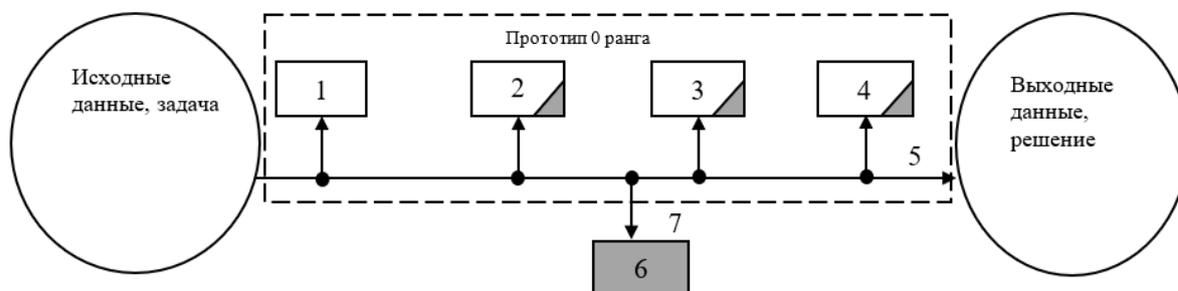


Рис. 1. Системно-структурная модель механизма оценки компьютеризированной деятельности учреждения, где системы: 1 - основного функционала учреждения, 2 - оценки качества, 3 - поддержки, 4 - выявления зависимостей, 6 - интеграции взаимодействия оценок, 5 и 7 - интерфейсов; штриховка - новизна.

Гипотезы о развитии прототипа: старшая - введение системы 6, младшая - модернизация систем 2-4. Первый рассматриваемый прототип 1-го ранга (система 2) включает подсистемы оценки: результативности (подсистема 2.1), эффективности (2.2), потенциалов (2.3) [1], интерпретации оценок (2.4) [2] и (дополнительно) системной интеграции (2.6). Второй прототип 1-го ранга (система 3) содержит подсистемы поддержек: научно-технической (3.1), информационной (3.2) и системной (3.3). Дополнительно предлагается ввести подсистему 3.5 взаимодействия поддержек. Третий прототип 1-го ранга (система 4) имеет в составе

подсистемы: структуризации входной информации (4.1), выявления корреляций (4.2), интерпретации результатов (4.3) [3] и их визуализации (4.4). Предлагается новая подсистема (4.6) - выявления специфики.

Вновь вводимая система 6 призвана обеспечить интеграцию взаимозависимостей оценок качества функционирования. В составе прототипа системы 6 рассмотрены подсистемы: 6.1 - знаний об оценивании и взаимодействии оценок, 6.2 – вложений (интеллектуальных и финансовых), прежде всего в получение новых знаний, 6.3 - системного осмысления результатов оценивания, 6.4 - расчета уровня системной интеграции. Предлагаемая к вводу подсистема 6.6 призвана обеспечить выявление невязок по системной гармонии.

1. Е.М. Грицюк, Е.А. Дугина, С.Л. Гольдштейн, Здоровье и образование в XXI веке. — 2017. — № 4 — С.69-73
2. Г.Э. Улумбекова, А.В. Мокляченко, Вестник ВШОУЗ. 2017. № 3 С.23-34
3. О.А. Семенова, Е.М. Грицюк, С.Л. Гольдштейн, Системная интеграция в здравоохранении. — 2016. — № 3 (29). — С.44-63

ПРОТОТИП И ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПОМОЩНИКА РАЗРЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

Малышев П.В.¹, Гольдштейн С.Л.¹, Кудрявцев А.Г.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: pasha_malyshev01@mail.ru

PROTOTYPE AND PROPOSED SOLUTION FOR A COMPUTER ASSISTANT TO RESOLUTION OF COMPLEX CLINICAL SITUATIONS

Malyshev P.V.¹, Goldstein S.L.¹, Kudryavtsev A.G.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The results of literature-analytic review of countertypes have been studied with the aim of choosing a prototype for a digital assistant solving complicated clinical cases. A decision for elimination of prototype disadvantages has been offered basing on its further development.

Для поддержки разрешения сложных клинических ситуаций в настоящее время может быть использован ряд компьютерных помощников [1-5]. Их общим недостатком можно считать как минимум неполный учет информации из истории лечения больного (особо существенной при долгосрочной хронике), а именно игнорирование либо текстовой части истории лечения, либо количественных оценок полученных в ходе обследования.

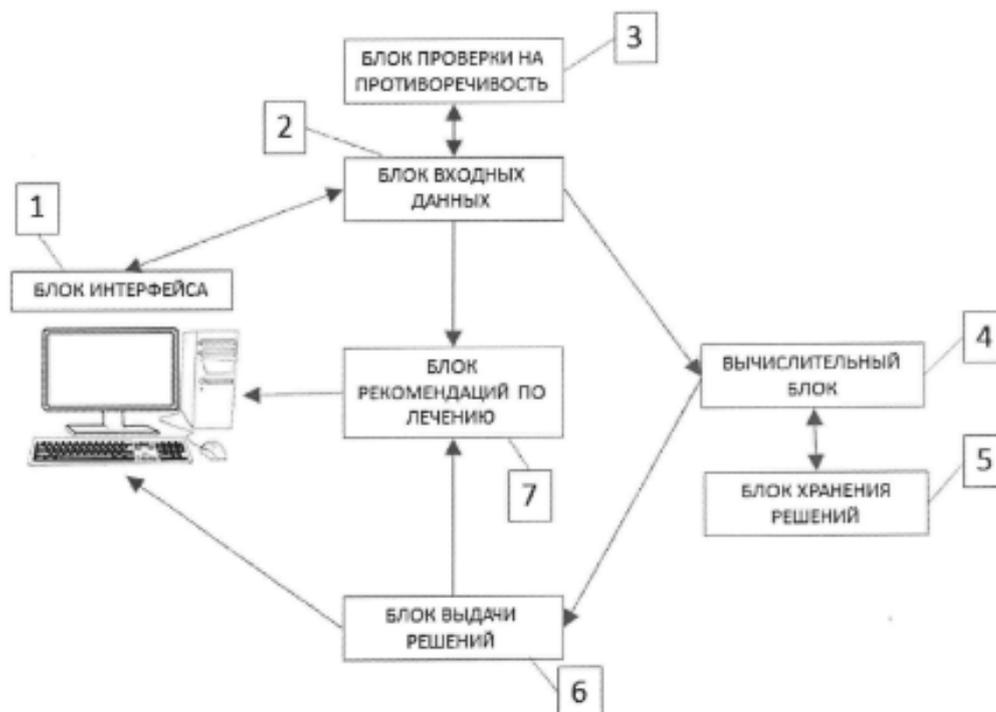


Рис. 1. Структура прототипа согласно [5]

Для сопоставления указанных помощников были рассмотрены следующие критерии: возможность поддержки решений по диагнозу; то же по лечению; уровень учета истории лечения; уровень автоматизации.

В качестве прототипного варианта для последующего развития выбрана автоматическая система поддержки медицинских решений при сочетанной патологии [5] (рисунок 1).

Недостаток прототипа, как указано выше, – игнорирование текстовой части истории лечения, что, в свою очередь делает невозможным обращение к внешним источникам информации с естественно-языковыми запросами, отражающими суть клинической ситуации. С целью устранения данного недостатка нами предложено развитие прототипа с добавлением блока генерирования запросов по имеющейся ситуации.

1. Мизгулин В.В. Автоматизированная система распределенной когнитивной поддержки принятия диагностических решений в медицине: патент на изобретение [Электронный ресурс] / В.В. Мизгулин [и др.]. – URL: <https://findpatent.ru/patent/260/2609737.html> (дата обращения: 19.10.2021).
2. D'Souza G. Medical coding system with CDI clarification request notification: патент США [Электронный ресурс] / G. D'Souza, D. Sarkar. – URL: <https://patents.google.com/patent/US11101024B2/en?q=Medical+coding+system+with+CDI+clarification+request+notification&oq=Medical+coding+system+with+CDI+clarification+request+notification> (дата обращения: 31.01.2022).
3. Тулипано П. Системы поддержки клинических решений с внешним контекстом: патент на изобретение [Электронный ресурс] / П. Тулипано [и др.]. – URL: <https://findpatent.ru/patent/254/2541198.html> (дата обращения: 19.10.2021).
4. Буассел Ж.-П. Компьютерная система для прогнозирования результатов лечения: патент на изобретение [Электронный ресурс] / Ж.-П. Буассел. – URL: <https://edrid.ru/rid/217.015.7e8a.html> (дата обращения: 19.10.2021).
5. Богданов М.Б. Автоматическая система поддержки медицинских решений при сочетанной патологии: патент на изобретение [Электронный ресурс] / М.Б. Богданов. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2698007C1_20190821 (дата обращения: 19.10.2021).

ВЫБОР ПРОТОТИПА ДЛЯ СПОСОБА ВЫВОДА НА СЕМАНТИЧЕСКИХ ГРАФАХ

Моторин В.С.¹, Гольдштейн С.Л.¹, Кудрявцев А.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: web.vadim@list.ru

CHOOSING A PROTOTYPE FOR THE INFERENCE METHOD ON SEMANTIC GRAPHS

Motorin V.S.¹, Goldstein S.V.¹, Kudryavtsev A.G.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The results of a literary and analytical review of analogues are considered in order to select a prototype for the inference method on semantic graphs.

Актуальна задача разработки способа вывода на семантических графов для генерирования запросов по проблемным ситуациям.

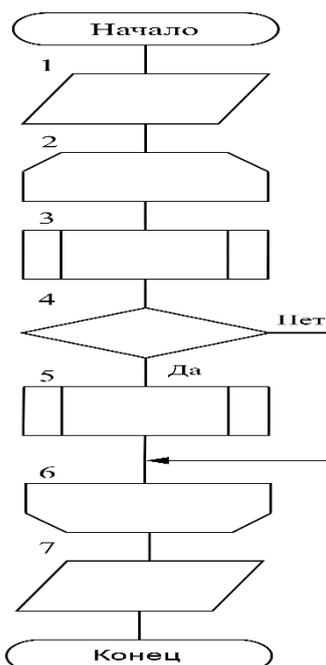


Рис. 1. Алгоритмическое описание прототипного способа.

В ходе литературно-аналитического обзора были рассмотрены способы вывода на семантических графах [1-4]. Из них только вариант [3] может быть использован для генерирования запросов. Он и выбран в качестве прототипа. Его алгоритмическое описание – на рисунке 1. На рисунке цифрами обозначены: 1 – исходные семантические графы; 2 и 6 – соответственно, начало и конец цикла по типовым транзитивным семантическим отношениям [3]; 3 – выбор пар терминов,

принадлежащих текущему отношению, и анализ возможности его распространения; 4 – «Возможно распространение текущего отношения?»; 5 – вывод на множестве пар терминов путем распространения текущего отношения; 7 – выведенные графы формализованных семантических запросов. Под распространением транзитивного отношения понимается добавление в множество рассматриваемых пар элементов пары вида (a,c) при условии присутствия в нем пар (a,b) и (b,c), принадлежащих рассматриваемому отношению; геометрически может быть проинтерпретировано как сцепление связующих звеньев a – b и b – c по вершине b.

Недостаток прототипного способа в соответствии с [3] – ориентация на исполнителя, не способного генерировать естественно-языковые запросы.

1. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке / Э.В. Попов. – Москва: Наука, (1982) – 360 с.
2. Кононенко А.В. Метод формирования семантической сети для описания связей между фактами / А.В. Кононенко, А.Т. Миргалеев // Инновации в информационно-аналитических системах: сб. науч. трудов, 2013. Вып. 5. С. 55 – 65. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-formirovaniya-semanticheskoy-seti-dlya-opisaniya-svyazey-mezhdu-faktami/viewer>
3. Leopold H. Searching textual and model-based process descriptions based on a unified data format / H. Leopold [и др.]. // Software & Systems Modeling. 18, 1179 – 1194 (2019). – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10270-017-0649-y>
4. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – Москва: URSS, (2021) – 288 с.

АНАЛИЗ ВЫЖИВАЕМОСТИ ПАЦИЕНТОВ ОНКОДИСПАНСЕРА ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНОЙ ЦИСТЭКТОМИИ

Огородникова С.Ю.¹, Магер В.О.², Вараксин А.Н.³, Константинова Е.Д.³,
Маслакова Т.А.³, Анцыгин И.Н.¹

¹ Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Россия

² Свердловский Областной онкологический диспансер, Екатеринбург, Россия

³ Институт промышленной экологии, Екатеринбург, Россия

E-mail: ogorodnikova.sveta2507@gmail.com

ANALYSIS OF THE SURVIVAL RATE OF CANCER DISPENSARY PATIENTS AFTER RADICAL CYSTECTOMY

Ogorodnikova S.Y.¹, Mager V.O.², Varaksin A.N.³, Konstantinova E.D.³,
Maslakova T.A.³, Antsygin I.N.¹

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

² Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary, Yekaterinburg, Russia

³ Institute of Industrial Ecology, Yekaterinburg, Russia

One of the most commonly used surgical operations among patients with bladder cancer is radical cystectomy. An important stage of the operation is the choice of the method urine derivation. The aim of the study: to analyze the survival of patients with three different methods of urine derivation.

По данным ВОЗ рак мочевого пузыря (РМП) входит в десять самых распространенных локализаций злокачественных образований.

РМП относится к группе особенно опасных злокачественных новообразований. Основную проблему представляет нечувствительность части этих опухолей к консервативной терапии. В целях сохранения жизни пациента при распространении процесса за пределы стенки полого органа выполняется радикальная цистэктомия (РЦЭ).

Сопоставимым по важности этапом при проведении РЦЭ является осуществление одного из вариантов отведения мочи или уродеривации (УД) [1].

Цель исследования: анализ выживаемости пациентов после проведения РЦЭ с тремя различными способами УД.

Материалы и методы исследования

Клиническая часть работы проведена на базе Свердловского областного онкологического диспансера (СООД) с декабря 2001 по май 2021 года. Всего обследовано 586 пациентов онкоурологического отделения с РМП в возрасте от 28 до 81 года (средний возраст 59.8 ± 8.6 лет).

Были собраны следующие данные пациентов: пол, возраст, Charlson Age Comorbidity Index (САСИ), некоторые дооперационные отклонения, а также способ отведения мочи и данные о нескольких видах выживаемости.

Для анализа данных использованы: методы описательной статистики (расчеты средних значений и медиан), построение кривых выживаемости по методу Каплана-Мейера. Значимость различий оценивалась с помощью логрангового критерия и вычисления р-значений [1].

Результаты

Пациенты были разделены на три группы в зависимости от способа УД:

1 группа – пациенты с наружным отведением мочи;

2 группа – пациенты с внутренним отведением мочи в непрерывный кишечник;

3 группа – пациенты с кишечными резервуарами, выполняющими функцию мочевого пузыря.

По результатам оценки выживаемости пациентов СООД, перенесших РЦЭ с различными способами УД, построены кривые выживаемости.

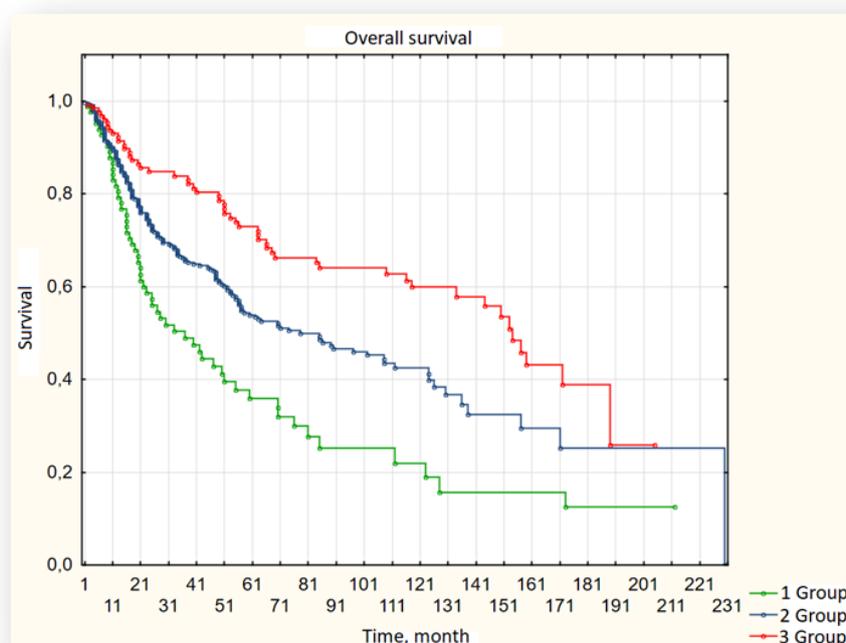


Рис. 1. Сравнение кривых общей выживаемости для пациентов СООД, перенесших РЦЭ. Comparison of the overall survival curves for patients with SROD

Кривая выживаемости задает вероятность пережить любой из моментов времени после некоторого начального события [2].

Были определены медианы выживаемости для пациентов с различными способами УД.

1 группа: медиана выживаемости без рецидива – 30 месяцев, без прогрессии – 28 месяцев, общей – 37 месяцев.

2 группа: медиана выживаемости без рецидива – 75 месяцев, без прогрессии – 85 месяцев, общей – 78 месяцев.

3 группа: медиана выживаемости без рецидива – 154 месяца, без прогрессии – 151 месяц, общей – 154 месяца.

Для проверки статистической значимости различий полученных результатов проведен Log-Rank Test и вычислены р-значения [3].

Выводы

В результате проведенного анализа выявлены статистически значимые различия между кривыми выживаемости пациентов с тремя различными методами отведения мочи ($p < 0,001$).

При анализе медиан выживаемости был сделан следующий вывод: продолжительность жизни пациентов, относящихся к 3 группе, превышает этот же показатель для первых двух групп.

Полученные нами данные однозначно совпадают с мнением экспертов о том, что выживаемость пациентов зависит от выбранного в ходе операции способа УД [1,4].

1. Рындин А. А., Зайцева Л. А., Красный С. А. Влияние периоперационных факторов на отдаленные результаты радикальной цистэктомии, Онкологический журнал, Т. 12., №. 2., С. 61-70 (2018)
2. Гланц С., Медико-биологическая статистика, Практика (1998)
3. Боровиков В., STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов, Питер (2001)
4. Котов С. В. и др. Анализ качества жизни пациентов после радикальной цистэктомии с формированием ортотопического необладдера или илеокондуита, Вестник урологии, Т. 9., №. 1, (2021)

АНАЛИЗ ИНДУЦИРОВАННЫХ ШУМОМ ЯВЛЕНИЙ В МУЛЬТИСТАБИЛЬНОЙ СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Павлецов М.М.¹, Перевалова Т.В.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: evlucid@gmail.com

ANALYSIS OF NOISE-INDUCED PHENOMENA IN A MULTISTABLE CONSUMER NETWORK

Pavletsov M.M.¹, Perevalova T.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The paper considers a stochastic consumer network. We study the parametric zone where the coexistence of several attractors is observed. The model is studied by direct numerical simulation methods and by using the stochastic sensitivity function. A description of noise-induced phenomena is given.

В работе рассматривается стохастический вариант модели минимальной сети потребителей, представленное двумерным отображением [1]. Данная модель описывает взаимодействие двух потребителей в зависимости от своего прошлого опыта потребления и опыта потребления другого индивида. Стохастическая составляющая описывает либо разницу в количестве приобретаемых и потребляемых товаров, либо ситуацию, когда один из потребителей не обладает точной информацией о доходах второго.

Основной интерес исследования направлен на изучение параметрической зоны, где наблюдается сосуществование нескольких аттракторов. Для этих зон описываются бифуркационные сценарии детерминированной модели (в отсутствии стохастического компонента), а также подробно изучаются бассейны притяжения аттракторов.

Стохастический вариант модели изучается как методами прямого численного моделирования, так и с использованием функции стохастической чувствительности [2]. Данный подход позволяет проводить конструктивное описание индуцированных шумом явлений. В работе проводится сравнительный анализ стохастической чувствительности аттракторов на вносимый аддитивный или параметрический шум. Опираясь на метод доверительных областей, проводится исследование стохастических аттракторов и определяются необходимые условия для возникновения переходов между аттракторами. Описываются индуцированные шумом переходы между порядком и хаосом.

1. Wulf Gaertner and Jochen Jungeilges. A non-linear model of interdependent consumer behaviour // *Economics Letters* 27, 2, 1988. 145–150.
2. Bashkirtseva, I., Ryashko, L., Tsvetkov, I. Sensitivity analysis of stochastic equilibria and cycles for discrete dynamic systems // *Dyn. Contin., Discrete Impulsive Syst. Ser. A* 17, 2010. 501–515.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Петухова В.В.¹, Огородников А.И.¹

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: petukhova.viktoria@urfu.me

SOLVING THE INVERSE HEAT CONDUCTIVITY PROBLEM IN SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Petukhova V. V.¹, Ogorodnikov A. I.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this work, some methods for solving the inverse problem of heat conduction were investigated to restore the thermo-physical properties of mold material produced by 3D-printing. The properties are needed to simulate the crystallization of steel in the mold.

При компьютерном моделировании многих технологических процессов возникает необходимость точно прогнозировать температурные поля. Распределение температуры в моделируемом пространстве определяется численным решением дифференциального уравнения теплопроводности, коэффициентами которого являются теплофизические свойства материалов. В отдельную проблемную группу следует выделить технологии, связанные с быстрым охлаждением материалов от высоких температур. Зачастую оказывается, что стандартными методами измерения не удастся получить релевантные зависимости свойств в широком температурном интервале, включая точки ликвидус и солидус. В обсуждаемом случае необходимые для компьютерного моделирования свойства можно восстановить решением обратной задачи теплопроводности [1].

В данной работе были исследованы различные методы решения обратной задачи теплопроводности для восстановления свойств песчаной смеси, применяемой в технологии изготовления литейных форм способом 3D-печати. Исходные данные для решения обратной задачи получены в натуральных и вычислительных экспериментах. В натуральных экспериментах наблюдали за кристаллизацией стали в цилиндрической литейной форме, выполненной из исследуемой песчаной смеси, и регистрировали показания установленных в форме термопар. В вычислительных экспериментах решали прямую задачу теплопроводности, симулировали аналогичный натурному эксперименту теплофизический процесс на конечно-разностной сетке и фиксировали изменение температуры в точках размещения термопар. Решением обратной задачи совместили экспериментальные и расчетные температурные кривые.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Государственный контракт № 075-03-2020-582/4.

1. Огородников И. Н. Введение в обратные задачи физической диагностики / Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2017. 128 с.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРИСТАЛЛОВ UC, U₂C₃ И UC₂, ВКЛЮЧАЮЩАЯ ВАРЬИРОВАНИЕ ЗАРЯДОВ

Пицхелаури С.С.¹, Сеитов Д.Д.¹, Некрасов К.А.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: lauri2011@mail.ru

A VARIABLE-CHARGE MOLECULAR DYNAMICS MODEL OF UC, U₂C₃ И UC₂ CRYSTALS

Pitskhelaury S.S.¹, Seitov D.D.¹, Nekrasov K.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A potential model describing metallic, covalent and ionic bonding using dynamically varying charges is proposed. Parameters are restored by minimizing the total energy of UxCy crystals defined by charge states. A linear expansion model coefficients vs experimental data numerical consent is obtained.

Карбидное топливо считается одним из потенциальных заменителей используемых видов топлива. UC имеет изотропную гранецентрированную кубическую структуру (типа NaCl) и не обнаруживает фазовых превращений вплоть до температуры плавления. Он характеризуется более высокой плотностью атомов урана и более высокой теплопроводностью, чем UO₂. Один из способов исследования – применение молекулярно-динамического моделирования.

Предложена модель межатомного потенциала, описывающая одновременно металлическую, ковалентную и ионную связь с использованием динамически варьируемых зарядов в рамках концепции Qeq-потенциала [1]. Учтены внутренняя электростатическая энергия атомов кристалла, кулоновская энергия перекрывающихся электронных оболочек, представленных в форме слэтеровских орбиталей [2], парные потенциалы некулоновского обменного взаимодействия частиц. Параметры модели восстановлены минимизацией полной энергии кристаллов UC, U₂C₃ и UC₂, характеризующихся различающимися зарядовыми состояниями урана и углерода.

В рамках модели, проведено молекулярно-динамическое моделирование кристаллов UC, U₂C₃ и UC₂. Необходимая производительность вычислений достигнута их распараллеливанием на графических процессорах GeForce GTX 1080 Ti (GP-102) и GeForce RTX 2080 Ti. Получено количественное совпадение модельных коэффициентов линейного расширения с экспериментальными данными.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FEUZ-2020-0060.

1. E. Lee, K.-R. Lee, M. I. Baskes, B.-J. Lee // Physical Review B 93, 144100 (2016).
2. X. W. Zhou, H. N. G. Wadley, J.-S. Filhol, M. N. Neurock // Physical Review B 69, 035402 (2004).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ КАМЕРЫ И МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Рублева Е.А.¹, Мудрич А.Б.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: elena@erubleva.ru

DETERMINATION OF THE WORKING POSITION OF THE ROBOTIC ARM TOOL USING CAMERAS AND MACHINE VISION

Rubleva E.A.¹, Mudrich A.B.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Machine learning algorithms and deep learning algorithms are most effectively used in modern information sciences to solve various problems of the movement of robotic complexes and devices and to determine the coordinates of objects in space.

Для решения различных задач движения робототехнических комплексов и устройств и определения координат предметов в пространстве в современных информационных науках наиболее эффективно применяются алгоритмы машинного обучения и алгоритмы глубокого обучения. Они дают возможность не только с помощью машинного зрения распознать текущее положение предмета в пространстве, но и предсказать его дальнейшее движения, составив его траекторию. В нашей работе алгоритмы машинного зрения будут применяться для решения практической задачи определения текущего положения подвижной части робота-манипулятора после осуществления заданного движения и расчета на основе полученных координат отклонения полученной траектории от запланированной. Данная проблема актуальна для проверки точности работы любого устройства и, при выявлении отклонений фактической и программируемой траекторий движения, получения возможности оперативного исправления погрешностей в работе оборудования и программного обеспечения, осуществляющего управление устройством.

Определение положения рабочего инструмента робота-манипулятора можно найти решением прямой задачи кинематики. Эта задача имеет одно четкое решение при заданном наборе обобщенных координат. Но чаще всего при построении траекторий движения робота решается обратная задача кинематики – нахождение по заданным координатам рабочего органа обобщенных координат [1]. После получения данных об углах поворота суставов манипулятора производится перерасчет значений углов на шаги двигателя. Шаговые двигатели [2] используются часто – они дешевле сервоприводов и позволяют получить высокую точность позиционирования рабочего инструмента.

Однако при использовании шаговых двигателей возможна проблема пропуска шагов. При наличии редуктора и отсутствии обратной связи (энкодера) эта проблема становится более актуальной. Поэтому периодически необходимо проверять текущее положение рабочего органа, которое рассчитано в программе управления, и сверять его с фактическим положением. Это можно сделать при помощи камеры и технологии машинного зрения.

Объект исследования – робот-манипулятор на основе разомкнутой кинематической цепи с параллельным механизмом на шаговых двигателях с редуктором.

Предмет исследования – рабочий инструмент робота-манипулятора.

Цель исследования – разработка системы корректировки позиционирования рабочего инструмента робота-манипулятора с помощью камеры и алгоритмов машинного обучения.

Задачи исследования:

- установить и подключить камеру, с которой будет считываться изображение;
- обработать изображение с камеры;
- исследовать библиотеки машинного обучения (OpenCV, OpenAI и другие);
- выбрать наиболее подходящий вариант алгоритма машинного обучения;
- доработать алгоритм машинного обучения под данную задачу;
- протестировать написанное программное обеспечение для решения поставленной задачи.

Для выполнения исследования в основном используются экспериментальные методы: моделирование, сравнение и наблюдение.

1. Борисов О.И., Громов В.С. и Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие [Текст] / – Санкт-Петербург: Университет ИТМО (2016) – 110 с.
2. Емельянов А.В., Шилин А.Н. Шаговые двигатели: учебное пособие [Текст] / – Волгоград: РНК «Политехник», (2005) – 47 с.

ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА МАММОГРАММАХ В СКРИНИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Сабитова Д.Р.¹, Соловьева С.Н.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) ООО Научно-исследовательский центр «Авантренд», г. Екатеринбург, Россия
E-mail: dashasabitova22@gmail.com

THE PROBLEMS OF APPLIED MODELS OF CLASSIFICATION OF OBJECTS ON MAMMOGRAMS IN BREAST CANCER SCREENING TECHNOLOGIES

Sabytova D.R.¹, Solovieva S.N.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) LLC Research Center «Avantrend», Yekaterinburg, Russia

This article discusses the problem of the methods used to classify objects on a mammo-gram.

Рак молочной железы (РМЖ) занимает лидирующие позиции в мире среди заболеваний женского населения [1]. Если по данным на октябрь 2019 года рак молочной железы занимал второе место по распространенности среди онкологических заболеваний, то уже в 2020–2021 годах он стал самым распространенным заболеванием, опередив рак легких.

Основным методом диагностики рака молочной железы является маммография. Маммография используется как скрининговый инструмент для обнаружения рака молочной железы на ранних стадиях. Несмотря на все достоинства маммографии, малое количество снимков, получаемых после исследования, и их низкая информативность усложняют процесс диагностики.

В настоящее время есть ряд алгоритмов для анализа маммограмм: Kheiron Medical, Lunit, Curemetrix и др [2]. Основной задачей этих алгоритмов является интерпретация некоторых патологий на срезах в 2-х проекциях без возможности оценки динамики процесса и, что самое важное, без привязки к анатомической структуре молочной железы. Так, например, кальцинаты, расположенные в долях молочной железы, имеют доброкачественную природу, а наличие их в протоковой системе является признаком рака молочной железы.

Таким образом, задачей данного исследования является разработка алгоритма, позволяющего отобразить анатомическую структуру молочной железы с целью топографической привязки найденной патологии в молочной железе к ее анатомической структуре.

Данный алгоритм позволит врачам-рентгенологам более точно интерпретировать информацию, полученную с маммограмм, а врачам-маммологам – верифицировать РМЖ на ранней стадии, что в свою очередь позволит увеличить медиану выживаемости пациентов данной группы патологии.

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность) / А.Д. Каприн, В.В. Старинский, Г.В. Петрова. — М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2019.
2. Морозов С.П., Говорухина В.Г., Диденко В.В., Пучкова О.С., Павлов Н.А., Овсянников А.Г., Андрейченко А.Е., Ледихова Н.В., Владзимирский А.В. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в скрининге рака молочной железы // Вопросы онкологии. 2020, Т. 66, № 6, с. 603-608.

МОДЕЛЬ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АВРОРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ГНСС, ПОСТРОЕННАЯ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ RANDOM FOREST

Серебренникова С.А.¹

¹ Институт Солнечно-Земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
E-mail: sova@mail.iszf.irk.ru

A MODEL FOR MONITORING AURORAL ACTIVITY BASED ON GNSS DATA, BUILT ON THE BASIS OF RANDOM FOREST MACHINE LEARNING

Serebrennikova S.A.¹

¹ Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Global navigation satellite Systems (GNSS) can be used as a perturbation detector, monitoring processes in the auroral region. In the study builds a Random Forest machine learning model based on GNSS data, which predicts the power and boundary of auroral borealis.

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) позволяют осуществлять мониторинг ионосферных неоднородностей по измерениям вариаций полного электронного содержания (ПЭС) [1]. Сеть ГНСС можно использовать, как детектор возмущений, осуществляя мониторинг процессов в авроральной области, как в Северном так и Южном полушарии.

В работе строится модель машинного обучения Random Forest, решающая регрессионную задачу для определения зависимости между данными ГНСС и мощностью авроральных высыпаний и их границей. Отличие данного подхода от других моделей, рассчитывающих положение и мощность аврорального овала, состоит в том, что в качестве входных данных для модели используются только данные ГНСС. Таким образом, потенциально можно осуществлять мониторинг авроральной активности [2] в режиме реального времени.

В качестве входных данных использовались 2-10 мин вариации ПЭС, рассчитываемые системой обработки ГНСС-данных SIMuRG ([3], <https://simurg.iszf.irk.ru/>), разработанной в ИСЗФ СО РАН. В качестве данных для обучения модели Random Forest использовались два источника: данные плотности потока электронов и ионов модели Ovation Prime и экспериментальные данные плотности потока электронов и ионов со спутника DMSP. Разработанная модель позволяет получать в двумерное пространственное распределение потока энергии авроральных высыпаний в Южном и Северном полушарии.

1. E.L. Afraimovich, E.I. Astafyeva, V.V. Demyanov, I.K. Edemskiy, N.S. Gavrilyuk, A.B. Ishin, E.A. Kosogorov, L.A. Leonovich, O. S. Lesyuta, K.S. Palamartchouk, N.P. Perevalova, A.S. Polyakova, G.Y. Smolkov, S.V. Voeykov, Yu.V. Yasyukevich, I.V. Zhivetiev. Review of GPS/GLONASS studies of the ionospheric response to natural

-
- and anthropogenic processes and phenomena // Journal of Space Weather and Space Climate. V. 3. A27. DOI:10.1051/swsc/2013049. 2013.
2. Черноус С.А., Шагимурагов И.И., Алпатов В.В., Филатов М.В., Будников П.А., Ефишов И.И., Федоренко Ю.В. АВРОРАЛЬНЫЙ ОВАЛ И ОВАЛ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ // Труды Второй всероссийской конференции "Гелиогеофизические исследования в Арктике", 2018. с. 102-105. DOI: 10.25702/KSC.978-5-91137-381-8.102-105.
 3. Yasyukevich, Y.V., Kiselev, A.V., Zhivetiev, I.V. et al. SIMuRG: System for Ionosphere Monitoring and Research from GNSS. GPS Solut 24, 69 (2020). DOI: 10.1007/s10291-020-00983-2.

ВОЗМОЖНОСТИ МАСШТАБИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ РАСХОДА ТОПЛИВА

Серогодский А.Е.¹

¹) Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия
E-mail: antonyserogodsky@gmail.com

SCALING CAPABILITIES OF THE AUTOMATED FUEL CONSUMPTION MONITORING AND CONTROL SYSTEM

Serogodskiy A.E.¹

¹) Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The article shows that the placement of an automated system in the Microsoft Azure cloud service allows you to make the system scalable, so it will fully function during peak loads.

Любое предприятие, предоставляющее услуги с применением распределенных информационно-вычислительных систем, заинтересовано в бесперебойном доступе клиентов к своим услугам. В таких системах, как, например, мониторинг и контроль расхода топлива, наблюдаются суточные и сезонные пики нагрузки на систему. В эти периоды пользователи не всегда могут своевременно воспользоваться необходимой услугой. Такой ситуации можно избежать, сделав систему масштабируемой, чтобы, во-первых, она полноценно функционировала на пиках, а во-вторых в этом случае предприятие не будет платить за простой мощностей при недогрузке системы.

Оптимальным для реализации масштабируемых распределенных вычислительных систем является использование технологий облачных вычислений. Широко используются облачные сервисы таких компаний как Amazon, Google, Microsoft и др. В работе [1] рассмотрена технология Azure, как простой способ организовать REST API приложения, при этом, особенностью решения являются простота использования, инсталляции и поддержки, а также гибкость и масштабируемость. В работе [2] дан обзор основных облачных сервисов и преимуществ применения сервисов от разных компаний. В этих работах проблема масштабируемости не рассматривается как основная, и не разрабатывается. В работе [3] насущная проблема уже рассматривается как основная. Здесь рассмотрено, как при постоянной высокой нагрузке на систему, в случае неисправности одного из серверов, справиться с данной проблемой, как распределить равномерно нагрузку вышедшего из строя сервера на все остальные.

Размещение автоматизированной системы, по существу являющейся системой массового обслуживания, в облачном сервисе Microsoft Azure позволяет сделать систему масштабируемой, причём сервис поможет спрогнозировать

будущие нагрузки, а также автоматически масштабировать вычислительную мощность, требуемую данной системе. Это очень важно, когда система сталкивается с нестабильной или периодической нагрузкой. Как пример системы с подобной нагрузкой для разработки была взята автоматизированная система мониторинга и контроля расхода топлива.

1. Акинин, Ю. Р. Быстрое создание Rest API сервиса на основе облачных технологий Azure / Ю. Р. Акинин, А. В. Барабанов, Н. И. Гребенникова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012.
2. Мурзин, Ф. А. Облачные технологии: основные модели, приложения, концепции и тенденции развития / Ф. А. Мурзин, Т. В. Батура, Д. Ф. Семич // Программные продукты и системы. – 2014. – . – Т. -, № 3. – С. 64-72
3. Построение высоконагруженной информационной системы с облачным хранилищем данных / А. В. Гуляев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2013. – Т. -, № 6. – С. 92-93

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ШАБЛОНОВ ПРОЕКТА ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ПРОИЗВОДСТВА АО «ПКК МИЛАНДР»

Шалапанова К.Н.¹, Орлов А.В.², Бардюг Д.Ю.¹, Елимова Т.В.³

¹) Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск, Россия

²) ООО «Дельрус – СЗРЦ»

³) Костромской государственной университет, Кострома, Россия
E-mail: shalapanova.k@edu.narfu.ru

SOFTWARE FOR AUTOMATED GENERATION OF PROJECT TEMPLATES FOR MICROCONTROLLERS PRODUCED BY MILANDR GROUP

Shalapanova K.N.¹, Orlov A.V.², Bardyug D.Yu.¹, Elimova T.V.³

¹) Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk,
Russia

²) Delrus - SZRK LLC

³) Kostroma State University, Kostroma, Russia

The article substantiates the need for an automated code generation system. The reasons for choosing the programming language used are indicated. Approaches to the development of code generation systems are analyzed. The advantages of using the developed software are explained.

В настоящее время повышается спрос на устройства, содержащие встроенные технологии взаимодействия друг с другом и внешней средой. Появление микроконтроллеров привело к уменьшению стоимости изготовления подобных устройств. Кроме этого, современные микроконтроллеры позволили уменьшить их размеры и энергозатраты. Это сделало их доступными для широкого использования. Одними из востребованных являются микроконтроллеры архитектуры ARM семейства Cortex. Например, микроконтроллеры АО «ПКК Миландр».

Существующие среды разработки, такие как Qt Creator, Eclipse, VS Code и подобные, позволяют создавать ПО для программирования микроконтроллеров. Однако, код в них прописывается вручную, что требует много времени. Автоматизация генерации начального программного кода позволила бы ускорить разработку программного обеспечения.

Большинство микроконтроллеров зарубежного производства имеют подобные инструменты разработки. Вместе с тем система автоматизированной генерации кода у отечественных производителей микроэлектронной техники отсутствует.

В сложившихся условиях нами было принято решение разработать ПО, обеспечивающее автоматизированную генерацию начального программного кода для

микроконтроллеров архитектуры ARM семейства Cortex, изготавливаемых отечественной компанией АО “ПКК Миландр”.

Существуют два подхода разработки данного ПО: с использованием CMSIS и с использованием HAL. Для создания оптимального и быстрого кода наилучшим решением является использование библиотеки CMSIS. Она базируется на библиотеках данных (SPL), предоставляемых самим производителем микроконтроллеров, тогда как HAL требует их переработки. Кроме этого, при работе с HAL генерируется много дополнительного программного кода, что замедляет работу программы.

Для создания начального программного кода использовался в связке с фреймворком QT [1] скриптовый язык программирования Python [2]. Он обладает мощными встроенными инструментами для обработки текстов. Выбор данной связки позволил обеспечить кроссплатформенность и гибкость создаваемой программы автоматической генерации шаблонов проекта.

Таким образом получилось разработать программу автоматической генерации шаблонов проекта на основе CMSIS семейства ARM микроконтроллеров производства АО “ПКК Миландр”. Полученное ПО существенно позволяет ускорить разработку программ для данных устройств.

1. <https://doc.qt.io/qt-5/qtwidgets-module.html> [Электронный ресурс] (дата обращения 20.02.2022)
2. Майк МакГрат. Программирование на Python для начинающих [перевод с англ. М. А. Райтмана]. Москва: Эксмо, 2015.[Электронный ресурс] (дата обращения 15.02.2022)

DEVELOPMENT OF A QUESTION AND ANSWER FOR THE SUBJECT AREA “MANAGEMENT OF A METALLURGICAL PLANT”

Aksynov K.A.¹, Sichona C.L.¹, Ziomkovskaya P.E.¹, Aksyonova O.P.¹,
Aksyonova E.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
E-mail: limpocia@yahoo.com

In this article, based on multiple tests, concerning the subject area “Management of a metallurgical plant”, the precision of the requests by users and the results given in the chatbots proved that there were some errors. The results showed that the system could not always give the accurate results.

Metallurgical plants are complex systems that are difficult to manage. Optimizing metallurgical processes gives a tangible financial effect on production and allows to reduce the cost of production, improve its quality, or increase the productivity of the plant.

The purpose of this paper is to create a way to manage a metallurgical plant using the TWIN question and answer chatbot.

This study aims to determine how to manage metallurgical plants using the TWIN question and answer chatbot. It goes further to develop a platform where clients can buy products, ask questions, and receive answers.

In this article, based on multiple tests, concerning the subject area “Management of a metallurgical plant”, the precision of the requests by users and the results given in the chatbots proved that there were some errors. The results showed that the system could not always give the accurate results.

These results suggest that the accuracy of the system needed to be improved and it was discovered that it is possible to make corrections and achieve better results.

I would like to thank my supervisor Mr. Aksyonov K.A for guiding me through my research.

1. Kim Kirill Khabokovich, Savinov Anatoly Pavlovich A syntactic analyzer for a question-and-answer system // Izvestiya TPU. 2009. No. 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintaksicheskiy-analizator-dlya-voprosno-otvetnoy-sistemy> (accessed: 10/26/2021).
2. K. Aksyonov, D. Antipin, T. Afanaseva, I. Kalinin, I. Evdokimov, A. Shevchuk, A. Karavaev, U. Chiryshev, E. Talancev. Testing of the speech recognition systems using Russian language models. 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2018; Yekaterinburg; Russian Federation; 6-8 December 2018. Code 144071. CEUR Workshop Proceedings Volume 2298, 2018, p. 7. <http://ceur-ws.org/Vol2298/paper13.pdf>
3. “Features of TWIN”, Twin24.ai, 2018. [Online]. Available: <https://twin24.ai/#features> [Accessed: 7- May- 2018].

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭКСПОРТНОГО КОНТРОЛЯ

Скрипов А.П.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: a.p.skripov@mail.ru

THE CONCEPTUAL MODEL OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF EXPORT CONTROL OBJECTS

Skripov A.P.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The article presents the experience of organizing a system for identifying the results of scientific and technical activities that are objects of foreign economic activity, using modern technologies for automating processes and decision-making algorithms.

Вопросы нераспространения оружия массового поражения имеют большое значение для обеспечения безопасности как на международном, так и на национальном уровне. Национальные системы экспортного контроля в соответствии с международными договорами и режимами определяют правила осуществления экспортных операций с продукцией двойного назначения и накладывают на экспортеров обязанности по проведению идентификации поставляемой продукции и получению экспортных лицензий. [1] Результаты идентификации, по сути, определяют каким образом должна быть осуществлена внешнеэкономическая операция в соответствии с требованиями системы экспортного контроля: требуется ли оформление экспортной лицензии или разрешения, применяются ли запреты или ограничения на внешнеэкономическую операцию. Полноценная идентификация продукции в целях экспортного контроля является трудоемким процессом, требующим затрат на создание соответствующей организационной структуры компании, подготовку квалифицированных специалистов, создание для них современной инфраструктуры (программные продукты, технические базы данных, нормативно-правовые документы, в некоторых случаях лабораторно-испытательное оборудование). Трудоемкость данного процесса связана с необходимым наличием специальных познаний в разных областях науки и техники, а также в сфере международных отношений и внешнеторговой деятельности [2].

Основными целями работы является формирование концептуальной модели, обеспечивающей: значительное снижение сроков выполнения процедур идентификации контролируемых товаров и технологий, а также минимизацию риска возникновения ошибок и верификацию экспертных результатов. Концептуальная

модель автоматизированной системы идентификации объектов экспортного контроля базируется на разработке и внедрении технологий искусственного интеллекта и нейронных сетей для обеспечения автоматизации процессов: поиска объектов сравнения в контрольных списках, принятия решений для проведения сравнительного анализа и установления соответствия характеристикам контролируемых объектов; автоматизированного определения действия запретов и ограничений на внешнеэкономическую операцию.

This article was prepared with the financial support of Competitiveness Enhancement Programm - CEP 3.1.1.1-20.

1. Качаев И.В. Идентификация товаров и технологий в целях экспортного контроля [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2013. – № 6(16). Режим доступа http://iea.gostinfo.ru/files/2013_06/2013_06_19.pdf
2. Skripov, A. P. (2020). Problems of scientific and technical products identification for export control in the field of international activities of universities. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 2313 doi:10.1063/5.0035415 Retrieved from www.scopus.com

РАЗРАБОТКА ИТ-ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЁЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА

Стрельникова А.С.¹, Каримова О.Х.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: strelnikova_anya_245@mail.ru

DEVELOPMENT OF IT SUPPORT FOR CALCULATING THE RELIABILITY OF MAIN GAS PIPELINES WITH PREDICTING THE PROBABILITY OF FAILURE

Strelnikova A.S.¹, Karimova O.Kh.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This thesis proposes to develop an application for calculating the reliability of main gas pipelines with a prediction of the probability of failure and the possibility of alerting the user in case of a gas pipeline non-compliance with the established level of reliability.

Сокращение опасности возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации газопроводов является важнейшей проблемой газовой инфраструктуры. Сложность проблемы напрямую связана с надёжностью газопроводов и обусловлена двумя факторами: значимой протяженностью и неизбежностью «старения» газопроводов. Протяженность газопроводов по ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» составляет около 8500 км. При этом эксплуатируются газопроводы из стальных труб диаметром 720-1420 мм на рабочее давление 5,4-7,5 МПа с пропускной способностью до 30-35 млрд куб. м газа в год.

Увеличение риска аварий и отказов газопроводов, ведёт к значительным экономическим потерям и серьезным экологическим последствиям, в связи с этим у компании возникла потребность в быстром и качественном расчёте показателей надёжности и прогнозирования вероятности отказа, так как прежний способ расчёта недостаточно эффективен и удобен.

Было проанализировано существующее программное обеспечение для расчёта надёжности системы, не одно из них не удовлетворяет требованиям компании, они недостаточно удобны для анализа, хранения и обработки данных, в них нет системы прогнозирования и оповещения. Поэтому предлагается разработать приложение для расчёта надёжности магистральных газопроводов единой системы газоснабжения ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» с прогнозированием вероятности отказа и возможностью оповещения пользователя в случае несоответствия газопровода установленному уровню надёжности.

Разработка данного приложения позволит быстро и качественно рассчитывать показатели надёжности, сохранять и выгружать результаты в удобном

формате для дальнейшего использования, формировать паспорта расчётов, выбирать методы расчёта и участок расчёта из списка, прогнозировать вероятность отказа каждого из газопроводов, начиная с момента проведения внутритрубной диагностики и на каждый последующий год, если вероятность отказа на ближайший год окажется выше нормы, то пользователь сразу же будет оповещён об этом, не дожидаясь выгрузки результатов, ведь обнаружение неисправности на ранней стадии может предотвратить серьезные экологические и экономические последствия.

Были выполнены следующие действия: построены модели бизнес-процесса (концептуальная модель, системно-структурная, алгоритмическая модель, функционально-структурная, информационная модель, математическая модель), выбрана среда для разработки приложения, изучены требования компании, изучены существующие методы расчётов показателей надёжности и вероятности отказа газопроводов.

Были сформулированы задачи следующих этапов работ: спроектировать систему, выполнить программную реализацию, испытать разработанный продукт.

1. <https://ekaterinburg-tr.gazprom.ru/about/>
2. <extension://bfdogplmndidlpjfhoijckpakkdjk-kil/pdf/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fstu.ru%2Fbook%2Felib%2Fpdf%2F2008%2Fklimov-1.pdf>
3. <https://docs.cntd.ru/document/1200001365>

СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХРОТОРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МОДАЛЬНОГО СИНТЕЗА

Тесленко А.Р.¹, Ермаков А.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: artemtes99@gmail.com

SYNTHESIS OF CONTROL OF A TWO-ROTOR CONTROL SYSTEM BY THE METHOD OF MODAL SYNTHESIS

Teslenko A.R.¹, Ermakov A.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This article proposes a controller for a twin-rotor control system based on the use of modal synthesis methods with a full-order Luenberger observer. Based on the results of the experiment, it is shown that the controller designed using modal synthesis methods provides good control quality.

Динамика летательных аппаратов на сегодняшний день получила широкое изучение, особенно глубоко изучаются алгоритмы управления ими. Учитывая сложности построения их моделей из-за существенных нелинейностей и параметрических неопределенностей, многие алгоритмы управления не могут обеспечить требуемые показатели качества управления.

В настоящей статье предлагается синтез регулятора для экспериментального учебного стенда «Twin Rotor MIMO System» (TRMS) от компании Feedback [1] на основе методов модального синтеза. Тематике управления двухроторной системы управления посвящено достаточно много исследований. В работе [2] проведен анализ линейных и нелинейных модификаций ПИД-регулятора для TRMS. Метод оптимального управления на основе линейного квадратичного регулятора был спроектирован в работе [3], а его модификация на основе метода адаптивного управления со скользящим режимом – в работе [4].

Также для синтеза регуляторов для TRMS широко применяются методы нечеткой логики. Например, ПИД-регулятор с использованием генетических алгоритмов представлен в работе [5].

Рассмотрен алгоритм управления экспериментальной учебной установкой TRMS методом модального синтеза на разработанной математической модели. Как видно из эксперимента, регулятор хорошо справляется с управлением и внешними помехами.

1. Feedback Instruments Ltd. Twin Rotor MIMO System Control Experiments 33-949S. East Sussex, UK. 2006.

2. Cajo R., Agila W. Evaluation of algorithms for linear and nonlinear PID control for Twin Rotor MIMO System // Asia-Pacific Conf. on Computer Aided System Engineering (APCASE), IEEE. 2015. P. 214—219
3. Pandey S. K., Laxmi V. Optimal control of Twin Rotor MIMO System using LQR Technique // Computational Intelligence in Data Mining. 2015. Vol. 1. P. 11—21
4. Phillips A. E. A Study of Advanced Modern Control Techniques Applied to a Twin Rotor MIMO System / Rochester Inst. of Technology, N.Y., USA. 2014.
5. Juang J. G., Liu W. K., Lin R. W. A hybrid intelligent controller for a twin rotor MIMO system and its hardware implementation // ISA Transact. 2011. Vol. 50(4). P. 609—619.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR DESCRIPTION OF PATTERNS IN TWO-DIMENSIONAL SPACE IN AUTOIT BY THE METHOD OF COORDINATES ON THE PLANE

Tikhomirov R.V.¹

¹) Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
E-mail: Tikhomirov.rv@yandex.ru

In this work, we developed a program that describes patterns in two-dimensional space in the AutoIt language. Using the method of coordinates on a plane, the program code demonstrates the interdependence between the polar coordinate system and the Cartesian one.

Introduction

We used the AUTOIT programming language to develop a program that helps students to understand the interconnections between different coordinates systems [1-2]. Program code shows the graphical capabilities and the interdependence between the polar coordinate system and the Cartesian one. Using this method we can move from two-dimensional plane to three-dimensional space, adding the third axis [3]. The program itself demonstrates the drawing of such basic figures as the Archimedes spiral, Fibonacci numbers, Flowers, Lissajous figure and Random animations.

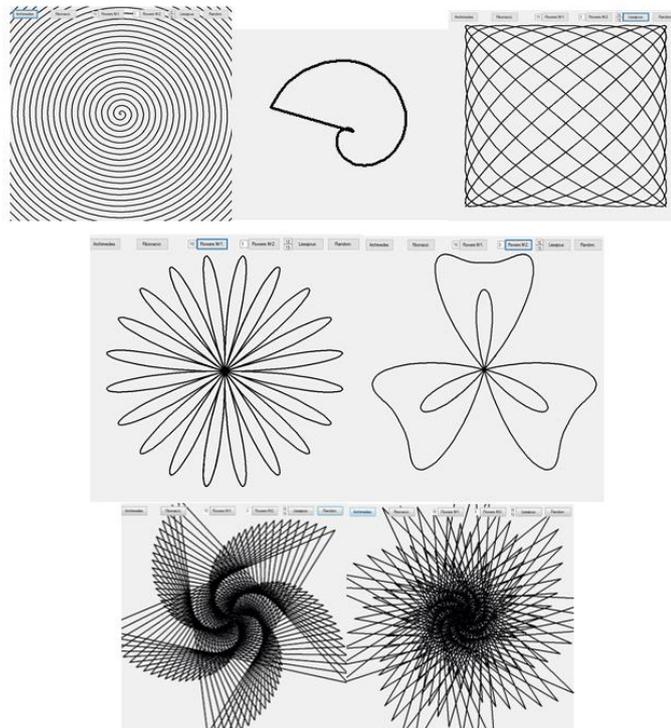


Рис. 1. Work of the program for various animations (Archimedes Spiral, Fibonacci number, lissajous figure, flowers, and random figures).

With one mathematical operation, we obtain the coordinate system for the Cartesian coordinate system (Following from the formulas $\sin(\varphi)=y/r$ and $\cos(\varphi)=x/r$ (1)) [4]:

$$y = \sin(\varphi) * r \quad (2)$$

$$x = \cos(\varphi) * r \quad (2)$$

In order to express the polar coordinate systems knowing the Cartesian ones, we divide the first term in the coordinate system by the second, and we get:

$$\tan(\varphi) = y/x \quad (3)$$

The work of the program according to the formulas above, for various figures, we can observe in Figure 1.

Conclusion

We have demonstrated the drawing of various basic figures in two-dimensional space. Using the method of coordinates on a plane. Also, this method can be used to demonstrate the strength of the fields, when changing the induction, which will demonstrate the pattern of the hysteresis loop. We by supplementing the program, can replace physical laboratory benches in schools/universities with a software bench. The developed program is available for free download at: https://drive.google.com/file/d/1culR3_CR0n1Awrsp_C6TjIzHX-ue_KmQ/view?usp=sharing.

1. <http://autoit-script.ru/>
2. Flesner A. Autoit v3: your quick guide. – " O'Reilly Media, Inc.", 2007.
3. <https://megaobuchalka.ru/4/33047.html>
4. http://stu.sernam.ru/book_msh.php?id=13

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ (MBSE)

Торгашова А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: a.s.torgashova@urfu.ru

MODELING AN EDUCATIONAL PROGRAM BASED ON SYSTEM MODELS (MBSE)

Torgashova A.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The article discusses the use of systems engineering methodology to create learning management systems (LMS). The study of needs is presented through the identification of the main groups of stakeholders, the analysis of their interests and the formalization of their requirements for further design.

Развитие техники и технологий, обострившиеся глобальные вызовы порождают потребность в модернизации образовательных программ ВУЗов.

Успешная адаптация молодых специалистов на рынке труда возможна, если образовательная программа представляет собой открытую систему, гибко настраивающуюся под изменения запроса на те или иные компетенции. Моделирование образовательных программ с целью адаптации к внешним и внутренним изменениям становится актуальной задачей, обеспечивающей качество подготовки.

В статье рассматривается применение методологии системной инженерии к разработке систем управления обучением (LMS).

Системная инженерия на основе моделей (MBSE - model based systems engineering) предполагает применение моделирования на всех этапах жизненного цикла проектируемой системы, множество описаний и методов моделирования, учитывающих интересы различных стейкхолдеров, что позволяет формализовать сценарии поведения системы в тех или иных условиях.

Представлено исследование потребностей через выделение основных групп стейкхолдеров, анализ их интересов и формализацию требований для дальнейшего проектирования.

Основные группы стейкхолдеров: "Учащийся", "Работодатель", "Государство" конкретизируются и детализируются, при этом "учащийся" рассматривается как ключевой стейкхолдер этой системы.

Система управления обучением конкретной образовательной программы рассматривается как целевая система, анализируются системы в окружении, выделяется использующая система.

Разработка LMS и моделирование реализовано для основной образовательной программы бакалавриата "Системный анализ и управление" УрФУ.

1. SEBoK Editorial Board. 2021. The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v. 2.5, R.J. Cloutier (Editor in Chief). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. www.sebokwiki.org. (Дата обращения 24.02.2022).

АНАЛИЗ ДЛИН СЛОВ НА ПРИМЕРЕ ИНАУГУРАЦИОННЫХ РЕЧЕЙ ПРЕЗИДЕНТОВ США

Цижмовска Н.Л.¹, Мартюшев Л.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: nata-cizmov@yandex.ru

ANALYSIS OF WORD LENGTHS ON THE EXAMPLE OF INAUGURAL SPEECHES OF USA PRESIDENTS

Tsizhmovska N.L.¹, Martyushev L.M.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The study reflects two main results. The first is that the average word length is 4.71 ± 0.06 . The second result is that word length is best described by the lognormal distribution.

Исследования естественных языков при помощи математических методов до сих пор остаются актуальными и необходимыми. Насколько мы можем судить, в данный момент существует относительно небольшое количество работ, посвященных изучению изменения средней длины слов с исторической точки зрения [1-3]. И результаты таких исследований достаточно противоречивы. С одной стороны на основании закона Ципфа можно предположить, что средняя длина слова, как и предложения [4], должна уменьшаться для экономии времени произношения при постоянно растущем объеме передачи информации, с другой стороны более длинные слова передают больше информации. Еще одной не решенной проблемой остается поиск универсальной модели распределения длин слов, хотя работы, посвященные этой тематике, публикуются уже более 40 лет (R. Grotjahn, G. Altmann, H Wimmer).

Мы проанализировали 59 инаугурационных речей президентов США с 1789 по 2021 года, взятые из электронного архива (<https://www.bartleby.com/124/>). Средняя длина слова, рассчитанная как сумма всех букв, деленная на количество слов, составила 4.71 ± 0.06 . Отметим, что после 1949 года произошло небольшое уменьшение среднего значения, которое интересно объяснить в будущем (рис. 1). Максимальная длина слов 17.07 ± 0.59 . Число слов в текстах не имело явного тренда и составило в среднем 2328. Интересным результатом является значение медианы, которая для всех анализируемых речей равнялась 4.

Распределение по длине слов проверялось на основе сопоставления с распределениями: Вейбулла, логнормальным, модернизированными нормальными и Рэлея. Ранжирование вероятности принадлежности выборки к распределению проводилось на основе коэффициента детерминации. Как и в случае с распределением длин предложений [4], в лидерах оказались распределения Вейбулла и логнормальное.

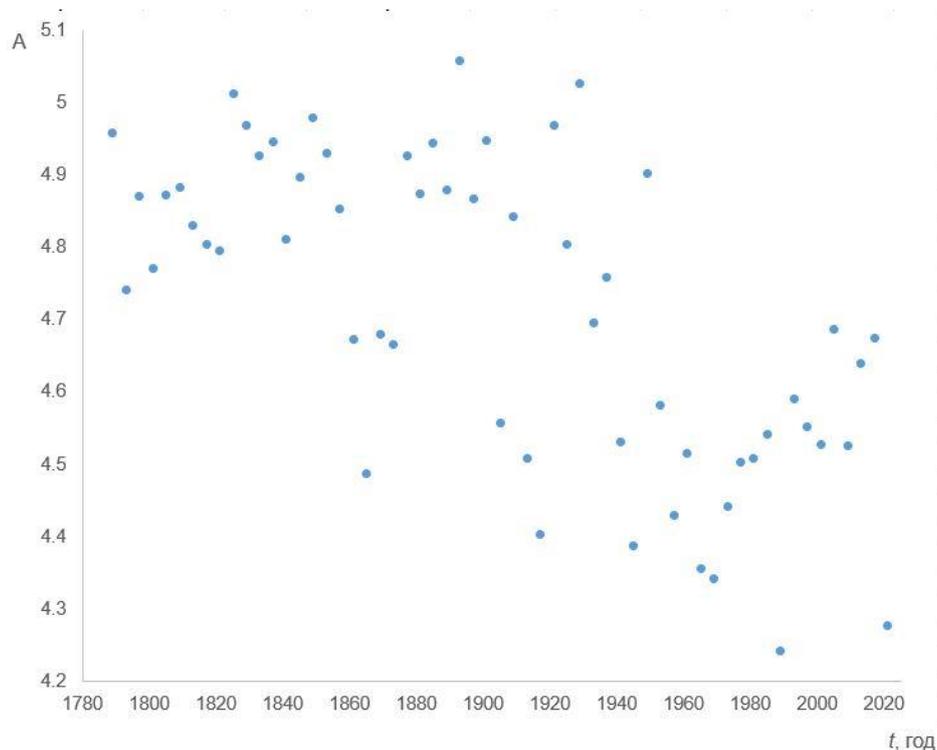


Рис. 1 – Средняя длина слова A от времени t

1. Popescu, I. I., Naumann, S., Kelih, E., Rovenchak, A., Overbeck, A., Sanada, H., Altmann, G., Word length: aspects and languages [электронный ресурс] Issues in quantitative linguistics, 3, 224-281(2013). Режим доступа: https://homepage.univie.ac.at/emmerich.kelih/wp-content/uploads/p2013_Word_length_Popescu_et_al_FS_Best.pdf (дата обращения: 26.11.2021)
2. Popescu, Ioan-Iovitz, Karl-Heinz Best, Gabriel Altmann, Unified modeling of length in language [электронный ресурс] language 2: 124 (2014). Режим доступа: <https://www.semanticscholar.org/paper/Unified-Modeling-of-Length-in-Language-Zörnig/a7f3095db891c6a72fbfd0c9a1b46cbc37eaf110> (дата обращения: 14.11.2021)
3. Liberman, M. Real trends in word and sentence length. (2011). Режим доступа: <http://languagelog.ldc.upenn.edu/nll> (дата обращения: 14.09.2021)
4. Tsizhmovska, Natalia L., Leonid M. Martyushev. "Principle of least effort and sentence length in public speaking." Entropy 23.8 (2021): 1023.

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY FOR OPTIMIZING DURABILITY SPECS AND MUTUAL ARRANGEMENT OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

Tsykarev A.N.¹, Zakharov M.V.¹

¹Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, Russia
E-mail: leantey@gmail.com

A neural network for recognizing and locating objects in three-dimensional space has been created, training and testing have begun. Such neural networks will be useful when designing objects for 3D printers, for optimizing laser cutting processes, etc.

Neural networks are a relevant topic nowadays, and their scope of application is almost limitless. The interest towards them appears mainly due to the fact that trained neural networks would simplify the process of creating three-dimensional models and increase the processing speed of the material from which the initial model is created. Work [1] demonstrates the exact process of converting the CAD format to work with neural networks.

Neural networks are actively used in automation of production and processes as well as in recognition of objects or information arrays, which significantly shortens the process of creating a task for a 3D printer in which the necessary component or array of components is created.

At the moment, the issue of training neural networks in recognizing and positioning objects in a two-dimensional space is well studied. They also determine how many objects can be positioned on a plane. Work [2] shows how steel models of different sizes are processed and how their dimensions are calculated, and the neural network shows how and how many objects can be positioned depending on the given condition, which is explored in work [3].

In this work, we are planning to create a neural network with this functionality in a three-dimensional space using the Python programming language and the TensorFlow and Keras libraries. At this stage, the neural network will recognize a three-dimensional object and provide its dimensions and what it is made of. Such neural networks would be useful when designing objects for 3D printers, optimizing laser cutting processes etc.

1. J. Choi, Y. Chang, Characteristics of laser aided direct metal/material deposition process for tool steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 597-607 (2005)
2. J.B. Ferguson, et al. Semi-empirical model of deposit size and porosity in 420 stainless steel and 4140 steel using laser engineered net shaping, *Journal of Manufacturing Processes*, 19, 163-170 (2015)

3. Fenggang Liu, et al. Achieving superior ductility for laser directed energy deposition 300 M steel through isothermal bainitic transformation, *Journal of Manufacturing Processes*, 60, 426-434 (2020)

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ - МИКРОГРИД

Жаворонков А.Е.¹, Аксенов К.А.¹, Ситников И.О.¹

¹) Департамент информационных технологий и автоматизации ИРИТ-РТФ УрФУ
E-mail: rokker1@mail.ru

FUNCTIONAL ANALYSIS OF ACTIVE ENERGY COMPLEX CONTROL SYSTEMS - MICROGRID

Zhavoronkov A.E.¹, Aksyonov K.A.¹, Sitnikov I.O.¹

¹) Information Technology and Automation Department, Ural Federal University, 19 Mira street, 620002 Ekaterinburg, Russia.

The paper proposes an approach for the functional analysis of local energy systems control - active energy complexes. The constructed approach takes into account the specifics of the implementation of the requirements under the legislation of Russia. The proposed approach makes it possible to model.

Power systems are developing towards creating intelligent services and systems the so-called Smartgrid or Microgrid. Advances in communication technology makes it possible to create interfaces for power electronics devices with the ability to effectively control complex energy systems in real-time. Multi-agent systems (MAS), which have been used for many years in computer science research, have properties that make them possible to use as a basis for building modern distributed control systems in the energy sector. They are based on the distribution of information and computational algorithms for complex networks and are an excellent technological solution for this application [1].

In this paper, a functional analysis of multi-agent microgrid management systems is proposed. The use case diagram for the microgrid management system is executed. UML development environment was used to build diagrams [2].

The most common situations in the process of work are considered as precedents. The main actors and connections (associations) are distinguished. The system in question is limited by the boundaries of the local power system of the district, the management of which is provided. The communication interfaces of a multi-agent management system are application programming interfaces (APIs) for integrating client applications.

Local agents are located in hardware integrated with individual power plants (generators, solar panels, smart load). The boundaries of local agents are limited by communication interfaces with adjacent technical systems, for example, equipment controllers. Through communication interfaces, individual software agents receive information about the world around them and perform individual reasoning. The results of calculations and reasoning turn into the output of control actions for each local element

of the power system. Each multi-magnetic control system can interact with adjacent similar systems to carry out energy and power flows.

Representation of various Smart grid use cases from an architectural point of view is possible using the Smart Grid architecture [3]. The figure 1 shows an example of constructing a usage diagram for the generalized case of the functioning of a micro grid.

For the selected subject area of active energy complexes - Microgrid - functional analysis using the UML was performed, use-case diagrams and a diagram of conceptual level components were constructed. The methods of modeling multilevel hierarchical systems in the UML diagram development environment are studied. Modeling of use cases is performed. The enlarged functional nodes of the control system are considered. For the system under consideration, a diagram of components was constructed using a standardized methodology. To study the properties of the diagram, the generally accepted UML methodology was used. The developed approach to the functional analysis of systems allows to design services of an active energy complex at various levels.

This work is supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract 02.A03.21.0006.

1. A. Zhavoronkov, K. Akseyonov, and I. Sitnikov, "Multiagent Approach of the Demand Side Management Within the Microgrids," in 2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT) (2021) pp. 0341–0344.
2. G. Booch, J. Rumbaugh, and I. Jacobson, The Unified Modeling Language User Guide, 2nd ed. (Addison-Wesley Professional, Upper Saddle River, NJ, 2005).
3. S. Wilker, M. Meisel, E. Piatkowska, T. Sauter, and O. Jung, "Smart Grid Reference Architecture, an Approach on a Secure and Model-Driven Implementation," in 2018 IEEE 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) (2018) pp. 74–79, iSSN: 2163-5145.

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ НА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДАХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Журавлев А.В.¹, Аксенов К.А.¹, Стольников К.Ю.¹

¹) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
E-mail: a.zhuravlev.npoa@mail.ru

METHODS AND MODELS FOR OPTIMIZING THE PROCESS OF EXPERIMENTAL TESTING ON TEST BENCHES OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEXES OF CONTROL SYSTEMS

Zhuravlev A.V.¹, Aksyonov K.A.¹, Stolnikov K.Y.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The paper considers the issue of creating methods and models for optimizing the process of experimental testing on test benches of software and hardware complexes of control systems. Methods and models of optimization of the experimental development process are defined.

Разработка программно-технических комплексов специального назначения, в частности, систем управления изделиями ракетно-космической техники (РКТ) относится к приоритетной области научно-технической политики государств.

Задача обеспечения работоспособности систем управления изделием РКТ может быть решена только с помощью комплексного подхода, включающего совершенствование архитектуры таких систем, разработку новой широкой номенклатуры функционально-ориентированной электронной компонентной базы, создание научной и промышленной инфраструктуры проектирования, производства, испытания и эксплуатации.

Испытательные стенды систем управления изделием РКТ, создаваемые в отрасли, являются уникальными и проектируются различными способами, как правило, на основе опыта специалистов предприятий-изготовителей систем управления. Отсутствие общих подходов к проектированию испытательных стендов на предприятиях отрасли влечет малую унификацию компонентов стендов. Поэтому актуальной становится задача разработки унифицированных методов проектирования, моделей прогнозирования параметров создаваемых (модернизируемых) испытательных стендов, алгоритмического и программного обеспечения для формализации определения оптимальной конфигурации стенда, способной обеспечить высокую степень отработки и сокращения сроков проведения одного испытания, включая этап анализа результатов.

Вопросам проектирования испытательных стендов и организации проведения испытаний систем управления изделием РКТ посвящены работы Е.А.

Микрина [1], В.М. Антимирова [2], Я.А. Хетагурова [3], В.В. Шмелева [4], А.А. Тюгашева [5] и других.

Для определения оптимальной конфигурации испытательного стенда необходима методика оценки его эффективности. Данная задача появилась относительно недавно, работы по ее решению практически отсутствуют.

Математические модели «типовой» и «автоматизированной» отработочных позиций позволяют рассчитывать показатели испытательного стенда по информации из технического задания на систему управления. Данные математические модели являются уникальными и разработаны путем обобщения накопленного практического опыта разработки и эксплуатации отработочных позиций систем управления нескольких поколений и апробированы при моделировании.

Разработана методика создания испытательных стендов СУ на основе универсальной архитектуры отработочной позиции, сформированы рекомендации по построению автоматизированной позиции для испытаний на базе унифицированных технологий автоматизации.

Применение методики построения оптимального испытательного стенда обеспечивает сокращение сроков экспериментальной отработки (при сохранении объема испытаний) и значительно повышает эффективность отработки (путем увеличения количества испытаний в процессе отработки), что позволяет выполнять жесткие требования по надежности, предъявляемые в техническом задании на систему управления, в сжатые сроки.

1. Е.А. Микрин Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2003) с. 94-128
2. В.Н. Ачкасов, В.М. Антимиров, В.Е. Межов, В.К. Зольников Разработка средств автоматизации проектирования специализированных микросхем для управляющих вычислительных комплексов двойного назначения: монография (Воронежский государственный университет, Воронеж, 2005) с. 120-143
3. Я.А. Хетагуров, Практические методы построения цифровых надежных систем (Высшая школа, Москва, 2008) с. 50-105
4. В.В. Шмелёв, Е.Б. Самойлов, Н.В. Нездоровин Распространение свойств сети Петри на вычислительную модель анализа результатов телеизмерений // Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения» (Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 2013) с. 88-89
5. А.А. Тюгашев, Е.А. Мясникова, Е. Сопченко, Инструменты генерации тестов для программ управления спутниками (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, 2015) с. 287-290

DEVELOPMENT OF A TEXT ANALYSIS AGENT FOR THE SUBJECT AREA "TRAIN SCHEDULE"

Aksyonov K.A.¹, Sichona Chizo Limpo¹, Ziomkovskaya P.E.¹,
Aksyonova O.P.¹, Aksyonova E.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
E-mail: polina.ziomk@yandex.ru

In this article, on the basis of multiple inputs of possible questions concerning the subject area "Train Schedule" from the users, the accuracy of the definition of the request by the chatbot Twin and the accuracy of the response are checked.

One of the six areas of scientific research of artificial intelligence is the processing of texts in natural language. The development of question–answering systems (Q&A systems) is based on the analysis of the ambiguity of natural language, which is a type of information search systems capable of processing a user—entered question in natural language and giving a meaningful answer.

In this article, an omnichannel communication platform for the creation of chatbots using the TWIN question and answer system was developed and tested. It is able to process questions entered by users and give to give answers.

In this article, on the basis of multiple inputs of possible questions concerning the subject area" Train Schedule" from the users, the accuracy of the definition of the request by the chatbot and the accuracy of the response are checked. The results showed that the system can not always recognize the precision of a users intention and therefore can not always give the correct answer: for example couldn't answer correctly on questions "Schedule Kurgan-Vihor 01.11.2021" or Can i take my dog with me?

However, after analyzing the errors, it was discovered that it was possible to correct these errors and achieve better results.

1. Antonova, A., Aksyonov, K., & Aksyonova, O. (2021). An imitation and heuristic method for scheduling with subcontracted resources. *Mathematics*, 9(17), [2098]. <https://doi.org/10.3390/math9172098>
2. Naumenko A.M., Sheludko S.D., Yuldashev R.Yu., Khlebnikov N.O., Radygin V.Yu. Development of a question-and-answer system with neural network training based on modern free technologies // *Innov: electronic scientific journal*. 2017. No.2 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-voprosno-otvetnoy-sistemy-s-ney-rosetevym-obucheniem-na-baze-sovremennyh-svobodnyh-tehnologiy> (accessed: 10/26/2021).
3. Mozgovoy M. V. Simple question-answer system based on the semantic analyzer of the Russian language // *Bulletin of St. Petersburg State University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Management processes*. 2006. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostaya-voprosno-otvetnaya-sistema-na-osnove-semanticheskogo-analizatora-russkogo-yazyka-1> (accessed: 10/26/2021).

РАЗБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БИОВОЗРАСТА ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Зотов А.О.¹, Лимановская О.В.¹, Гаврилов И.В.², Мещанинов В.Н.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: anton@zotov.online

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION TO PREDICT BIOLOGICAL AGE BASED ON FUNCTIONAL DATA

Zotov A.O.¹, Limanovskaia O.V.¹, Gavrilov I.V.², Meshchaninov V.N.²

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

²) Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

This paper considers the development of a web application for predicting biological age and further storage, modification, presentation, and analysis of data. The web application provides multi-user access and allows you to compare biological age data with impacts on an organism over time.

Биовозраст человека определяется на основе отобранных параметров организма, которые называются биомаркерами, с помощью различных математических моделей. Разница хронологического возраста с биологическим позволяет оценить состояние организма человека. Изменение разницы биовозраста с хронологическим возрастом во времени может дать понимание о воздействии болезни или терапии на организм, скорости возрастных изменений [1].

Ранее разработана математическая модель композиции случайного леса для прогнозирования биовозраста по следующим функциональным параметрам: АДС, АДД, АДП, задержка дыхания на вдохе, задержка дыхания на выдохе, жизненная емкость легких, масса тела, аккомодация, острота слуха, статическая балансировка [2]. Необходимо приложение, которое может автоматически строить на основе данной модели прогнозы и использоваться в медицинских организациях.

В рамках работы разработано многопользовательское веб-приложение, построенное на основе ролевой модели пользователей: администраторы медицинских организаций могут добавлять в систему аккаунты врачей и изменять их данные, врачи добавляют и изменяют данные пациентов. Врачи производят измерения значений биомаркеров пациентов и веб-приложение на их основе прогнозирует биовозраст. Также, врачи могут вносить в систему воздействия на организм, такие как болезнь или терапия и изменять внесенные данные.

Веб-приложение представляет измерения биовозраста и воздействия на организм в виде списка и графика, позволяет фильтровать данные и отправлять их

пациенту с помощью электронной почты. Также, система сравнивает значения биомаркеров измерения с эталонными значениями для определенного возраста и показывает разницу между ними.

Архитектура веб-приложения построена на основе клиент-серверной модели, где клиент общается с сервером посредством протокола HTTP. Взаимодействие клиента и сервера происходит согласно принципам REST API.

Клиентская часть разработана на языке программирования TypeScript с применением фреймворка React и библиотеки компонентов интерфейса Antd [3].

Архитектура серверной части построена согласно паттерну Onion. Серверная часть разработана на платформе .NET 6 и языке программирования C# с применением фреймворка ASP.NET [4]. Для взаимодействия объектно-ориентированной модели с СУБД применяется Entity Framework. В качестве СУБД используется PostgreSQL. Для обеспечения совместимости математической модели прогнозирования биовозраста, разработанной на языке программирования Python применен фреймворк ONNX.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России на 2021 г. № 056-00054-21-00 от 17.12.2020 г., тема: «Индивидуализация подбора комплексной геронпрофилактической терапии»

1. Самородская И. В., Старинская М. А. Биологический возраст и скорость старения как фактор развития неинфекционных заболеваний и смертности. Профилактическая медицина, 2016. С. 41-46.
2. Лимановская О.В., Гаврилов И.В. и др. Моделирование биологического возраста пациентов на основе их функциональных показателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии : [website]. URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=966> (дата обращения 10.02.2022).
3. TypeScript Documentation // TypeScript : [website]. URL: <https://www.typescriptlang.org/docs> (дата обращения: 10.02.2022).
4. NET documentation // Microsoft docs : [website]. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet> (дата обращения: 10.02.2022).

СЕКЦИЯ 7
БИОИНЖЕНЕРИЯ И БИОТЕХНОЛОГИИ

THEORETICAL ANALYSIS OF CLUSTERS LIKE-DENSE FERROPARTICLES IN MAGNETIC HYPERTHERMIA THERAPY

Abu-Bakr A.^{1,2}, Zubarev A.¹

¹) Theoretical and Mathematical Physics Department, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University, Lenin Ave, 51, Ekaterinburg, 620083, Russia

²) Mathematics and Computer Science Department, Faculty of Science, Menoufia University, Shebin El-Kom, 32511, Egypt
E-mail: alibakrm@yahoo.com

Experiments show that clusters consisting of micro- or nano-sized ferromagnetic particles bounded by polymer coat are very efficient from the point of view of the biomedical and biotechnology application of magnetic hyperthermia therapy.

Experiments show that clusters consisting of micro- or nano-sized ferromagnetic particles bounded by polymer coat are very efficient from the point of view of the biomedical and biotechnology application of magnetic hyperthermia therapy [1, 2]. The essential goal of magnetic hyperthermia is in the injection of a magnetic fluids (It is called a ferrofluids) with nano-sized ferroparticles into the tumor area. The ferroparticles are heated by linearly polarized magnetic field. Many studies illustrate that the method of magnetic hyperthermia allows heating in vivo tumour region up to temperatures 42°C–50°C. In this temperature range the tumour cells die, whereas the healthy cells survive. In this work, we introduce the theoretical analysis of the heat production by spherical clusters. The interaction of cluster particles occurs under applied alternating magnetic field. The modeling approach is solved numerically based on the remagnetization dynamics of cluster particles and intensity equation of heat production, in order to evaluate the magnetic hyperthermia. The efficiency of the thermal effect produced by the entire cluster and single particles are compared.

This work was supported by the Russian Science Foundation (project no. 18-19-00008).

1. Y. Jing, H. Dong-Yan, M. Z. Yousaf, H. Yang-Long, G. Song, Chin. Phys. B 22(2), 1-13 (2013).
2. A. F. Abu-Bakr, A. Zubarev, J.Magn.Magn. Mater 377, 470-473, (2019).

STUDY OF THE BIOTISSUE HISTOTRIPSY BASED ON MICROBUBBLE DYNAMICS IN HYDROGELS

Abu-Nab A.K.^{1,4}, Mohamed K.G.², Abu-Bakr A.F.^{3,4}

¹⁾ Fluid Dynamics and Seismics Lab, Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow 141700, Russia

²⁾ Department of Mathematics, Faculty of Science, Benha University, Benha, Egypt

³⁾ Theoretical and Mathematical Physics Department, Ural Federal University, Ekaterinburg, 620083, Russia

⁴⁾ Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, Menoufia University, Shebin El-Koom 32511, Egypt

E-mail: abunab.ak@phystech.edu

Biotissue histotripsy is a technique that uses sound waves to create cavitation in tissue. High-intensity ultrasonic waves perform the production of small vacuum microbubbles or microcavities in the liquid during the low-pressure cycle.

Biotissue histotripsy [1-3] is a technique prospective which is based on sound waves that produce cavitation. Throughout the low-pressure cycle, high-intensity ultrasound waves perform to the formation of small vacuum microbubbles or microcavities in the liquid. When these microbubbles reach a volume at which they can no longer absorb the energy, they implode when related to higher pressure. The microbubbles form within a narrow region via the superposition of ultrasonic waves and destroy tumor cells at the cellular organelle level. In this work, we theoretically and mathematically formulate the problem of microbubble dynamics in histotripsy, on the bases of mass equation, and modified Keller-Miksis equation in a viscoelastic medium and solve the given models by using the modified Plesset-Zwicky method. Additionally, this work concerned with to study the behaviour of microbubbles radius with a change in time for a single microcavitation bubble, and the multi bubbles that interaction with each other. These results suggest that our proposed strategy to determine the radius of microbubble cavitation with the different thermal effects through biotissue histotripsy. Furthermore, it is believed that the rapid expansion and collapse of the cavitation bubbles produce high mechanical strain and stress repeated over many pulses to disrupt the cells immediately surrounding the cavitation bubbles.

1. Ibsen S., Schutt C.E., Esener S. Microbubble-mediated ultrasound therapy: a review of its potential in cancer treatment. *Drug Des. Devel. Therapy* 7, 375–388 (2013).
2. Xu Z., Halla T.L., Vlaisavljevich E., Jr F.T. Histotripsy: the first noninvasive, non-ionizing, non-thermal ablation technique based on ultrasound. *Int. J. Hyperth.* 38(1), 561–575 (2021).
3. Bader K.B., Vlaisavljevich E., Maxwell A.D. For Whom the bubble grows: Physical principles of bubble nucleation and dynamics in histotripsy ultrasound therapy *Ultrasound Med. Biol.* 45(5), 10561080 (2019).

FUNCTIONAL PROPERTIES OF CORN STARCH EXTRACTED FROM FOUR VARIETIES OF MAIZE (ZEA MAYS)

Adepoju F.O.^{1,2}

¹⁾Rufus Giwa Polytechnic, Owo

²⁾Ural Federal University, Ekaterinburg

E-mail: besee010@gmail.com

This study entails extraction and evaluation of starch from four varieties of *Zea mays*. From the results of the study, yellow maize and popcorn had higher water holding capacity than regular white maize and quality protein maize.

Starch is a polysaccharide that consists of several glucose units linked together by glycosidic bonds. What is more, all green plants use starch as an energy store, including corn (*Zea mays*). In this context, the purpose of this study was to extract and evaluate the properties of starch produced by four different maize varieties. The varieties include white maize (Wm), yellow maize (Ym), quality protein maize (Qpm) and popcorn (Pc). The process of extracting corn starch from maize involves multiple steps such as cleaning, conditioning, dehulling, etc. The functional properties and gelatinization properties of the produced starches were then analysed using standard methods. The result of the study showed that the bulk density of the starch was between 0.714-0.750, with the highest starch extracted from popcorn. The starches from popcorn and yellow maize had the highest capacity to absorb water, and the least capacity to absorb oil, respectively. Quality protein maize and regular white maize absorb more oil than other starches. In addition, the starch extracted from the four samples foamed and became unstable after more than 30 minutes. Yellow maize and popcorn starches could be integrated into the food system where higher water absorption is required, while starch from quality protein maize could be added to complementary foods where low water absorption capacity will be required.

1. Brown W. H and Pooh T. Introduction to Organic Chemistry. Third Edition. Published by John Wiley and Sons. (2005).
2. Babajide J.M, Idowu M.A. and Lasekan O.O. Nigerian food Journal 21, 23-26 (2003).

MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING APPLICATION FOR DIABETES PREDICTION

Alzuabi A.¹, Smirnov A.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia
E-mail: alialzuobi60@gmail.com

Diabetes is common disease in this world, the aim of our study is to predict this disease by using Machine learning and Deep learning algorithms.

Machine learning (ML) has become a tool used in many areas of our lives, including healthcare. Machine learning applications are becoming more and more widely used in healthcare, especially in the case of early detection of disease.

Diabetes is one of the most common diseases around the world, and with the help of machine learning algorithms, we have the ability to predict diabetes early in patients.

Electronic medical records allow us to obtain patient information more quickly and efficiently, and machine learning allows us to predict disease early and allows patients to take precautionary measures to prevent complications that may occur from infection with a particular disease.

In our study, we use a database is originally from the National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. All patients here are females at least 21 years old.

The datasets consists of several medical parameters and one target variable, Result. Predictor variables includes the number of pregnancies the patient has had, their Body mass index, insulin level, age, etc.

The study included 4 different types of models:

1. Logistic Regression.
2. Random Forest.
3. Support Vector Machines.
4. Convolutional Neural Networks.

1. Rajiv Singla, Ankush Singla, Yashdeep Gupta, Sanjay Kalra. Indian Journal of Endocrinology and Metabolism 23(4) 497 (2019).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СУБСТРАТОВ НА АКТИВНОСТЬ БИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ СВЕТЯЩИХСЯ БАКТЕРИЙ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ

Аламанова А.А.¹, Торгашина И.Г.¹, Есимбекова Е.Н.^{1,2}

¹) Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²) Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия

E-mail: azhar.alamanova@gmail.com

EVALUATING THE EFFECT OF SUBSTRATES ON THE STABILITY OF THE BACTERIAL LUMINESCENT SYSTEM DURING CO- IMMOBILIZATION IN THE STARCH GEL

Alamanova A.A.¹, Torgashina I.G.¹, Esimbekova E.N.^{1,2}

¹) Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

²) Institute of Biophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

This study presents the evaluation of the effect of the substrates: tetradecanal and NADH on the activity of the coupled enzyme system NAD(P)H: FMN oxidoreductase – luciferase during co-immobilization and long-term storage.

Биолюминесцентные ферментативные системы на основе бактериальных люцифераз являются уникальным инструментом для использования в биотестировании, позволяющим быстро и точно получать качественную оценку исследуемой пробы, оценить суммарный эффект загрязняющих веществ на ферментативную тест-систему [1, 2]. Иммуобилизация ферментов светящихся бактерий в полимерные гели приводит к повышению их устойчивости к химическим и физическим факторам среды: наблюдается расширение рН – оптимума в кислую и щелочную область, повышаются термостабильность и устойчивость ферментов к высоким концентрациям солей, что позволяет широко их использовать для научных исследований и рутинных анализов объектов окружающей среды [3, 4]. В лаборатории фотобиологии Института биофизики СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН совместно с лабораторией биолюминесцентных биотехнологий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» разработан реагент «Энзимолюм», представляющий собой диски высушенного крахмального геля, включающий биферментную систему светящихся бактерий NAD(P)H: FMN-оксидоредуктаза – люцифераза (R+L) и субстраты NADH и тетрадеканаль. Реагент прост в использовании, так как для одного измерения требуется лишь добавление раствора FMN. Однако в ходе длительных экспериментов наблюдалась потеря активности реагента «Энзимолюм».

Целью работы являлась оценка влияния субстратов: тетрадеканаль и NADH на активность биферментной системы R+L при совместной иммуобилизации в зависимости от времени хранения.

Для достижения цели была проведена иммобилизация биферментной системы R+L в следующих комбинациях: R+L, R+L+NADH, R+L+ тетрадеканаль, R+L+NADH+тетрадеканаль. Полученные реагенты хранились в пенициллиновом флаконе при температуре 4 °С. Активность реагентов оценивали по максимальной интенсивности свечения, субстраты, отсутствующие в реагенте, добавлялись в форме раствора. Для оценки динамики активности реагентов проводились измерения интенсивности свечения с интервалом в одну или две недели, измерения проводились на люминометре GloMax® 20/20 компании Promega Corporation. Рассчитывалась остаточная интенсивность свечения в процентном отношении к интенсивности свечения реагентов на первой неделе после иммобилизации.

В результате экспериментов показано, остаточная интенсивность свечения через 14 недель хранения для реагента R+L+тетрадеканаль составила 75,9 %, для реагента R+L – 65,8 %, для реагента L+R+NADH+тетрадеканаль составила 61,6 %, и для реагента L+R+NADH – 45,3 %. Таким образом, максимальная потеря активности наблюдалась при совместной иммобилизации биферментной системы R+L и NADH, тогда как минимальная потеря активности наблюдалась при совместной иммобилизации биферментной системы R+L и тетрадеканаля. Можно предположить, что значительный вклад в потерю активности биферментной системы R+L иммобилизованной совместно с субстратами вносит окисление NADH в процессе длительного хранения, тогда как тетрадеканаль, вероятно, стабилизирует люциферазу.

Участие в IX Международной молодежной научной конференции «Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2022» поддержано Красноярским краевым фондом науки.

1. Исмаилов, А.Д. Биохимия 80(6), 867 – 881 (2015).
2. Esimbekova, E.N., Torgashina, I.G., Kalyabina, V.P., Kratasyuk, V.A Contemporary Problems of Ecology 14(3), 290–304 (2021).
3. Esimbekova E.N., Torgashina I.G., Kratasyuk V.A. Biochemistry 74(6), 695-700.
4. V. P. Kalyabinaa, E. N. Esimbekova, I. G. Torgashina, K. V. Kopylova, and V. A. Kratasyuk. Doklady Biochemistry and Biophysics 485, 107–110 (2019).

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ КЛЕТОК ДРОЖЖЕЙ ПОД МИКРОСКОПОМ ПРИ ПОМОЩИ U-NET АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОСЕТИ

Аристова Е.В.¹, Смирнов А.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт, Екатеринбург, Россия
E-mail: aristova020303@gmail.com

SEGMENTATION OF MICROSCOPE IMAGES OF YEAST SELLS USING U-NET ARCHITECTURE NEURAL NETWORK

Aristova E.V.¹, Smirnov A.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Institute of Physics and Technology, Ekaterinburg, Russia

Using U-net architecture of neural network in studying yeast microscope images can help to improve the accuracy of research and make it easier for scientists to study reaction of organisms to different factors. The aim of the work is to create an algorithm and try it on real images of yeast.

Качественная сегментация изображений на сегодняшний день является одной из важнейших задач машинного обучения. Популярность машинного обучения в последние годы растёт всё быстрее, а область применения данных алгоритмов всё расширяется. Но наиболее востребована сегментация изображений в биологических и медицинских исследованиях.

Применение сегментации изображений в этой области позволит повысить точность анализа изображений, а также увеличить скорость обработки и облегчить работу ученых и врачей.

На сегодняшний день основной проблемой является поиск точных алгоритмов, способных работать с относительно небольшим объемом исходных данных. Таким алгоритмом является U-net архитектура сверточной нейросети. Её использование позволяет работать с любыми объемами изображений, а также с большой точностью предсказывать результаты при обучении на сравнительно небольшом наборе данных.

Сегментация изображений для определения живых клеток на изображениях дрожжей под микроскопом является одним из множества примеров использования алгоритмов глубокого обучения в биологических исследованиях. Основной задачей в данной работе является создание алгоритма, позволяющего получить сегментированное изображение по исходной фотографии для подсчёта числа живых организмов на фотографии. Это позволит облегчить изучение влияния различных факторов на жизнедеятельность микроорганизмов.

Нейросеть планируется создавать при помощи языка программирования Python, как наиболее простого и доступного для использования. Еще одной

причиной выбора данного языка программирования является множество разнообразных библиотек для обработки и визуализации данных, а также построения нейронных сетей.

1. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Preprint: arXiv:1505.04597.

BIOFUELS: PRESENT AND FUTURE

Asase R.V.¹, Ivantsova M.N.¹

¹Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University. Ekaterinburg, Russia
E-mail: Richardasase@gmail.com

The abstract describes biofuels in general, their benefits, both economically and environmentally. It also talks about the current issues regarding biofuel production and the future prospects and hence the need to research and explore this field.

Large volumes of plants and animal wastes (biomass) are generated both domestically and industrially globally. Biomass including algae, can be transformed into fuel, called biofuel. Biofuel production and usage, under the world's vision of combating global warming and climate change issues, will serve as a form of carbon capture and storage. Biofuels are environmentally benign and an alternative to petroleum and other fossil fuels. It is as well economically advantageous to the other fuel sources. Due to the depletion of the crude oil reserves both developing and developed economies are now exploring the production and use of biofuels. Especially lignocellulose biomass which is the most abundant source of biomass. There are advances to produce biofuels on industrial scale [1]. Recently there are advances made in this field including technological innovations, thus to reduce the number of operational steps, as well as production inhibitors in order to have a higher conversion efficiency. This is because, the potentials in application of biofuel production have been under explored [2]. Especially its production on industrial scale.

In conclusion, biofuel as a matter of fact is value added bioproduct and very safe inexpensive, perfect substituent for fossil fuels. The development and exploitation of new technologies in this field currently, makes this field have a promising future.

1. Jatoi, A. S., Abbasi, S. A., Hashmi, Z., Shah, A. K., Alam, M. S., Bhatti, Z. A., ... Iqbal, A. Recent trends and future perspectives of lignocellulose biomass for biofuel production: a comprehensive review. *Biomass Conversion and Biorefinery* (2021).
2. Machineni, L. Lignocellulosic biofuel production: review of alternatives. *Biomass Conv. Bioref.* 10, 779–79 (2020).

МОБИЛЬНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ

Бочкарев Ю.А.¹, Севастьянов М.С.¹, Хохлов К.О.¹, Панкин В.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: yuraboch@mail.ru

MOBILE RADIOMETRIC MONITORING SYSTEM FOR RADIOPHARMACEUTICALS

Bochkarev Y.A.¹, Sevastianov M.S.¹, Khokhlov K.O.¹, Pankin V.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The aim of the work is to develop a device for the implementation of medical radiometry with the possibility of autonomous operation.

Стремительное развитие радиодиагностического оборудования и разработка новых радиофармпрепаратов в значительной степени изменили положение радионуклидной диагностики (РНД) в клинической медицине и открыли широкие возможности для получения информации о физиологических и биохимических процессах и морфологических изменениях

На мировом рынке медицинского оборудования для радионуклидной диагностики представлен ряд аппаратов. В основном это иностранное оборудование. Из-за больших габаритов и компоновки данные аппараты можно использовать только в качестве стационарных диагностических приборов. Высокая стоимость и сложность обслуживания, значительные начальные затраты являются сдерживающими факторами для распространения высокотехнологичных и информативных методик РНД. С учетом достижений промышленности и новых аппаратных решений для регистрации ионизирующего излучения была поставлена задача создания мобильной медицинской системы контроля РФП, лишенной недостатков импортного оборудования [1-3].

Так в ходе работы на кафедре экспериментальной физики была разработана портативная радиометрическая система. Счетная система основана на 16 независимых счетных каналах и последовательном периферийном интерфейсе. Микропроцессорная система состоит из микроконтроллера и внешней микросхемы памяти для своевременного сохранения результатов измерения интенсивности радиоактивности. Выполнено моделирование схемы в системе автоматизированного проектирования для изготовления электронного блока. Завершена установка радиоэлементов на разработанные платы с отладкой и проверкой работоспособности. Проведена серия экспериментов с источником гамма-излучения.

Недостатком разработанной системы является отсутствие возможности спектрометрии. На данном этапе разработки возможен только подсчет активности

РПФ, без возможности определения его типа. Интересным представляется возможность идентификации радиофармпрепарата введённого в организм, а также одновременной регистрации излучения разных энергий. Это позволит реализовать методы РНД, при которых в организм пациента вводят два и более РФП.

Таким образом в ходе дальнейшей работы необходимо усовершенствовать данную систему, настроить спектрометрический тракт. Разработать алгоритм обработки сигнала и счета гамма-квантов, что позволит реализовать метод радионуклидной диагностики с использованием нескольких радиофармпрепаратов. Провести серию экспериментов с использованием двух и более источников гамма-излучения и разными энергиями.

1. Koksharov V.A., Kortov S.V., Bazhukov S.I. *Medicine target projects*, 12 (2013)
2. Pankin S.V., Sarychev M.N., ANRI, 2, 40-47 (2018)
3. Bazukov S.I., Kopelyan E.I., Sedunova I.N., *Collection of reports of the X Issyk-Kul International Conference on Radiation Physics SCORPH-2013*, 174-179 (2013)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КЛЕТОК, ОСНОВАННОЕ НА АКТИВНОМ ТРАНСПОРТЕ ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ

Бондарь В.В.¹, Мелких А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: muksun20001@gmail.com

MODELING OF CELL MOVEMENT BASED ON ACTIVE TRANSPORT OF SUBSTANCES THROUGH THE MEMBRANE

Bondar V.V.¹, Melkikh A.V.¹

¹) Ural Federal University, Institute of Physics and Technology, Yekaterinburg, Russia

The mechanisms of the movement of protocells in the early stages of evolution are the subject of discussion. The movement of modern bacteria is also not fully understood.

The purpose of this work is to construct physico-chemical models of unicellular movement and compare their effectiveness.

Механизмы движения протоклеток на ранних стадиях эволюции жизни остаются предметом дискуссий. Движение современных бактерий тоже не до конца изучено. Молекулярные основы некоторых механизмов движения стали известны лишь в последнее время. Построение теоретических моделей такого движения является актуальным, поскольку экспериментальная реализация условий на ранних стадиях эволюции затруднена.

Целью данной работы является построение физико-химических моделей движения одноклеточных для разных типов движения, а также сравнение эффективности этих типов движения. Модели движения основаны на моделях активного транспорта ионов в различных типах клеток, предложенных ранее [1, 2].

Были предложены оригинальные модели характеризующие такие распространённые способы передвижения, как скольжение (*gliding motility*), поддерживаемая подвижность (*twitching motility*), движение при помощи жгутиков для современных клеток. Были предложены различные модели, соответствующие более простой структуре, которыми потенциально могли обладать первые клетки.

Это позволило произвести расчеты линейной скорости движения клетки, разные для каждого способа движения. Те, что соответствуют ныне существующим организмам, согласуются с экспериментальными данными.

Сравнивая результаты между протоклетками и ныне существующими заметно, что скорость у первых в среднем выше, что является закономерным следствием эволюции.

1. Melkikh A.V., Seleznev V.D. Mechanisms and models of the active transport of ions and the transformation of energy in intracellular compartments. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2012. V. 109. Issues 1-2, 33-57.
2. Melkikh A.V., Sutormina M.I. *Developing synthetic transport systems*. 2013. Springer. Dordrecht. ISBN 978-94-007-5892-6.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ КОЖНЫХ АНОМАЛИЙ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

Бояркин А.М.¹, Долгополов А.Н.¹, Корсакова Е.А.¹

¹) Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: korsakovaea@mail.ru

IMPROVEMENTS IN INFRARED THERMOGRAPHY-BASED DIAGNOSTICS OF SKIN ABNORMALITIES

Boyarkin A.M.¹, Dolgoplov A.N.¹, Korsakova E.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

In this study, we present a way to increase the effectiveness of infrared thermography imaging as a tool for the medical diagnosis of various skin diseases. We expect that this improved technique will allow a more accurate diagnosis of cancer.

Выявление очагов кожи с повышенной температурой различной этимологии с использованием инфракрасной термографии является перспективным направлением медицинской диагностики. С помощью ИК термографии успешно выявляют различные виды рака, кожных инфекций, воспалений [1-4]. В данной работе мы приводим способ увеличения эффективности данного метода, а именно увеличение контраста нормальная ткань/воспаленная ткань. Для проверки этого способа был проведен эксперимент, в котором участвовал один доброволец с небольшим повреждением кожного покрова большого пальца руки (порез двухдневной давности с размерами 1 мм x 3 мм). Регистрацию тепловых изображений проводили с помощью тепловизионной камеры FLIR E30. Коэффициент черного тела был принят за 96%. Тепловое изображение данного объекта, полученное обычным способом без предварительной подготовки кожных покровов, не позволило выявить воспаленное повреждение кожи (Рис. 1а). После этого, область с повреждением кожи протерли этиловым спиртом (ХЧ, 95%). Так как спирт испарился быстрее с более нагретой воспаленной поверхности, то это место локально охладилось быстрее, чем остальная поверхность, что привело к появлению большего контраста нормальная ткань/воспаленная ткань (Рис. 1б).

Этот способ может быть также интересен для выявления раковых образований кожи на ранней стадии. Зачастую, картина распределения теплового поля кожных покровов со злокачественными новообразованиями неспецифична. Любое воспаление может дать картину с локальным повышением температуры, что может привести к росту ложноположительной диагностики раковых заболеваний. Специфичным может быть такой фактор, как динамика восстановления температуры после определенного воздействия на кожу, например, как было указано

выше, протирания кожных покровов этиловым спиртом. Так как вблизи злокачественного новообразования формируется расширенная сеть сосудов, то теплообмен на таких участках происходит немного иным образом, чем у незлокачественной воспаленной ткани. Мы ожидаем, что учет этой разницы позволит проводить более точную диагностику раковых заболеваний.

1. Jiang, L.J., Ng, E.Y.K., Yeo, A.C.B. *Journal of Medical Engineering and Technology* 29(6), 257-267 (2005).
2. Faust, O., Rajendra Acharya, U., Ng, E.Y.K., Hong, T.J., Yu, W. *Infrared Physics and Technology* 66, 160-175 (2014).
3. Mazeika, E., Jariene, V., Valiukeviciene, S. *Postepy Dermatologii i Alergologii* 38(1), 32-35 (2021).
4. Negied, N.K. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* 33(6), 1957002 (2019).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Буханов Е.Р.^{1,2}

¹⁾ Институт Физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

²⁾ Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

E-mail: k26Tony@ya.ru

MODELING OPTICAL PROPERTIES OF BIOLOGICAL STRUCTURES

Bukhanov E.R.^{1,2}

¹⁾ Kirensky Institute of Physics FRC KSC of SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

²⁾ Federal Research Center KSC of SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Numerical calculations of the optical characteristics were made of the plant chloroplast structure based on thylakoids and the stromal distance between grana. The results showed that even on such small structures there are resonance phenomena in the visible wavelength range.

С каждым годом все больше внимания ученых привлекается к уникальному строению живого мира в мезоскопическом масштабе. Лишь с недавних лет стало понятно, что подобное строение является не только своеобразным скелетом, но и оказывает высокое влияние на различные физические и химические процессы, протекающие внутри объекта. Так, например, серебристые рыбы обладают сверхрешетками, которые отражают широкий спектр света от видимого до ультрафиолета [1]. Или блестящая окраска бронзовых и серебристых жуков, основанная на подобных фотоннокристаллических структурах [2]. Не так давно в некоторых растениях, обладающих иризацией также была найдена связь этой неповторимой окраски с фотоннокристаллическими клетками находящимися в эпидермисе [3]. И буквально несколько лет назад был объяснен синий окрас голубых елей, формирующихся за счет квазиупорядоченных восковых нанотрубок поверх листа [4]. В прошлом году была опубликована статья, где была определена связь структуры хлоропластов на основе гран и расстояния между ними с захватом света листьев [5].

В данной работе было интересным рассмотреть гранальные структуры (Рис. 1а) на основе модели, состоящей из тилакоидов (Рис. 1б), слоев, имеющих размеры на порядок меньше длины волны видимого света на предмет возможных резонансных явлений внутри этой структуры.

За счет плотной упаковки и дефектного слоя, представляющего собой стромальное расстояние (расстояние между гранами) и имеющего размер порядка половины длины волны данная структура показала отличные резонансы. А также четкую зависимость сравнимую с резонаторами Фабри – Перо. При наблюдении параметров электромагнитной волны под различными углами отчетливо наблюдаются эффекты угла Брюстера для поляризованного света.

Данное исследование показало, что исследование более малых масштабов биологических структур не только показывает в них оптические эффекты, наблюдаемые на больших масштабах, но и открывает новые эффекты, не отображаемые на более крупных структурах. Все эти открытия ведут к тому, что биологический мир тесно связан с резонансными оптическими явлениями.

1. Bossard, J.A., Lin, L., Werner, D.H. Evolving random fractal Cantor superlattices for the infrared using a genetic algorithm. *J. R. Soc. Interface* 13, 20150975 (2016).
2. Lenau, T., and Barfoed, M. *Advanced Engineering Materials* 10(4), 299–314 (2008).
3. Jacobs, M., Lopez-Garcia, M., Phrathep, O.P., Lawson, T., Oulton, R., Whitney, H.M. *Nat. Plants* 2, 16162 (2016).
4. Bukhanov, E.R., Gurevich, Y.L., Shabanova, K.A. *Proceedings of the 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS-Fall)*, 2890–2897 (2019).
5. Bukhanov, E., Shabanov, A.V., Volochaev, M.N., Pyatina, S.A. *Plants* 10, 1967 (2021).

MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING METHODS OF MICROORGANISMS' SEGMENTATION SURVEY

Vertenberger E.I.¹, Chechulina M.Y.¹, Smirnov A.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

E-mail: marycherry283@gmail.com

This survey is aimed to release different methods of biological image segmentation via computer processing and compare their efficiency.

Analysis and search for patterns in data are the primary tasks modern scientists face through various fields of science. In medical research, there is an expansion of large data processing: images of biological objects from a microscope, various medical imaging data (ECG, ultrasound, x-rays and tomograms, etc.). Many of the biomedical studies require identification, tracking and analysis of the microorganisms. These purposes can be reached manually, but computer processing means nowadays turn out to be faster and more efficient.

In the medical field, the problem of classification is most often considered. As input, the algorithm receives a training set of objects, for each of which the answers are known in advance (supervised learning). First, the features of each object are distinguished, and then the objects are classified according to the obtained features. Objects with a similar set of features will be assigned to the same class. Semantic image segmentation is the process of division of an image into separate groups of pixels, areas corresponding to one object with the simultaneous determination of the type of object in each area. It is even more complex than the task of image classification and object search, which is due not only to the need to determine object classes, but also to identify their structure, to correctly select parts of objects in the image.

We focus on the application of classical machine learning algorithms such as Random Forest, XGBoost and Light-GBM and the deep learning architectures such as U-net and VGG16. The appropriate efficiency criteria are the accuracy and Mean IoU (Intersection-over-Union or Jaccard Similarity Index. A metric for the degree of intersection between two bounding frames) so the methods rating would be based on them. We have used an open database of images of cells in the CA1 layer of the brain hippocampus, obtained by electron microscopy. The result of the work of the algorithms should be the identification of mitochondria in the pictures.

1. Seo, H., Badieli Khuzani, M., Vasudevan, V., Huang, C., Ren, H., Xiao, R., Jia, X., and Xing, L. *Medical physics* 47(5), e148–e167 (2020).
2. Intisar Rizwan I Haque, Jeremiah Neubert. *Informatics in Medicine* 18, 100297 (2020).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЛЕГОЧНОЙ ПНЕВМОНИИ У ПАЦИЕНТОВ С COVID-19

Чернобровкин Т.В.¹, Краев Д.В.¹, Курсанов А.Г.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт Иммунологии и Физиологии Уральской Академии Наук,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: t.v.chernobrovkin@urfu.me

USING NEURAL NETWORKS TO DIAGNOSE PULMONARY PNEUMONIA IN PATIENTS WITH COVID-19

Chernobrovkin T.V.¹, Kraev D.V.¹, Kursanov A.G.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Yekaterinburg, Russia

A modification of the U-net neural network was developed to diagnose pulmonary pneumonia in patients with COVID-19. The accuracy of the obtained model is 93%. Training was performed on a dataset of 3520 CT scans.

На сегодняшний день проблема диагностики COVID-19 всё ещё актуальна. Ввиду большого количества заболеваний необходим быстрый и точный способ детектирования COVID-19 для уменьшения нагрузки на медицинский персонал. В качестве стандартного тестирования COVID-19 используется полимеразная цепная реакция обратной транскриптазы (RT-PCR). Однако данный метод не может обеспечить быстрое тестирование пациентов. Также метод RT-PCR не является достаточно точным из-за возможности ложноотрицательных результатов ввиду периодических мутаций вируса [1]. Одним из наиболее перспективных методов, позволяющим быстро и точно диагностировать COVID-19, является применение подходов глубокого машинного обучения для обработки сканов компьютерной томографии (КТ) лёгких. Сейчас это направление активно развивается. Например, в группе Xiaowei Xu [2] был предложен метод скрининга COVID-19 с использованием сверточной нейронной сети 3D-CNN с точностью 86,7 %, а группой Chuansheng Zheng [3] разработана модель архитектуры DeCoVNet с точностью 90%. Таким образом актуально разработать модель с более высокой точностью для решения задачи сегментации, выделения признаков и нахождения точного положения пораженного пневмонией участка лёгких на КТ сканах пациентов с COVID-19.

В данной работе для обработки КТ изображений была модифицирована сверточная нейросеть архитектуры U-Net. Модификация заключалась в том, чтобы сеть могла получать на вход моноканальные изображения и соответственно выдавать моноканальные изображения на выходе. В архитектуру сети были

добавлены дополнительные слои Dropout после каждого слоя MaxPooling и Concatenate, для уменьшения переобучения, что увеличивает вес уже обученных нейронов и повышает качество предсказаний модели на тестовой выборке. Предложенная модификация сети U-Net была выполнена на языке Python с помощью библиотеки Keras. Обучение производилось на ноутбуке с процессором Intel Core-i7 2.4 G, оперативной памятью DDR3 16 G, Windows10. Для обучения нейронной сети использовались две базы данных, содержащие КТ изображения легких пациентов больных COVID-19 с наложенными масками легких и легочной пневмонии [4, 5]. Всего в двух базах данных 3520 КТ снимков легких и соответствующих им масок легких и пневмонии. Модель обучалась в течение 100 эпох и в результате ошибка прогнозирования для тестовой выборки составила менее 1 %, а для валидационной примерно 7 %. Соответственно прогнозируемая точность обученной нейронной сети составляет примерно 93 %. Была проведена пиксельная оценка точности полученной модели, которая составила 93.5 %. В сравнении с архитектурами сетей в работах [2, 3] наша модель показала лучшую производительность.

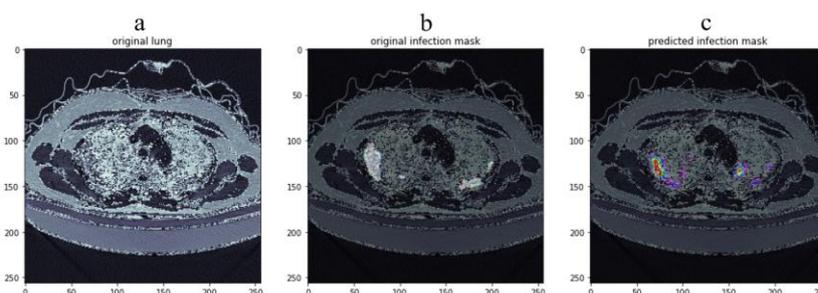


Рис. 1. КТ изображения грудной клетки. а – исходное КТ легких. б – маска инфекции. с – предсказание модели, наложенное на снимок исходного КТ снимка

1. T. Ai., Radiology, vol. 296, no. 2, pp. E32–E40 (2020).
2. X. Xu. Engineering, vol. 6, no. 10, pp. 1122–1129 (2020).
3. C. Zheng. Infectious Diseases (except HIV/AIDS), preprint, Mar. 2020. doi: 10.1101/2020.03.12.20027185.
4. S. P. Morozov. Radiology and Imaging, preprint, May 2020. doi: 10.1101/2020.05.20.20100362.
5. J. Ma. Med. Phys., vol. 48, no. 3, pp. 1197–1210 (2021).

СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОПУХОЛЕВОЙ ДИНАМИКИ В УСЛОВИЯХ ХИМИОТЕРАПИИ

Чухарева А.А.¹, Башкирцева И.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ann.chukhareva@mail.ru

STOCHASTIC ANALYSIS OF TUMOR DYNAMICS UNDER CHEMOTHERAPY

Chukhareva A.A.¹, Bashkirtseva I.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

We study two-dimensional nonlinear mathematical model with parametric random disturbances. For deterministic model, zones of mono- and bistability are determined. Noise-induced transitions between attractors are studied in dependence on chemotherapy intensity.

Известные сложности в экспериментальном изучении конкурентного взаимодействия опухолевых и иммунных клеток в условиях химиотерапии заставляют обратиться к методам, использующим математические модели [1-4]. Сильная нелинейность таких моделей часто порождает мультистабильность, существенно усложняющую анализ в условиях случайных возмущений.

Исследование стохастических эффектов проводится на основе нелинейной модели опухолево-иммунного взаимодействия [1]. Модификация, учитывающая воздействие лекарственных препаратов и случайных возмущений, которые являются неизбежным атрибутом любой живой системы, приводит к появлению новых режимов динамики. В докладе представлены результаты бифуркационного анализа детерминированной модели в зависимости от параметра интенсивности химиотерапии. Дано описание равновесных режимов, соответствующих состоянию «активной» опухоли и состоянию выздоровления, построены бассейны существующих аттракторов. Рассмотрены различные сценарии поведения модели, отвечающие режимам моно- и бистабильности. Для стохастической модели найдены условия, при которых случайные возмущения играют позитивную роль, уменьшая численность опухолевых клеток.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №21-11-00062).

1. V.A. Kuznetsov et al., Nonlinear dynamics of immunogenic tumors: parameter estimation and global bifurcation analysis, Bull. Math. Biol. 56, 295–321 (1994).
2. I. Bashkirtseva, L. Ryashko, Analysis of noise-induced phenomena in the nonlinear tumor-immune system, Physica A. 549, 123923 (2020).

3. I. Bashkirtseva, A. Chukhareva, L. Ryashko, Modeling and analysis of nonlinear tumor-immune interaction under chemotherapy and radiotherapy, *Mathematical Methods in the Applied Sciences* (2021).
4. I. Bashkirtseva, A. Chukhareva, L. Ryashko, Stochastic dynamics of nonlinear tumor-immune system with chemotherapy, submitted to *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* (2022).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ТВЕРДЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ

Чукина А.А.¹, Денисова О.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: nesysevanir@gmail.com

APPLICATION OF X-RAY DIFFRACTION METHODS TO STUDY CRYSTALLIZATION OF SOLID DOSAGE FORMS

Chukina A.A.¹, Denisova O.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Cristallinity index is very essential characteristic of solid dosage form because the bioavailability and stability of preparation in the powdered form strongly depend of it. The work was devoted to crystallinity measurement method, based on the analyze of X-Ray Diffraction paten of the medication.

Помимо химического состава на проявление терапевтического эффекта лекарственных препаратов влияет степень их кристалличности – отношение массы кристаллической части субстанции к ее общей массе. Обычно этот индекс выражается в долях или процентах.

От степени кристалличности лекарственного средства зависят его физические свойства. Аморфные вещества являются менее термодинамически устойчивыми по сравнению с кристаллическими, поэтому препараты с низким индексом кристалличности имеют большую растворимость, скорость растворения и реакционную способность. Таким образом, от степени кристалличности зависят биодоступность и стабильность препарата, и согласно правилам общей фармакопейной статьи ОФС.1.1.0001.15 [1] при описании лекарственного средства необходимо указать его физическое состояние, в частности степень кристалличности.

Для измерения степени кристалличности применяется ряд методов, в том числе и рентгеновская порошковая дифрактометрия (статья ОФС.1.2.1.1.0011.15[1]). Кристаллические и аморфные фазы, отличаясь степенью упорядочения частиц в них, по-разному представлены на рентгеновских дифрактограммах. Первые дают четкие дифракционные максимумы – кристаллические пики, вторые – широко размытые линии на малых углах дифракции – “аморфное гало”. Традиционные методы определения содержания аморфной компоненты с помощью рентгеновского анализа основаны на количественном измерении ее вклада в дифрактограмму по интенсивности “гало” [2].

В данной работе для измерения степени кристалличности был применен метод внутреннего стандарта, более точный, но вместе с тем более сложно

реализуемый на практике. Измерения проводились на дифрактометре X'Pert PRO с использованием специально изготовленной кюветы с запрессованным по центру штырьком из меди, служащим эталоном (Рис. 1). Степень кристалличности образцов рассчитывалась по соотношению кристаллических пиков исследуемого порошка и медного стандарта. Полученные результаты хорошо согласуются с паспортными данными препарата.

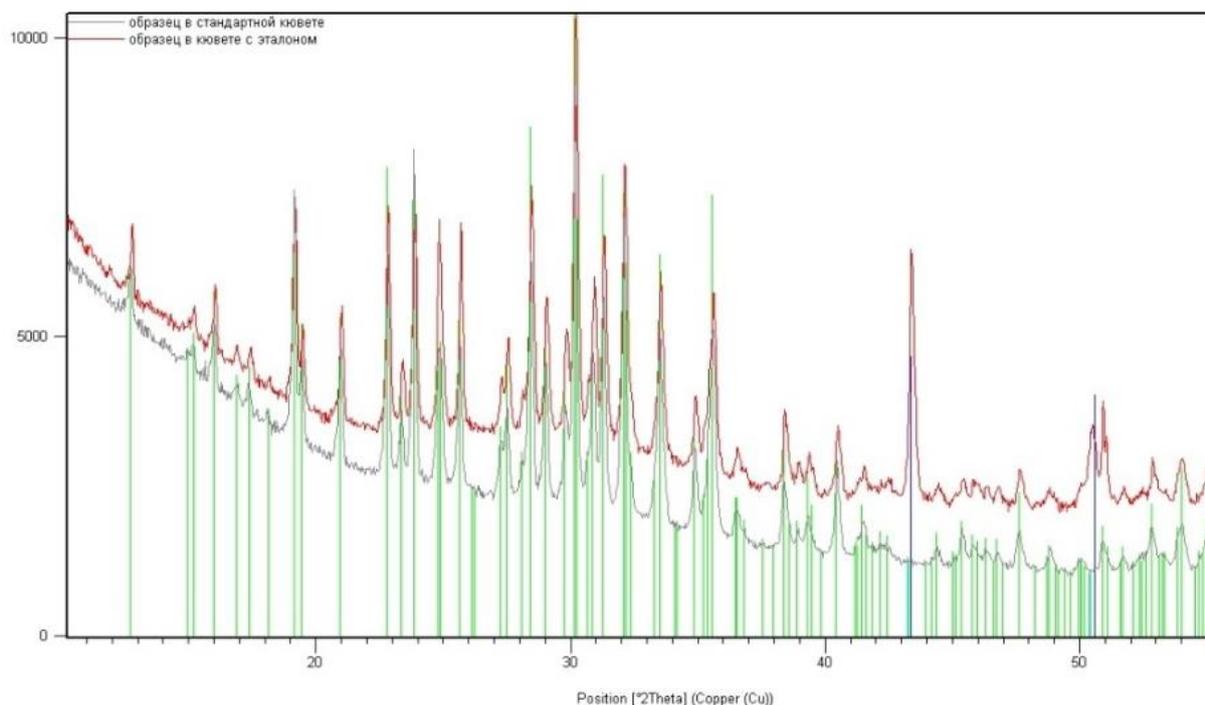


Рис. 1. XRD-дифрактограммы, образца, имеющего степень кристалличности 90%, снятого стандартным способом и в кювете с медным эталоном.

1. Государственная фармакопея Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – XIII изд. – М. : Научный центр экспертизы средств медицинского применения, 2015. – Режим доступа: <http://pharmacopoeia.ru/ofs-1-1-0018-15-kristallichnost/>
2. R.J. Hilland, C.J. Howard. J. Appl. Cryst. 20, 467 (1987).

THE ROLE OF ANTIOXIDANTS FROM FRUITS IN DISEASE PREVENTION

Danyo E.K.¹, Ivantsova M.N.¹

¹Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
E-mail: e.kdanyo@gmail.com

Fruits are endowed with diverse compounds such as phenols, tannins, saponins, etc which act as potent antioxidants. These antioxidants play a key role in disease prevention and treatment.

Antioxidants are substances that scavenge Reactive Oxygen Species (ROS) directly or indirectly and acts as an inhibitor of ROS production or generation. There are two major group of antioxidants, they are natural or dietary antioxidants and synthetic antioxidants. Natural or dietary antioxidants are gaining much popularity in recent times because of the safety issues regarding the use of synthetic antioxidants.

Free radicals can cause normal cells or tissues to lose their structure and function leading to the development of many degenerative diseases such as cancer, cardiovascular disease, cataracts, immune system decline, brain dysfunction, diabetes etc. The consumption or including fruits, vegetables and nuts as part of human nutrition is highly recommended. This is because they have been shown to contain excellent amounts of antioxidants like vitamin E, beta-carotene, vitamin C and lipoic acid which can prevent negative impact of free radicals on the body by inhibiting their destructive activities [1]. Individual cells in the body possess natural antioxidant defense systems such as superoxide dismutase (SOD), glutathione reductase, glutathione peroxidases. These enzymes act as first line of defense against free radical generated during normal metabolism [2].

Antioxidants have proven to be an effective remedy for preventing diseases associated with free radicals generated during normal body metabolic events. Plants are endowed with phytochemical such as flavonoids, carotenoids and vitamins which act as potent antioxidants. The food industry is revolutionizing by the production of functional food by incorporating antioxidants into food products which can provide both disease preventing and treatment roles.

1. Jacob, R.A. The integrated antioxidant system. *Nutrition Research*, 15(5), 755–766 (1995).
2. Sies, H. (ed.) *Antioxidants in Disease, Mechanisms and Therapy*, Academic Press, New York (1996).

МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА И КАТИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ БИОСИСТЕМ

Гаврилова А.А.¹, Константинова М.А.¹, Никонорова Д.А.¹, Кашина Е.С.¹

¹) Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Россия

E-mail: gavrilovaanastasia09@yandex.ru

MAGNETICALLY CONTROLLED NANOCOMPOSITES BASED ON MAGNETITE AND CATIONIC COPOLYMERS OF ACRYLAMIDE FOR SELECTIVE SEPARATION OF DISPERSED BIOSYSTEMS

Gavrilova A.A.¹, Konstantinova M.A.¹, Nikonorova D.A.¹, Kashina E.S.¹

¹) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», Kazan, Russia

Magnetically controlled nanocomposites based on cationic copolymers of acrylamide and magnetite are highly effective selective agents and make it possible to implement fundamentally new approach for separation and concentration of biological dispersed systems based on supermagnetism phenomenon.

Магнитные наночастицы (МНЧ) в последние десятилетия находят широкое применение в качестве адсорбентов для выделения популяций клеток, субклеточных культур, белков и ДНК и иммобилизации ферментов, для целевой доставки лекарственных веществ. Наночастицы магнетита характеризуются контролируемой намагниченностью, функционализацией синтетическими и природными полимерами. Магнитоуправляемые наноконпозиты позволяют реализовать принципиально новый подход для разделения и концентрирования биологических дисперсных систем, основанный на явлении супермагнетизма. В связи с этим получение и изучение свойств магнитоуправляемых наноконпозитов имеет большое значение.

В работе были синтезированы магнитные флокулянты (МФ) на основе наночастиц Fe_3O_4 и статистических сополимеров акриламида с гидрохлоридом диметиламиноэтилметакрилата, отличающиеся по значениям концентрации ионогенных звеньев и молекулярной массе (К1: $\beta = 4$ мол.%, $M = 3,8 \cdot 10^6$; К2: $\beta = 25$ мол.%, $M = 0,745 \cdot 10^6$; К3: $\beta = 68$ мол.%, $M = 3,7 \cdot 10^6$). На первой стадии методом соосаждения получали наноразмерные частицы магнетита Fe_3O_4 , которые диспергировали в воде Millipore для дальнейшего применения [1]. На втором этапе получали МФ путем смешения растворов синтетических полимеров с магнитной дисперсией. Методом динамического светорассеяния измерены размеры и дзета-потенциал синтезированных частиц магнетита и магнитных флокулянтов. Методом ИК-спектроскопии была подтверждена функционализация наночастиц магнетита катионными сополимерами акриламида. Для изучения флокулирующих

способностей МФ использовали модельную дисперсную систему – суспензию TiO_2 , которая была охарактеризована по размерам частиц (средний размер частиц $R_{ср} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м) и ζ -потенциалу ($\xi = -11$ мВ). Рассмотрено влияние размера наночастиц магнетита на величину флокулирующих параметров. Наибольшие значения флокулирующего эффекта зафиксированы для образца с размером частиц магнетита 70 нм. При сравнительном анализе эффективности действия индивидуальных полимеров и магнитных флокулянтов отмечено, что МФ имеют более высокие значения флокулирующего эффекта. Отмечено влияние места локализации магнитного поля на процесс флокуляции. По результатам работы можно сделать вывод, что полученные магнитные флокулянты являются высокоэффективными многофункциональными селективными флокулянтами для разделения биокomпонентов и очистки биосистем различной природы.

1. Кашина Е.С., Проскурина В.Е., Крупин А.С., Губочкина Д.В., Голдобина С.С., Галяметдинов Ю.Г. Вестник технологического университета. Казань 24(10), 5-9 (2021).

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕРРОСУЛЬФАТНОГО ДОЗИМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОМОДИФИКАЦИИ

Герасимов А.С.¹, Балезин М.Е.², Ильвес В.Г.², Соковнин С.Ю.^{1,2}

- ¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
- ²⁾ Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук,
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andrei.gerasimov@urfu.ru

THE POSSIBILITY OF USING A FERROSULFATE DOSIMETER TO MEASURE THE EFFECTIVENESS OF RADIOMODIFICATION

Gerasimov A.S.¹, Balezin M.E.², Ilves V.G.², Sokovnin S.Yu.^{1,2}

- ¹⁾ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
- ²⁾ Institute of Electrophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia

In this paper the application of the ferrosulfate dosimeter on URT-1 accelerator was investigated. The optimal settings of accelerator's operating mode and irradiation setup of the dosimeter were found. The results show the prospects of using the ferrosulfate dosimeter on URT-1 accelerator.

Радиомодификаторы – особые вещества, которые благодаря своим физическим, химическим или биологическим свойствам способны изменять воздействие ионизирующего излучения (ИИ) на объекты, в том числе биологические. Выделяют два направленных действия радиомодификаторов: приводящие к ослаблению воздействия ИИ – радиопротекция и, наоборот усиливающее его – радиосенсибилизация. В настоящее время стремительно развивается перспектива использования наночастиц (НЧ) на основе металлов для радиомодификации биообъектов. Особый интерес представляю химические активные соединения, способные взаимодействовать со свободными радикалами, образующихся во время действия ИИ на биообъект. Так, например, НЧ диоксида церия реагируют с активными формами кислорода, снижая их количество и, тем самым, уменьшают не прямое воздействие ИИ [1]. В свою очередь, НЧ на основе металлов с высоким атомным номером могут усиливать рентгеновское излучение за счет физического фотонного взаимодействия [2].

Существует несколько методов определения эффективности действия радиомодификаторов на биообъекты, которые имеют некоторые недостатки. Для соединений, взаимодействующих со свободными радикалами наиболее подходящей, является методика использования флуоресцирующих маркеров свободных радикалов [3], которая позволяет измерить количество образовавшихся под

действием ИИ радикалов и определить эффект действия радиомодификатора. Недостаток данной методики состоит в необходимости подбора определенных маркеров для исследования образования конкретных радикалов, а также в сложности интерпретации результатов для биообъектов. Перспективным методом является использование ферросульфатного дозиметра (ФСД) для оценки эффективности радиомодификации.

В данной работе было проведено исследование возможности использования ФСД при работе на ускорителе УРТ-1 [4]. Так как мощность дозы ускорителя превышает допустимую для ФСД [5], была произведена установка поглотителей и корректировка режима работы установки для проверки корректной работоспособности дозиметра.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования ФСД для исследования эффективности радиомодификации биообъектов при работе на установке УРТ-1.

1. Vazirov R.A., Sokovnin S.Yu., Ulitko M.V.// Radiation and Applications – V. 2. – Issue 2. – p. 139-141 (2017)
2. Gerasimov A. S., Vazirov R. A.// AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC – V. 2313. – №. 1. – p. 080010 (2020)
3. Retif P. et al.//Theranostics. – V. 5. – №. 9. – p. 1030 (2015)
4. Соковнин С. Ю., Балезин М. Е., Щербинин С. В.// Приборы и техника эксперимента – №. 4. – С. 47-47 (2013).
5. Fricke H, Morse S.// American Journal of Roentgenology, Radium Therapy, and Nuclear Medicine — V. 18. — p. 430–432 (1927)

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИОЗИНА В РАЗНЫХ ОТДЕЛАХ СЕРДЦА КРЫС

Гребенщикова А.В.¹, Пермякова Ю.В.¹, Носкова В.С.¹, Селезнёва И.С.¹,
Набиев С.Р.², Герцен О.П.², Никитина Л.В.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: anastasiya-grebenshikova@mail.ru

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MYOSIN IN DIFFERENT HEART CHAMBERS OF RATS

Grebenshchikova A.V.¹, Permyakova Yu.V.¹, Noskova V.S.¹, Selezneva I.S.¹,
Nabiev S.R.², Gerzen O.P.², Nikitina L.V.²

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The sliding velocity of the reconstituted thin filaments over atrial and ventricular myosin was measured using an in vitro motility assay. Mechanical characteristics of the actin-myosin interaction depends on heart chamber. Rats of the same breed, but of different origin, may have a different ratio.

Сердце млекопитающих содержит 4 камеры (правое и левое предсердия, правый и левый желудочки), каждая из которых имеет свои особенности в структуре и функции [1, 2]. Предсердия и желудочки имеют разную структуру на молекулярном уровне, например, они отличаются структурой миозина – основного сократительного белка мышц.

В исследовании использовались 2 группы белых аутбредных крыс-самцов возрастом 4.5–5.5 месяцев разного происхождения. Скорость скольжения реконструированного тонкого филамента, состоящего из скелетного актина кролика, тропонина левого желудочка свиньи и рекомбинантного α -тропомиозина человека, по миозину предсердий, правого и левого желудочка изучались методом искусственной подвижной системы [3, 4].

Сравнение механических характеристик исследуемых групп крыс проводилось по характеристикам кривых «pCa-скорость» и «pCa-фракция подвижных филаментов» – максимальная скорость скольжения реконструированного тонкого филамента по миозину (V_{max}) или фракция подвижных филаментов (Fraction), кальциевая чувствительность (pCa50) и коэффициент кооперативности Хилла (h).

Мы показали, что скорость скольжения реконструированного тонкого филамента по миозину предсердий была выше, чем по миозину желудочков, что

соответствует литературным данным о более высокой АТФазной активности предсердных изоформ миозина [5]. При этом, скорость скольжения реконструированного тонкого филамента по миозину левого желудочка всегда выше, чем по миозину правого.

Кальциевая чувствительность кривой «pCa-скорость» не имела значимых отличий между отделами для обеих исследуемых групп. Коэффициент кооперативности Хилла имел отличия для желудочков только в одной группе.

Значение фракции подвижных филаментов только в одной группе было ниже для правого желудочка по сравнению с остальными отделами. В другой группе отличий не наблюдалось. Характеристики кривой pCa-фракция подвижных филаментов» (pCa50 и h) не имели значимых отличий для миозина всех отделов сердца крыс всех исследуемых групп.

Таким образом, скорость скольжения реконструированных тонких филаментов по миозину предсердий значимо выше по сравнению с другими отделами, а скорость по миозину левого желудочка всегда превышает таковую в правом, но это различие не всегда значимо. Крысы одной породы, но разного происхождения, могут иметь разное соотношение механических характеристик актин-миозинового взаимодействия в сердце.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ИИФ УрО РАН в рамках госзадания ИИФ УрО РАН №122022200089-4.

1. Nollet, E.E., Manders, E.M., Goebel, M., Jansen, V., Brockmann, C., Osinga, J., van der Velden, J., Helmes, M., Kuster, D.W.D. Large-Scale Contractility Measurements Reveal Large Atrioventricular and Subtle Interventricular Differences in Cultured Unloaded Rat Cardiomyocytes. *Front. Physiol* 11, 1–11 (2020).
2. Belin, R.J., Sumandea, M.P., Sievert, G.A., Harvey, L.A., Geenen, D.L., Solaro, R.J., de Tombe, P.P. Interventricular differences in myofilament function in experimental congestive heart failure. *Pflügers Arch. - Eur. J. Physiol*, 462, 795–809 (2011)/
3. Gerzen, O.P., Simanova, I.A., Nabiev, S.R., Nikitina, L.V., Selezneva, I.S. The influence of lead ions on the mechanical function of right ventricle myocardium. In *Proceedings of the AIP Conference Proceedings* 2174 (2019).
4. Nikitina, L.V., Kopylova, G.V., Shchepkin, D.V., Katsnelson, L.B. Study of the interaction between rabbit cardiac contractile and regulatory proteins. An in vitro motility assay. *Biochem* 73, 178–184 (2008).
5. Chizzonite R.A., Everett A.W., Prior G., Z.R. Comparison of Myosin Heavy Chains in Atria and Ventricles from Hyperthyroid, Hypothyroid and Euthyroid rats 259, 15564–15571 (1984).

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАНЖИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ИОННОГО СОСТАВА ГРУДНОГО МОЛОКА

Гузенко М.М.¹, Семенцова И.В.¹, Зайцева А.Ю.¹

¹) Институт аналитического приборостроения Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: maria51m@mail.ru

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT RANKING SYSTEM AND EVALUATION OF THE IONIC COMPOSITION OF BREAST MILK

Guzenko M.M.¹, Sementcova I.V.¹, Zaitceva A.Yu.¹

¹) Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation

The article presents the development and realization of an electrochemical system for monitoring the ionic composition of breast milk. In the course of the study, a mathematical model was created to recognize the "digital shape" of breast milk, using machine learning methods.

Качественный ионный состав молока является основным фактором, определяющим полноценность роста, физического, а у человека и интеллектуального, здоровья новорожденных в течение всего жизненного цикла. Изучение многоуровневой системы механизмов, определяющих и контролирующих ионный состав молока- важная проблема физиологии лактации [1].

Целью работы являлась разработка и реализация электрохимической системы контроля ионного состава молока с возможностью разбиения исследуемых образцов на группы различного статуса с помощью методов машинного обучения [2].

В основе используемого метода лежит измерение ЭДС электрохимической системы, которая состоит из погружаемых в исследуемый раствор электрохимических датчиков, чувствительных к различным ионам. Для анализа образцов молока использовалась мультисенсорная система в виде массива из восьми ионоselectивных электродов, обладающих чувствительностью к ионам H^+ , Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- , F^- , Ca^{2+} , NH_4^+ , также были использованы электрод сравнения, коммутатор для подключения электродов и вольтметр. Значение ЭДС измерялось последовательным погружением электродов в образцы молока.

Полученные от сенсоров сигналы использованы для формирования «цифрового образа» исследуемой среды. Создана математическая модель для распознавания «цифрового образа» грудного молока. Применение методов машинного обучения, в частности метода главных компонент позволило классифицировать грудное молоко по ионному составу в зависимости от функционального состояния матери.

Таким образом, разработанная интеллектуальная система ранжирования и оценки ионного состава грудного молока на основе электрохимических методов анализа и методов машинного обучения является эффективным методом контроля качества грудного вскармливания.

1. Кислякова Л.П., Динамика формирования водно-солевого состава молока : автореферат дис. ... доктора биологических наук : 03.00.13, Санкт-Петербург. гос. ун-т., Санкт-Петербург, (1996), 33 с.
2. Zaitceva A.Yu., Kislyakova L.P., Kislyakov Yu.Ya., Avduchenko S.A., Development of a multi-sensor analytical trainable system for non-invasive evaluation of adaptedness status of hazardous occupation specialists, Journal of Physics: CS. 1400, 033022 (2019).

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОРНЫЙ ГИДРОГЕЛЬ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Изможерова К.Д.¹, Чувашов Р.Д.¹, Вербицкий Е.В.²,
Баранова А.А.¹, Хохлов К.О.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²) Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
E-mail: kira.n@list.ru

FLUORESCENT SENSOR HYDROGEL FOR ORGANOPHOSPHORUS COMPOUNDS DETECTION

Izmojerova K.D.¹, Chuvashov R.D.¹, Verbitskiy E.V.²,
Baranova A.A.¹, Khokhlov K.O.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²) I.Ya. Postovsky Insititute of Organic Synthesis of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Hydrogel employing monomolecular fluorescent sensor based on pyrimidine was fabricated. The organophosphorus pesticide malathion was used sa target analyte. The fluorescence intensity increase of the hydrogel in contact with the analyte was registered via portable webcam-based fluorescence reader.

Избыточное применение фосфорорганических соединений (ФОС), в качестве пестицидов, несёт значительные экологические риски отравления ингибиторами ацетилхолинэстеразы [1,2]. В связи с этим существует необходимость в простых и оперативных методах обнаружения данных интоксикантов. Одним из экспресс-методов детектирования пестицидов является флуоресцентный. Детектирование ФОС данным методом основано на росте интегральной интенсивности флуоресценции при взаимодействии пестицидов с сенсорными материалами. Известно применение допированных флуоресцентными соединениями гидрогелей в качестве носимых тест-наборов для поиска пестицидов в водных растворах и на поверхностях сельскохозяйственной продукции [3].

В данной работе предложен флуоресцентный сенсорный гидрогель для детектирования ФОС, использующий мономолекулярный флуоресцентный сенсор на основе пиримидина [4]. В качестве аналита использован коммерчески доступный пестицид «Фуфанон-нова», действующим веществом которого является малатион. Описано изготовление гидрогеля на основе карбоксиметилцеллюлозы с добавлением полиэтиленгликоля, оценена способность к накоплению воды гелем. Измерено изменение яркости свечения в зависимости от концентрации аналита в водном растворе и оценены пределы обнаружения метода. Увеличение яркости

свечения образцов было зарегистрировано с помощью портативного анализатора флуоресценции, использующего малогабаритную веб-камеру для численного описания яркостей массива флуоресцентных материалов. Результаты демонстрируют потенциал данной системы для экспресс-детектирования ФОС.

1. Odukkathil G., Vasudevan N. *Reviews in Environmental Science and BioTechnology* 12, 421 (2013).
2. Sgobbi L. F., Machado S. A. S. *Biosensors and Bioelectronics*(100, 290 (2018).
3. Xu X.-Y., Yan B., Lian X. *Nanoscale* 10, 13722 (2018).
4. Verbitskiy E. V. et al. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 408, 4093 (2016).

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОСЛЕДУЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Кругликов Н.А.¹, Беляев А.Ю.², Шарова Е.А.³, Калонов А.А.¹

¹) Институт физики металлов УрО РАН им. М.Н. Михеева, Екатеринбург, Россия

²) Институт экологии растений и животных, Екатеринбург, Россия

³) Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: kalonov@imp.uran.ru

EFFECT OF HYDROSTATIC PRESSURE ON SUBSEQUENT DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF MEDICINAL PLANTS

Kruglikov N.A.¹, Belyaev A. Yu.², Sharova Y.A.³, Kalonov A.A.¹

¹) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

³) Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

We investigated the effect of hydrostatic pressure pretreatment in the range from 10 to 200 MPa on *Glycyrrhiza uralensis* Fish. and *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds. The aim of the study is to improve the sowing of seeds and achieve possible positive changes in plants development.

Воздействие на семена гидростатическим давлением (это малоизученный фактор в отношении предпосевной обработки семян [1]) использовано в данной работе с целью улучшения их посевных качеств семян и достижения возможных позитивных изменений у развивающихся из этих семян растений. С использованием специально оборудованного лабораторного гидростата проведены экспериментальные исследования последствий воздействия гидростатического давления в диапазоне от 10 до 100 МПа на семена солодки уральской и расторопши пятнистой, а также на последующее развитие сеянцев расторопши. Установлено значительное повышение лабораторной всхожести семян солодки (в среднем до 47 %) по сравнению с контрольным вариантом (2 %) после трехкратной обработки семян давлением 100 МПа. Кроме того, показано, что уровень давления 10 МПа при однократной обработке оказывает стимулирующее воздействие на скорость прорастания семян расторопши и ускоряет прохождение всех стадий онтогенеза растений по отношению к контрольной группе. Такой уровень давления вызвал существенное нарушение типичной для бобовых растений водонепроницаемости (твердости) семенной кожуры, наиболее резко выраженной у семян солодки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00346, <https://rscf.ru/project/22-26-00346/>.

1. Kruglikov N.A., Bystrushkin A.V., Belyaev A.Yu. Development of new methods for increasing the germination of licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) seeds: preliminary data, E3S Web of Conf. vol. 222. Art. No. 03025 (2020).

BIOCHIPS: FUTURE AND PRESENT

Kambele J.¹, Ivantsova M.N.¹

¹Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University. Ekaterinburg, Russia
E-mail: jonaskambele@gmail.com

Biochip chip technology is a product of microarray technology which has impacted development of many fields of science, especially human biology. Its application ranges from gene sequencing to disease diagnosis. This paper is going to discuss Biochip technology at present and in future.

Biochips are a product of molecular biology and computer science. They are engineered in such a way that they can carry out simultaneous biology reactions in a short time. Their main function is to screen biological molecules such as enzymes, antibodies, proteins and deoxyribonucleic acid (DNA) or ribonucleic acid (RNA). To achieve this, a biochip comprises of biomolecules specially immobilized on plastic surface in special pits or pores. A substance to be detected known as the analyte binds or hybridizes with the immobilized biomolecule known as a probe, when applied on a biochip.

Biochips basically occur in two forms namely implantable and non-implantable ones. Implantable biochips can be inserted in an organism to function as a tracking device or to provide detailed information about the organism, and are usually accompanied with a reader to decode the signal transmitted from a biochip. However, use of implantable biochips in human is not yet into full operation due to ethical issues surrounding this technology. Non-implantable biochips on the other hand are just used in the laboratory setting. There are three types of Biochips available namely DNA microarray, microfluidic chip, protein microarray and lab-on-a-chips [1].

Biochips are used in molecular analysis of biomolecules, disease diagnosis and may also be used in non-biological activities. Molecular analysis facilitates the detailed study of vital biomolecules such as DNA and RNA. It further includes hybridization of nucleic acids. Diagnostic uses of biochips include use of biosensors in disease diagnosis and treatment [2].

In conclusion biochip applications in various spheres of technology have positively impacted human welfare. With more future applications in view, biochip technology is yet to alter human welfare in a number of frontiers, affecting medical care, finances and demographics.

1. Dubey R.C. A text book of Biotechnology, S. Chand and Company Ltd. New Delhi, India., 194-197 (2006)
2. Peter Gwynne and Gary Heebner. Advances In Biochips - Array of Applications. American Association for the Advancement of Science. Science, 1095-9203 (2005).

EXTRACTION OF RESVERATROL FROM FALLOPIA JAPONICA ROOTS

Kamel M.M.¹

¹Ural Federal University, Yekaterinburg
E-mail: kamelmustafa@yandex.ru

In this study, the effectiveness of resveratrol extraction was evaluated using six types of NADES derived from a single group of HBDs (citric acid and malic acid) in combination with one type of HBA, choline chloride (ChCl).

Organic solvents used in extraction are not always environmentally friendly or safe for human health. Natural deep eutectic solvent (NADES) extraction is one such method being developed that uses environmentally friendly natural solvents. NADESs can be easily synthesized using hydrogen bond acceptor (HBA) and hydrogen bond donor (HBD) with gentle heating, with no further purification required. Modern extraction methods such as ultrasonic-assisted extraction (UAE) are used because they are efficient in terms of time and amount of solvent used, thereby lowering costs. To select the most efficient NADES system, the efficiency of the extracting solvents was examined using the yields of resveratrol obtained. In this study, a novel green extraction method based on natural deep eutectic solvents (NADESs) was used to extract resveratrol from Fallopia japonica simultaneously. In comparison to other toxic or time-consuming conventional methods, NADESs proved to be efficient solvents for the extraction of resveratrol with the aid of ultrasound. The solvent screening results revealed that a NADES with a molar ratio of 1:1 choline chloride/citric acid (DES-1) was the most efficient. Following optimization for resveratrol extraction using response surface methodology, it was observed that the NADES liquid-solid ratio was a key variable influencing extraction yields. The highest yield obtained was 17.65 mg/g, while extraction yield of 15.757 mg/g was obtained under the optimal conditions.

This work was supported by the Russian Science Foundation RSF (Grant agreement number 20-66-47017).

1. Paiva, A. ACS Sustainable Chemistry and Engineering 2(5), 1063-1071 (2014).
2. Dai, Y. Analytica Chimica Acta 766, 61-68 (2013).
3. Abbott, A.P. Journal of the American Chemical Society 126(29), 9142-9147 (2004).

BIOLOGICAL DEPHOSPHATATION IN A TWO-STAGE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM

Khasanova A.A.¹, Perushkina E.V.¹

¹Kazan national research technological university, Kazan, Russia
E-mail: hasanovaagyl@mail.ru

An analysis was made of changes in the content of phosphates in wastewater at treatment facilities with a two-stage purification system. The overall efficiency of the process of biological dephosphatation of wastewater has been assessed.

Traditional biological treatment plants don't provide effective removal of phosphate ions in wastewater. Phosphate concentration often increased by 5-10 times of statutory requirements. One of the modern technologies that provide efficient phosphate removal from wastewater is the EBPR process (Enhanced Biological Phosphorus Removal) [1]. The method is based on the anaerobic and aerobic zone's creation in aerotank. This is necessary for intensive intracellular accumulation of phosphates by activated sludge microorganisms [2, 3].

The biological removal process mathematical description by activated sludge is difficult. Therefore, technological parameters control for the process of biological dephosphatation is important. There are the organic matter and dissolved oxygen concentrations, temperature and pH, activated sludge doses, etc. In the individual technological stages of biological treatment plants we investigated some parameters which can influence on phosphate removal efficiency in a biosystem.

Original two-stage wastewater treatment system was implemented in biological treatment structures with a capacity of 12,000 m³/day. Municipal sewage sent through the distribution tray to the reservoir block. Further the wastewater enters the anoxic zone and mixes with activated sludge. After activated sludge moved into the transition zone and intensively mixes. At the last stage activated sludge and wastewater mix provides the nitrifier and the secondary settling basin.

This paper investigates the change of the phosphate concentration and the dephosphatation efficiency calculation at various points in a two-stage biological treatment. The objects of study are wastewater from treatment facilities and supernatant liquor, taken from several technological points of the scheme: beginning and end of nitrifier; at outlet of the secondary settling basin. Mass concentration of phosphate ions was measured by the standard method [4]. pH and temperature of wastewater and supernatant liquor by pH-150MI.

The wastewater temperature was averaged 23-25 °C. The pH medium is maintained in 6.5-8.5 due to the requirements for biologically wastewater treatment.

The phosphate concentration in a wastewater sample from the nitrifier zone reaches 18.3 mg/dm³, from the final stage of the nitrification process decreases by 0.8 mg/dm³. This indicates the accumulation of orthophosphates from the liquid medium as reserve polyphosphates. In the secondary settling basin without forced aeration, the microbial

community of activated sludge is present for 1.5 hours. In supernatant liquor of secondary settling basin, the phosphate concentration corresponds to 1.2 mg/dm³. The overall biological dephosphatation efficiency in two-stage wastewater treatment plants averaged 93%.

1. Kulakovskaya T.V., Lichko L.P., Ryazanova L.P. Variety of phosphorus reserves of microorganisms, *Advances in biological chemistry*, 54, 385-412, (2014).
2. Ryuichi H., Akio K., Junichi K., Hisao O. Bacterial phosphate metabolism and its application to phosphorus recovery and industrial bioprocesses, *Bioscience and Bioengineering*, 5, 423-432, (2010).
3. Ekama G.A. Biological excess phosphorus removal in Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes, *Water research commission*, 1-32, (1984).
4. GOST 18309-2014. Methods for the determination of phosphorus-containing substances. - accepted 2016-01-01. – 10 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ГОМПЕРТЦА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ СИГНАЛОВ АНАЛИЗАТОРОВ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

Клименко Д.Ю.¹, Белов Д.А.²

¹ Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

² Институт аналитического приборостроения Российской академии наук
(ИАП РАН), Санкт-Петербург, Россия
E-mail: dasha.klimenko.01@inbox.ru

APPLICATION OF THE GOMPERTZ FUNCTION FOR NUCLEIC ACID ANALYZERS FLUORESCENT SIGNALS PROCESSING

Klimenko D.Yu.¹, Belov D.A.²

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

² Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

A method for DNA melting curves processing based on the Gompertz function was proposed. A comparison with the well-known technique based on the sigmoid function was made. The minimum discrepancy between the results was revealed. The sigmoid function method was chosen as the most convenient.

Анализ методом плавления ДНК с высоким разрешением (HRMA) широко используется в медицинской диагностике. Метод прост в использовании, обладает высокой чувствительностью, специфичностью, и кроме того, является неразрушающим, что делает его привлекательным для обнаружения мутаций ДНК, связанных с различными заболеваниями [1].

Сигналы HRMA представляют собой S-образные кривые зависимости интенсивности флуоресценции от температуры образцов, характерным параметром анализа является температура плавления ДНК. Актуальной задачей является разработка новых эффективных способов обработки сигналов для уменьшения погрешности определения температуры плавления. Известна методика, основанная на обработке сигналов сигмоидальной функцией [2]. В настоящей работе впервые для этих целей предлагается использовать функцию Гомпертца, которая может иметь преимущества перед другими S-образными функциями [3]. В настоящей работе выполнено сравнение известной и новой методик на экспериментальных данных.

Исходные данные получены на приборе АНК-32, который серийно выпускается в Институте аналитического приборостроения РАН (Россия), путем анализа образца цитокератина (СК-19) в четырехкратном повторении по методике плавления в диапазоне температур образца 70–95 °С с шагом 0,5 °С.

Методики реализованы в программной среде MatLab. Качество соответствия кривых оценивалось по коэффициенту детерминации (R^2) и информационному критерию Акаике (AIC) [4]. Определялось среднеквадратическое отклонение (СКО) температур плавления.

Результаты обработки экспериментальных графиков для сигмоидальной функции: $R^2 = 0,999$, AIC = 104,495, СКО = 0,051; для функции Гомпертца: $R^2 = 0,999$, AIC = 104,495, СКО = 0,055. При сравнении результатов очевидно, что разница между значениями R^2 и AIC минимальна, по значению СКО преимущество имеет методика на основе сигмоидальной функции. Выявлено, что лучше на практике применять сигмоидальную функцию вследствие удобного подбора коэффициентов при аппроксимации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ. Шифр научной темы FFZM-2022-9910.

1. Ruskova L., Raclavsky V., Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky 155(3), 239–252 (2011).
2. Белов Д.А., Корнева Н.А., Альдекеева А.С., Белов Ю.В., Киселев И.Г., Повышение разрешающей способности генетических анализаторов при определении температуры плавления ДНК // Научное приборостроение 26(2), 17–22 (2016).
3. Zhao S., Fernald R.D., Comprehensive Algorithm for Quantitative Real-Time Polymerase Chain Reaction. Journal of Computational Biology 12(8), 1047–1064 (2005).
4. Sariyel V., Aygun A., Keskin I., Comparison of growth curve models in partridge. Poultry Science 96(6), 1635–1640 (2017).

CHARACTERIZATION OF MINE WASTES AS A POTENTIAL SOURCE OF HEAVY METALS PROPAGATION TO NEARBY SOILS (CASE OF THE FORMER KIPUSHI CONCENTRATOR)

Lwamba B.C.^{1,2}, Ivantsova M.N.¹, Lumbu S.J.², Banza I.B.², Kaya D.²

¹) Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²) Polytechnic faculty, Department of Industrial Chemistry, University of Lubumbashi, Lubumbashi, DR Congo
E-mail: borhomelwamba@gmail.com

This paper is the result of a research study to characterise the tailings piles of the former Kipushi concentrator in D.R. Congo, stocked for more than 50 years in an opened park, as a potential source for the dissemination of heavy metals in the surrounding soils.

Heavy metals, once introduced into the environment by a particular method, can spread to different environmental components (soils, water, sediments, plants, undergrounds) which can be caused by the type of interactions occurring in this natural system and they can interact chemically or physically with the natural compounds, which changes their forms of existence in the environment [1]. The stockpiled tailings at Kipushi (DR Congo) contain pyrite and metal sulfides and pose a constant risk of physico-chemical instability and leakage, which is reflected in the degradation of the surrounding environment such as rivers, soil, groundwater levels, etc. In addition, the dispersion and dispersion of trace metal elements (TME) such as cadmium, cobalt, arsenic, iron, copper, lead and zinc lead to erosion and runoff phenomena in the rainy season and the formation of particles in the air in the dry season. They have undergone partial oxidation [2]. The main purpose of this paper is to characterise the contamination of the soil by the presence of the studied mine deposits and to make its own assessment. It will also be very important to make a characterization of the distribution of copper, cobalt, and other metals in the soil to evaluate the risks and consider accurate ways of prevention. To achieve these objectives, systematic stratified sampling, good sample preparation, characterization of rock loading, chemical analysis and statistical analysis have been carried out to better assess the spread of metals from mine waste to nearby natural soils. The results show that the average concentrations of the metals in the soils gradually decrease as one moves further away from the waste park. In the three layers studied (bare sediments, scattered and compacted vegetation patches) we had an average copper concentration of 1291.3 mg/kg for the first layer, 1200.3 for the second and 187.2 mg/kg for the third. For cobalt, values were 76.79 mg/kg, 61.58 mg/kg, and 32.48 mg/kg, respectively. For lead, the average concentration varied between 767.7 mg/kg and 574.5 mg/kg for the first two layers and dropped to 29.5 mg/kg for the third layer.

This work makes it possible to assess the impact of copper, cobalt, and other metals from the second tailings pile of the old Kipushi concentrator on the natural surrounding grounds to evaluate the risks for environmental pollution.

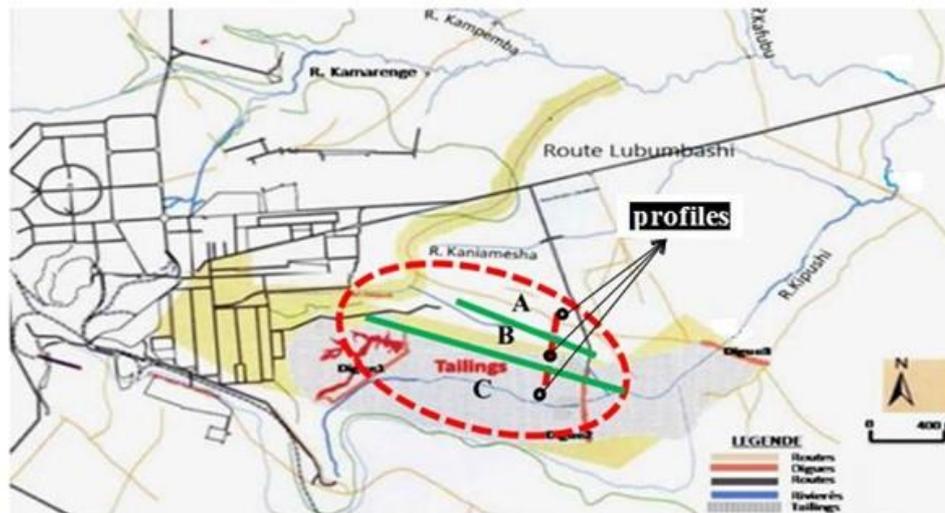


Рис. 1. Sampling site location [3]

1. A. Dube, R. Z, Adsorption and Migration of Heavy Metals in soils. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 10. 1-10 (2001).
2. W. Kitobo, Detoxification and utilisation of sulphide mining waste from Katanga (case of tailings from the former Kipushi concentrator. Liege. (2009).
3. N.W. Muyumba, K. K, Contribution of trace metals in water from the underground mining of Kipushi in Kafubu river (DR Congo). International Journal of Innovation and Applied Studies. 864-871 (2016).

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРДСЕРДИЙ И НОРМАЛЬНОМ СИНУСОВОМ РИТМЕ

Марков Н.С.^{1,3}, Ушенин К.С.^{1,2,3}, Божко Я.Г.¹, Архипов М.В.¹,
Соловьёва О.Э.^{2,3}

¹⁾ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

³⁾ Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: shatzkarts@gmail.com

HEART RATE VARIABILITY IN ATRIAL FIBRILLATION AND NORMAL SINUS RHYTHM

Markov N.S.^{1,3}, Ushenin K.S.^{1,2,3}, Bozhko Y.G.¹, Arkhipov M.V.¹,
Solovyova O.E.^{2,3}

¹⁾ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Immunology and Physiology UrB RAS, Yekaterinburg, Russia

³⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this study, we show that HRV measured in AF provides clinically relevant information. We use exploratory data analysis to identify patterns in the analyzed data. We demonstrate clinical significance of the HTI index in the AF and extend the interpretation of HRV indices to AF using linear models.

Многие годы изучению variability сердечного ритма (BCP) уделяется пристальное внимание клиницистов, физиологов, биоинформатиков в отношении прогнозирования течения кардиологических заболеваний и установления механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы [1, 2]. Традиционно ритм фибрилляции предсердий (ФП) считается хаотическим и используется только для детектирования длительности и частоты пароксизмов аритмии. Несмотря на то, что большинство показателей variability сердечного ритма были предложены для синусового ритма, анализ данных индексов при пароксизме аритмии может представлять интерес в отношении получения дополнительных клинико-электрофизиологических характеристик нарушений ритма.

Для реализации поставленной цели были использованы записи 24-часового мониторирования ЭКГ по Холтеру, полученные у 37 пациентов с пароксизмальной формой фибрилляции предсердий. Каждая запись содержала не менее 120 минут синусового ритма и не менее 120 минут ритма пароксизмов фибрилляции предсердий. 48 индексов BCP рассчитывались независимо для синусового ритма и для эпизодов фибрилляции предсердий, после чего полученные 96 параметров для 37 пациентов подверглись разведочному анализу данных и построению многомерных линейных моделей, предсказывающих variability ритма при пароксизмах аритмии с помощью индексов, измеренных при синусовом ритме.

Индексы ВСР в рамках каждого из исследуемых ритмов образуют группы высокой корреляции параметров. Однако одиночные индексы, рассчитанные при синусовом ритме, не коррелируют с одиночными индексами, рассчитанными при ритме пароксизма ФП. Показано, что индекс PAF_HTI, рассчитанный при ритме ФП, имеет положительную корреляцию с длительностью пароксизмов у исследуемых пациентов. Установлено, что такие метрики variability, как PAF_CVI, PAF_pNN20, PAF_pNN50, PAF_ApEn, PAF_SDNN, PAF_SD2, измеренные при пароксизме аритмии, взаимосвязаны с группами частотных индексов, дисперсионных индексов, и индексов структуры ритма. Показано, что для объяснения 70% дисперсии параметров variability сердечного ритма при пароксизме фибрилляции предсердий достаточно линейной модели, состоящей из 4 признаков синусового ритма.

С помощью представленных моделей показана взаимосвязь индексов ВСР при синусовом ритме и ритме пароксизмальной ФП. Парасимпатическая нервная система, активно влияющая на активацию соседних сокращений синусового ритма, проявляет свои эффекты в общем разбросе межпиковых интервалов на периоде длительного мониторинга при пароксизме ФП.

Расчет индексов ВСР на ритме пароксизмальной ФП позволил получить дополнительную информацию о течении аритмии. Установлено, что индекс PAF_HTI демонстрирует положительную корреляционную взаимосвязь с длительностью пароксизма фибрилляции предсердий. Другие индексы ВСР измеренные на синусовом ритме или ритме пароксизма ФП не могут говорить о возможности восстановления ритма или об общей длительности ФП.

Работа выполнена в рамках гос. задания УГМУ № 730000Ф.99.1.БВ10АА00006 «Разработка комплексного подхода к персонализированной диагностике, терапии и профилактике наджелудочковых нарушений сердечного ритма вегетативного генеза».

1. Ishaque S., Khan N., Krishnan S., Trends in heart-rate variability signal analysis, Frontiers in Digital Health, T. 3, C. 13. (2021)
2. Shaffer F., Ginsberg J. P., An overview of heart rate variability metrics and norms, Frontiers in public health, C. 258. (2017)

ФЕМТОСЕКУНДНАЯ НАНОХИРУРГИЯ: ЛАЗЕРНАЯ ЭНУКЛЕАЦИЯ ХРОМАТИНА В ООЦИТЕ

Мартirosян Д.Ю.¹, Залесский А.Д.¹, Осыченко А.А.¹,
Точило У.А.¹, Надточенко В.А.¹

¹) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук
E-mail: petrosyan359@gmail.com

FEMTOSECOND NANOSURGERY: LASER ENUCLEATION OF CHROMATIN IN THE OOCYTE

Martirosyan D.Yu.¹, Zalessky A.D.¹, Osychenko A.A.¹,
Tochilo U.A.¹, Nadtochenko V.A.¹

¹) N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics,
Russian Academy of Sciences

A method for cell enucleation by femtosecond laser nanosurgery has been developed. This enucleation technique allows DNA destruction with high precision and low invasiveness, showing good efficiency. The technology of such operations is of great importance in medical and scientific practice.

В биологическом материале создается интенсивность излучения, достаточная для индуцирования многофотонной ионизации в суб-фемтолитровом объёме благодаря использованию объективов с большой числовой апертурой ($NA > 0.8$) при фокусировке фемтосекундных лазерных импульсов [1-2]. В нашей работе источником фемтосекундного излучения служит лазер (Spectra-Physics Mai-Tai), которое заводится в инвертированный флуоресцентный микроскоп (Olympus IX71). Фемтосекундное лазерное излучение с длиной волны 790 нм использовалось в следующих режимах: цуги импульсов длительностью 100 фс, частотой следования 80 МГц, с энергией импульса 0,5 нДж; (12,5 нс между импульсами), общая длительность цугов импульсов составляла 30 мс. фокусировалось объективом 60 × с числовой апертурой 0,7 NA (LUCPlanFLN, Olympus). Подбор этих параметров позволил избежать образования парогазовых пузырей, обеспечивая эффективный распад ДНК. Наблюдение и визуализация выполнялись с помощью камеры XIMEA xiQ MQ013MG-ON установленной на микроскопе. Подробная схема установки описана ранее [3]. В качестве модельного объекта использовались мышинные ооциты на стадии метафазы II, которые окрашивали Hoechst 33342. Возбуждая краситель УФ излучением в районе 350 нм были получены изображения, приведенные на Рис. 1. Перемещение точки фокусировки в координатах X и Y доступно благодаря подвижному двухкоординатному столику. Перемещая объект относительно объектива, можно равномерно, в пределах необходимой площади, произвести процедуру деструкции хроматина. На рисунке 1 изображены этапы

нуклеации: А – незнуклеированный ооцит. В – частично энуклеированный ооцит. С – ооцит после полного удаления хроматина. Дальнейшее наблюдение за энуклеированными ооцитами показывает остановку развития, сохраняя целостность.

Исследование показывает хороший потенциал развития технологии применения лазерной нанохирургии для энуклеации клеток и в целом возможность применения в будущем в клинических условиях. Точно сфокусированное лазерное излучение ближнего инфракрасного диапазона не нарушает целостность и жизнеспособность клеток. Этот метод может быть применен для переноса ядра соматических клеток.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-75-10155.

1. А.А. Осыченко, У.А. Точило, А.А. Астафьев, А.Д. Залесский, А.М. Шахов, А.С. Кривохарченко, Надточенко В.А., Определение диапазона неинвазивного воздействия фемтосекундными лазерными импульсами ближнего инфракрасного спектра для нанохирургии ооцитов млекопитающих. *Современные технологии в медицине* 9(1), 21-27 (2017).
2. А. М. Шахов, А.А.А., А. А. Осыченко, В. А. Надточенко, Воздействие фемтосекундного лазерного излучения на ооциты млекопитающих. *Химическая физика* 35(10), 1-4 (2016).
3. А.А. Osychenko A.D.Z., A.N. Kostrov, A.V. Ryabova, A.S. Krivokharchenko, V.A. Nadtochenko, Femtosecond laser surgery of two-cell mouse embryos: effect on viability, development, and tetraploidization. *J. Biomed. Opt.* 22(12), 125006 (2017).

EDIBLE VACCINES: PROBLEMS AND PROSPECTS

Mensah E.O.¹, Ivantsova M.N.¹

¹Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
E-mail: emmanuelofosu63@gmail.com

Edible vaccine is an innovation in drug discovery, its relation and importance to the human immune system. This review presents the definition of edible vaccines, its emergence, the mechanism of action and administration of these vaccines, prospects and the problems associated to edible vaccines.

Vaccines refers to a biological preparation that stimulates the body's immune response against diseases. Vaccines mainly contain agents (as proteins) that resembles a disease-causing microorganism which is often made from weakened or killed forms of the microbe or one of its surface proteins. Over the years, the conventional forms of vaccines have been used but has been found to contain some disadvantages of being expensive and requires low refrigeration for its storage [1].

Edible vaccine is a new type of vaccine that has been produced to mask up the problems of these conventional vaccines. Edible vaccines refer to genetically modified crops that contain agents that stimulate immune responses for specific diseases in an organism. They are considered as "Pharmfood" because they act as a food source that increases health and stimulate immune response as well. Different types of edible vaccines like plant, algae and probiotic vaccines have been exploited [2].

In conclusion edible vaccines are very important since it is made from plant sources making it available to all people of different kinds and races. The technology and production involved edible vaccine is also cheaper which can be employed by Developing Countries. The major drawback related to edible vaccines is the administration of accurate doses to the plant species used in the formulation of the vaccine.

1. Concha C, Cañas R, Macuer J, Torres M.J, Herrada A.A, Jamett F, Ibáñez C. Disease Prevention: An Opportunity to Expand Edible Plant-Based Vaccines. *Vaccines*. 5 (2), 14 (2017).
2. Mishra N, Gupta P.N, Khatri K, Goyal A.K, Vyas S.P. Edible Vaccines: A New Approach to Oral Immunization. *Indian Journal of Biotechnology* 7 (3), 283–294 (2008).

АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАНСОВ СОКРАЩЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ КАРДИОМИОЦИТОВ ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ

Михрякова П.П.¹, Бутова К.А.², Мячина Т.А.², Хохлова А.Д.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: nhiemdoc@bk.ru

ANALYSIS OF MECHANICAL ALTERNANS IN SINGLE CARDIOMYOCYTES IN ATRIAL FIBRILLATION

Mikhryakova P.P.¹, Butova X.A.², Myachina T.A.², Khokhlova A.D.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Immunology and Physiology UrB of RAS, Yekaterinburg, Russia

Atrial fibrillation (AF) has a significant impact on the contractile function of the heart in the form of alternans activity in atrial cardiomyocytes. In this study, we designed a method for evaluating mechanical alternans in atrial cardiomyocytes in AF.

Фибрилляция предсердий (ФП) – нарушение сердечного ритма, характеризующееся высокой скоростью возбуждения и сокращения предсердий, которое ведет к развитию сердечной недостаточности и инвалидизации населения [1]. ФП приводит к появлению альтернансов – чередованию сократительных циклов с отличными от стационарных значений параметрами электрических и механических характеристик миокарда. В свою очередь альтернация функциональных характеристик миокарда способствует развитию хронической формы ФП. Несмотря на широкое изучение альтернансов электрической активности, значительно меньше представлено методов оценки механических альтернансов кардиомиоцитов предсердий.

Цель данной работы заключалась в разработке метода оценки альтернансов сокращения кардиомиоцитов предсердий при ФП.

Эксперименты проводились на самцах крыс линии Wistar возрастом 9-10 недель в соответствии с положениями Директивы 2010/63/EU. Инициация пароксизмальной ФП выполнялась внутривенным введением раствора ацетилхолин хлорид- CaCl_2 (60 мкг/мл AChCl , 10 мг/мл CaCl_2) в дозировке 1 мл/кг в течение 7 дней [2]. Наличие пароксизмов ФП выявлялось при регистрации ЭКГ (ECG300G-VET, Китай). Изоляция одиночных кардиомиоцитов предсердий реализовывалась при помощи метода перфузии сердца по Лангендорфу с авторскими модификациями [3]. Измерения сократительной активности саркомеров кардиомиоцитов предсердий в механически ненагруженном режиме сокращения выполнялись с помощью программно-аппаратного комплекса MCSYS-02 (IonOptix, США) при 30 °C и 1 Гц.

Анализ данных на наличие альтернансов проводился при помощи ПО IonWizard (IonOptix, США). Наличие альтернансов в исходной записи принималось при выявлении чередования амплитуды сокращения саркомеров длительностью более 5 сократительных циклов. В качестве критерия механического альтернанса выбиралось отклонение амплитуды сокращения более 10% и длительности более 10 мс от стационарных значений [4]. В исследованном массиве клеток (n=77 клеток, N=6 крыс) встречаемость механических альтернансов составила 53%.

Анализ параметров механических альтернансов заключался в расчете максимального и минимального значения амплитуды и длительности укорочения и расслабления саркомеров в альтернансе и их сравнении с величиной параметров укорочения в стационарном состоянии (рассчитанных как среднее значение параметров до и после альтернанса). Разработанный метод позволит оценить изменение сократительной функции кардиомиоцитов предсердий при ФП с учётом альтернансной активности.

Работа выполнена при поддержке гос.темы ИИФ УрО РАН № 122022200089-4.

1. Mason, F.E., Pronto, J.R.D., Alhussini, K. et al. Cellular and mitochondrial mechanisms of atrial fibrillation. *Basic Res Cardiol* 115, 72 (2020).
2. Zou D., Geng N., Chen Y., et al. Ranolazine improves oxidative stress and mitochondrial function in the atrium of acetylcholine-CaCl₂ induced atrial fibrillation rats. *Life sciences* 156, 7-14 (2016).
3. Butova X. A., Myachina T. A., Khokhlova A. D. A combined Langendorff-injection technique for simultaneous isolation of single cardiomyocytes from atria and ventricles of the rat heart. *MethodsX* 8, 101189 (2021).
4. Xiaoping, W., Kenneth, R. L., Etienne, J. P. et al. Molecular correlates of repolarization alternans in cardiac myocytes. *JMCC* 39, 3 (2005).

MICROALGAE TECHNOLOGY: A REVIEW OF ITS DEVELOPMENT IN SOUTH AMERICAN COUNTRIES

Mora Villalba C.M.¹, Ivantsova M.N.¹, Mora Leon O.D.²

¹Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²Antonio Nariño University, Bogota, Colombia

E-mail: cyanethmora@hotmail.com

A review encompassing the contributions to the study of microalgae from the countries in South America, the lines of research being consolidated, and new and potential research that can provide solutions to global problems.

A review encompassing the contributions to the study of microalgae from the countries in South America, the lines of research being consolidated, and new and potential research that can provide solutions to global problems.

Microalgae technology is an emerging field with a range of applications; In fields that can contribute to sustainability in a global context, not only do microalgae participate as autotrophic and photosynthetic unicellular organisms that allow for the collection of CO₂, but are also used as raw material for processes, such as energy production, waste management and soil bioremediation, among others. These processes work in tandem with their ability, inherent to their physiological development, to produce lipids, carbohydrates, and proteins of significant technological interest [1].

Given the availability of microalgae and the benefits that can be obtained from them, researchers from all over the world have consolidated their fields of action to further develop their applications from different approaches. Such is the case of South American universities and research centers, which are making their contribution to work with this technology, thus increasing the feasibility of processes in terms of their potential environmental, commercial, and social impact worldwide. For this reason, it is important to know who partakes in these research networks, as well as the fields of action and the applications where microalgae are being utilized [2].

In conclusion, analyzing the contributions in the study of microalgae from the countries in South America provides information that allows us to assess their strengths and weaknesses in the region, and propose strategies that contribute to the development of science and the application of new technologies.

1. Lloyd, C., Tan, K.H., Lim, K.L. Identification of microalgae cultured in Bold's Basal medium from freshwater samples, from a high-rise city. *Sci Rep.* (2021).
2. Saleh M., Firoz A. Some Promising Microalgal Species for Commercial Applications: A review, *Energy Procedia*, Volume 110, 510-517 (2017).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО СИГНАЛА ЭПР В КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМАХ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Нархова А.А.¹, Вазиров Р.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: chumanova.an@gmail.com

INVESTIGATION OF THE RADIATION-INDUCED EPR SIGNAL IN COMPOUND FEED AFTER RADIATION PROCESSING

Narkhova A.A.¹, Vazirov R.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The radiation-induced EPR signal in compound feed was research after irradiation in different time. The general form of the EPR signal is presented. The EPR spectra has a complex shape, and the central peak has a dose dependence.

Важной задачей агропромышленного комплекса на сегодняшний день является увеличение срока хранения продукции и сокращения их потерь в результате порчи. Использование радиационной обработки в указанных целях позволяет избежать изменений, вызванных сменой температурного режима при тепловой обработке, накопления вредных веществ, вызванных химической обработкой, и снижает вероятность повторного заражения продуктов благодаря возможности обработки в упаковке. Немаловажным преимуществом применения данного метода для комбикормов является повышение их усвояемости животными и повышение сохранности поголовья скота [1].

В пищевой промышленности ЭПР-спектроскопия является уникальным способом для определения дозы облучения в продуктах. Преимущество данного метода заключается в возможности использования самого продукта в качестве дозиметра, а также быстрота и высокая точность [2]. Возможность реализации потоковой радиационной обработки на производстве совместно с использованием ЭПР спектрометрии позволит получить не только высокую эффективность, но и экономическую выгоду при применении данных технологий.

В данной работе впервые проведены исследования радиационно-индуцированного ЭПР сигнала комбинированных кормов для животных после радиационной обработка. В тоже время в состав комбинированных кормов входит крахмал и целлюлоза, что позволяет предварительно определить возможность регистрации спектров ЭПР [3,4].

В настоящей работе исследован радиационно-индуцированный ЭПР сигнал комбикорма ПК-1-1 и премикса ПЗ, облученных на электронном ускорителе УРТ-0,5 [5] в ИЭФ УрО РАН (энергия пучка 0,5 МэВ, доза за импульс 0,724 кГр).

Диапазон используемых поглощенных доз: 1 – 20 кГр. Поглощенная доза измерялась пленочными дозиметрами СО ПД(Ф)Э-5/50 и СО ПД(Э)-1/10. Измерения проводились на ЭПР спектрометре ELEXSYSE500.

Полученный график первой производной сигнала ЭПР имеет сложную форму (Рис. 1), что вызвано сложным составом комбинированных кормов, а также термической обработке в процессе производства. Отмечается изменение величины центрального пика при $H = 3510$ с ростом поглощенной дозы.

Дальнейшая оценка природы радикалов и их кинетики позволит сделать вывод о возможности использования ЭПР спектрометрии в качестве метода дозиметрии для комбинированных кормов.

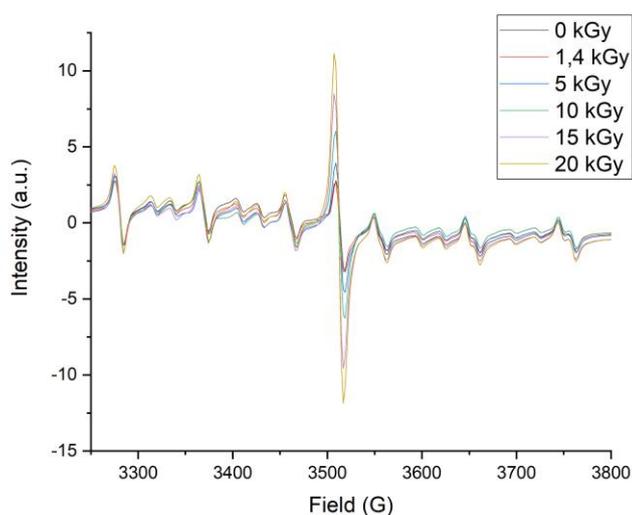


Рис. 1. Первая производная сигнала ЭПР комбикорма ПК-1-1

1. Пономарев А.В., Ершов Б.Г Интегрированные технологии на основе электронно-лучевой переработки целлюлозосодержащих сельскохозяйственных отходов // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. – Обнинск, 2018. – С. 141-145.
2. Georg A. Schreiber, Norbert Helle, Klaus Werner Bögl Detection of irradiated food-methods and routine applications // International Journal of Radiation Biology. 1993. Vol. 63, No. 1, pp. 105-130.
3. Raffi, J.J., Agnel, J.P.L. Influence of the physical structure of irradiated starches on their electron spin resonance spectra kinetics // The Journal of Physical Chemistry. – 1983. Vol. 87(13). P. 2369–2373.
4. Кузина С.И., Михайлов А.И. Свободные радикалы при фотолизе и радиоллизе целлюлозы // Журнал физической химии. – 2005. Вып. 79(6). С. 115-1123
5. Sokovnin, S.Yu., Balezin, M.E. Repetitive Nanosecond Electron Accelerators type URT-1 for radiation technology // Radiation Physics and Chemistry. 2018. Vol. 144, pp. 265-270.

УСТАНОВКА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТАКТИЛЬНОЙ СИЛЫ ДИСТАЛЬНОЙ ФАЛАНГИ ПРОТЕЗА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОПОРОЙ

Никитин В.С.¹, Волков А.С.¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
Архангельск, Россия
E-mail: what_is_love02@mail.ru

INSTALLATION FOR DETERMINING THE TACTILE FORCE OF THE DISTAL PHALANX OF THE PROSTHESIS WHEN INTERACTION WITH THE SUPPORT

Nikitin V.S.¹, Volkov A.S.¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk,
Russia

Using a stand to determine the maximum load on the phalanx of the bionic finger to prevent the breakage of the fluorocarbon thread during the operation of the prosthesis.

При разработке протезов верхних конечностей, для управления фалангами пальцев руки используются тяговые нити [1]. При функциональной работе по сгибу и разгибу пальца и взаимодействию его с внешними объектами (приложение силы со стороны фаланги F_d), используемая тяговая нить начинает растягиваться (имея также максимально-выдерживаемую силу F_m). При увеличении силы натяжения нити дистальная фаланга начинает прикладывать большую силу к поверхности объекта, следовательно, если сила $F_d \geq F_m$, тяговая нить оборвется, следовательно, дальнейшая работа по производству сгиба и разгиба пальцев не представляется возможной. Для решения данной проблемы нами был разработан экспериментальный стенд, определяющий силу, прикладываемую со стороны дистальной фаланги к поверхности объекта с соотношением максимальной выдерживаемой силы тяговой нити с описанием физики процесса.

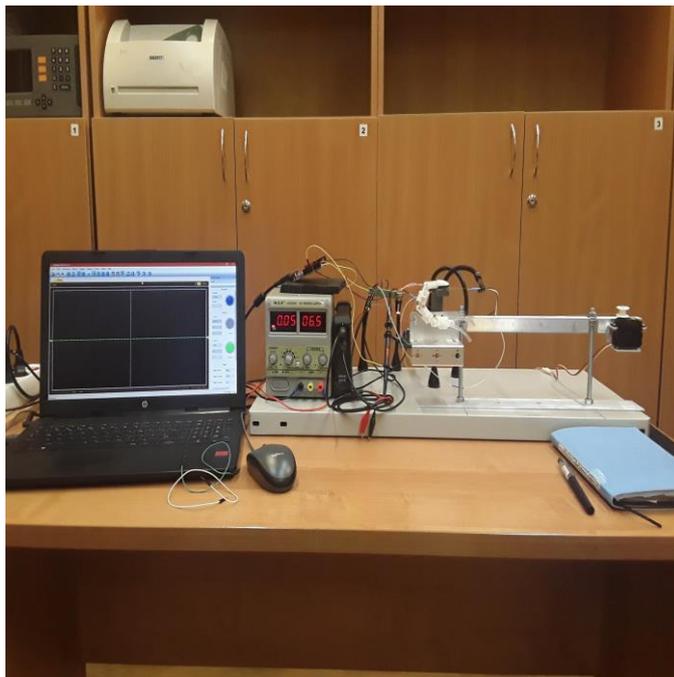


Рис. 1. Экспериментальный стенд

На рисунке 1 представлен экспериментальный стенд для определения тактильной силы дистальной фаланги.

Работа экспериментального стенда заключается в следующем, используемый сервопривод «MG996R» совершает крутящий момент, производя натяжение флюорокарбоновой нити тем самым приводя в движение механизм состоящего из последовательных звеньев производящих имитацию фаланг взаимодействуя дистальной фалангой с поверхностью датчика сопротивления «FSR 402». Все используемые компоненты подключены к управляющей платформе «Arduino UNO» и к лабораторному источнику постоянного тока «W.E.P» с выходным напряжением $U_0=6,5$ (В). Также к датчику сопротивления «FSR 402» подключена осциллографическая приставка «Hantek 6022 BE», регистрирующая выходное напряжение делителя U_0 датчика «FSR 402» зависимое от приложенной силы к его поверхности.

Таким образом, разработанный стенд позволяет определить тактильную силу дистальной фаланги F_d действующей на поверхность датчика с отношением максимальной выдерживаемой нагрузки флюорокарбоновой нити F_m для предотвращения её обрыва в ходе эксплуатации.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы "УМНИК".

1. Е. И. Аксенова, Н. Н. Камынина, С. Ю. Горбатов, Экспертный обзор «Технологии ассистивной биомехатроники», с. 21, (2020).

ГЕНЕРАЦИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АУГМЕНТАЦИИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Новоселов И.Э.¹, Смирнов А.А.¹

¹) Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина
E-mail: novivan001@gmail.com

BIOMEDICAL IMAGES GENERATION FOR DATA AUGMENTATION USING GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS

Novoselov I.E.¹, Smirnov A.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

Accurate biomedical images annotations are necessary for the development of medical applications. The generation of these images using neural networks can be used for data augmentation. The aim of the work is to create a method for biomedical images generation for data augmentation using GAN.

Точные аннотации биомедицинских изображений необходимы для разработки различных медицинских приложений. Задачи аннотирования требуют высокого уровня медицинских знаний, и, следовательно, можно использовать уже размеченные наборы данных для решения подобных задач. В последние годы наблюдается колоссальный скачок в разработке и применении методов машинного и глубокого обучения для создания новых снимков, используя размеченные изображения из конкретного набора данных [1]. Таким образом, генерация биомедицинских изображений с помощью генеративно-состязательной сети (GAN) может быть использована для аугментации данных, что может повысить эффективность классификации изображений, добиться экономии времени специалистов на ручную аннотацию снимков.

Целью работы является исследование возможности создания правдоподобных биомедицинских изображений для аугментации данных, используя GAN. Для этого необходимо: исследовать уже существующие методы аугментации биомедицинских изображений, найти набор снимков, разработать архитектуру нейронной сети, обучить ее на наборе данных, оценить полученные результаты.

Нейронную сеть планируется создавать с помощью языка программирования Python, так как он доступен, прост, популярен, для него существует множество открытых библиотек для расчетов и визуализации данных, а также для задач построения и обучения нейронных сетей.

1. Medical image synthesis for data augmentation and anonymization using generative adversarial networks / H. Shin, N. A. Tenenholz, J. K. Rogers, C. G. Schwarz.

International workshop on simulation and synthesis in medical imaging. – Springer, Cham, 2018. – P. 1-11.

ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПРОЯВЛЯЕМУЮ БИОКАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

Офицерова Н.Ю.¹, Бажукова И.Н.¹, Мышкина А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: n.ofitserova@mail.ru

EFFECT OF CERIUM DIOXIDE NANOPARTICLES DOPING WITH RARE EARTH METAL IONS ON THE BIOCATALYTIC ACTIVITY

Ofitserova N.Yu.¹, Bzhukova I.N.¹, Myshkina A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Nanocrystalline ceria takes active part in redox processes. Doping with rare earth ions modifies biocatalytic activity due to the change of the surface oxidation level and the number of oxygen vacancies. The results of a study of catalytic activity of pure and doped CeO₂ nanoparticles are presented.

В настоящее время активно развивается область нанобиотехнологий. Одним из перспективных материалов для применения в медико-биологической отрасли является нанокристаллический диоксид церия, способный проявлять разнообразную биологическую активность в живых системах благодаря присущим ему физико-химическим свойствам в наносостоянии [1]. Структура наночастиц включает в себя кислородные вакансии и смешанные валентные состояния Ce³⁺ и Ce⁴⁺, что обеспечивает окислительно-восстановительную активность. Возможность перехода между этими состояниями делает наночастицы способными участвовать в нескольких редокс-циклах.

Важное значение имеет антиоксидантная активность наночастиц, поскольку свободные радикалы оказывают повреждающее действие на белки, инициируют перекисное окисление липидов, вызывают повреждения ДНК - организм подвергается окислительному стрессу, приводящему к множеству заболеваний, гибели клеток, старению. Наночастицы диоксида церия способны выполнять роль ферментов естественной антиоксидантной системы организма и нейтрализовать активные формы кислорода и азота, такие как супероксид-анион, пероксид водорода, гидроксильный радикал, нитрозил-радикал и пероксинитрит [2]. Отмечается, что наряду с исследованиями, демонстрирующими антиоксидантные свойства наночастиц, существуют работы, в которых были зафиксированы прооксидантные эффекты влияния CeO₂ [3] или отсутствие каталитической активности по отношению к клеткам [4].

Окислительно-восстановительные свойства, обуславливающие биологическую активность наночастиц, связаны с образованием кислородных вакансий на

поверхности частицы, изменением содержания ионов Ce^{3+} и подвижностью кислорода в кристаллической решетке [5]. Одним из способов модификации степени окисления поверхности и увеличения кислородных вакансий является допирование наночастиц ионами трехвалентных редкоземельных металлов.

Целью работы является обзор и анализ литературных данных о влиянии легирования наночастиц на их структуру и, как следствие, проявляемую активность, а также исследование проявляемой мультиферментативной активности для чистых образцов и образцов, легированных ионами следующих редкоземельных элементов: Er, Yb, Sm.

Результаты исследования показали, что легирование наночастиц CeO_2 ионами трехвалентных редкоземельных металлов приводит к повышению антиоксидантной активности нанокристаллического диоксида церия по сравнению с чистыми образцами благодаря увеличению числа кислородных вакансий и соотношения $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ в структуре кристаллической решетки наночастиц. Дальнейшее изучение механизма легирования ионами трехвалентных редкоземельных металлов наночастиц диоксида церия позволит осуществлять регулируемую настройку валентного отношения и возможности перехода между валентными состояниями Ce^{3+} и Ce^{4+} , а также числа кислородных вакансий на поверхности. Эти параметры влияют на биологическую активность и являются критическими для получения наноматериалов с заданными характеристиками для конкретного медицинского применения.

1. Dhall A., Self W. Cerium oxide nanoparticles: a brief review of their synthesis methods and biomedical applications. *Antioxidants* 7(8), 97 (2018).
2. Nelson B. C. et al. Antioxidant cerium oxide nanoparticles in biology and medicine. *Antioxidants* 5(2), 15 (2016).
3. Ranjbar A. et al. Role of cerium oxide nanoparticles in a paraquat-induced model of oxidative stress: emergence of neuroprotective results in the brain. *Journal of Molecular Neuroscience* 66(3), 420-427 (2018).
4. Hardas S. S. et al. Brain distribution and toxicological evaluation of a systemically delivered engineered nanoscale ceria. *Toxicological sciences* 116(2), 562-576 (2010).
5. Gupta A. et al. Controlling the surface chemistry of cerium oxide nanoparticles for biological applications. *Journal of Materials Chemistry B*. 4(19), 3195-3202 (2016).

PROXIMATE, FUNCTIONAL AND SENSORY PROPERTIES OF BREAD FROM WHEAT - PLANTAIN (*MUSA SPP*) FLOUR BLENDS

Okereke S.O.¹, Ojileh P.C.¹, Okechukwu Q.N.^{1,2}

¹) Department of food Science and Technology, Federal University of Technology, PMB 1526, Owerri, Imo State, Nigeria

²) Chemical Technology Institute, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. Mira St., 19. Yekaterinburg, 620002, Russia
E-mail: queencyokechukwu@gmail.com

The effect of blanching treatments on the functional properties of plantain flour and sensory characteristics of bread made from wheat (80%) and plantain (20%) flour was investigated.

The use of plantain flour is becoming increasingly popular among diabetics because of its low glycemic index. This has caused an increase in the use of Plantain flour for the production of "fufu". Ojinaka et al. [1] has reported plantain bread and biscuit, however the color of the bread, like its "fufu" product, did not compare well with current commercial bread, including cassava-blend bread, even after the typical blanching process. As a result, there is still no suitable plantain bread product to provide at breakfast for diabetics. This study was carried out to find a suitable blanching pretreatment for plantain flour before being used in bread production.

Different blanching techniques were employed to get the final plantain flour to have the final samples; ash infused plantain flour (A), plantain flour blanched in hot water with peel (B), plantain flour blanched in hot water without peel (C), and unblanched plantain flour (D). From the functional analysis sample C had the highest pH of 6.15 with sample D having the lowest at 5.48 with all samples showing significant difference ($p < 0.05$). B and C had no emulsion capacity, however D with 2.78 was the highest followed by A with 1.89 both showing significant difference ($p < 0.05$). All samples had no foam stability, and their was significant difference ($p < 0.05$) in all foam capacity (0.98 – 3.96) %. The wettability (11.30 – 50.51)seconds of all samples differed significantly ($p < 0.05$). The oil absorption capacity (OAC) and water absorption capacity (WAC) were in the ranges of (1.74 – 1.83) and (2.39 – 2.99). Sample C had the highest bulk density (BD) (0.81), with all samples showing no significant difference ($p < 0.05$). The loaf characteristics results showed significant difference ($p < 0.05$) in loaf volume (250-420)cm³ and loaf weight with C producing the highest weight (180.18g), and E with the least (93.53g). According to the sensory evaluation results, bread created from sample C was ranked highest (6.95) by the panelists.

Based on these findings, we recommend that diabetic patients and other customers utilize wheat-plantain composite flour in bread manufacturing and other baked products.

1. Ojinnaka et al., Pak. J. Nut 8, 5 (2009).

РАЗРАБОТКА КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА, ОБОГАЩЕННОГО ПРЕБИОТИЧЕСКИМ И РАСТИТЕЛЬНОМ ИНГРЕДИЕНТАМИ

Панин М.В.¹, Гейде И.В.¹, Селезнева И.С.¹, Губина А.С.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) ООО "Санитарно-гигиеническая компания"
E-mail: geide_iv@mail.ru

DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL FERRED MILK PRODUCT ENRICHED IN PREBIOTIC AND VEGETABLE INGREDIENTS

Panin M.V.¹, Geide I.V.¹, Selezneva I.S.¹, Gubina A.S.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Sanitary-hygienic company

Amaranth flour has a high biological value. Lactulose is a powerful bifidogenic factor. Our work was to develop a functional fermented milk product with the addition of prebiotic and plant components. The main physical and chemical parameters of the finished product are determined.

В последнее время во всем мире получили широкое распространение функциональные пищевые продукты как новое и перспективное направление для улучшения структуры питания и поддержания здоровья людей.

Особое внимание потребителей все чаще обращено на молочные продукты с высокой пищевой и биологической ценностью. Доказано, что кисломолочные продукты, такие как йогурты, по своим функциональным свойствам превосходят молоко и широко практикуются в диетическом и лечебном питании. Они содержат все составные части молока в лучшем для усвоения виде. Разработка таких продуктов ведется постоянно, в связи с этим увеличивается потребительский интерес к йогуртам, обогащенным дополнительными функциональными ингредиентами.

Внесение в кисломолочные продукты растительных добавок, а также пребиотических культур приводят к созданию новых физиологически функциональных пищевых продуктов.

Для обогащения кисломолочных продуктов дополнительными питательными компонентами, такими как витамины и микроэлементы, часто используют различные растительные ингредиенты (различные плоды, ягоды, зерновые и масляные культуры) [1].

Амарант – это уникальное растение, которое нашло широкое применение в медицине и пищевой промышленности. Амарантовая мука обладает высокой биологической ценностью, служит богатым источником минеральных веществ, незаменимых аминокислот; витаминов группы В, С, А, Д и РР, которые

оказывают выраженное иммуностимулирующее, противовоспалительное, антиоксидантное действия [2].

Лактулоза является наиболее исследованным пребиотиком. Она относится к классу олигосахаридов, подклассу дисахаридов. Молекула состоит из остатков галактозы и фруктозы, которые соединены β -1-4-связью. В слизистой оболочке тонкого кишечника лактулоза не гидролизуется ферментами дисахаридазами. А вот микрофлора толстой кишки способна гидролизовать большую часть данного пребиотика до молочной кислоты, меньшую часть до муравьиной и уксусной кислот. Лактулоза стимулирует перистальтику кишечника, помогает выведению ионов аммония из организма, способствует всасыванию солей кальция и фосфатов, а также помогает восстанавливать физиологические ритмы опорожнения толстого кишечника. Очень важное свойство рассматриваемого пребиотика заключается в ее функциональной стабильности, а именно возможность к сохранению целебных свойств в достаточно широком диапазоне сред и разных технологических режимов [3].

В ходе проведенной работы получены образцы йогурта, обогащенные пребиотическим компонентом – лактулозой и растительным компонентом – амарантовой мукой. Подобрано оптимальное соотношение добавляемых компонентов. Установлены основные физико-химические, микробиологические и органолептические показатели полученных продуктов. Изучены показатели качества готовых продуктов, а также определено влияние добавляемых компонентов на сроки хранения полученных йогуртов.

1. Белякова С.Ю., Красникова Л.В. Научный журнал НИУ ИТМО 1, 1-13 (2014).
2. Шмалько Н.А. В мире научных открытий 1-4 (7), 175-183 (2010).
3. Рябцева С.А. Переработка молока, 8, 32-35 (2007).

ИНДУЦИРОВАННАЯ ШУМОМ САМООРГАНИЗАЦИЯ В ДИФфуЗИОННОЙ МОДЕЛИ ГЛИКОЛИЗА

Панкратов А.А.¹

¹) Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Российская федерация
E-mail: alexandrpankratov9@gmail.com

NOISE-INDUCED SELF-ORGANIZATION IN A GLYCOLYSIS DIFFUSION MODEL

Pankratov A.A.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Selkov's model of glycolytic oscillations with diffusion and stochastic disturbances is considered. Formation of spatially inhomogeneous structures in the parametric Turing stability zone due to random perturbations is shown. A study of transient processes and dominant structures is carried out.

Для моделей реакция-диффузия известен феномен пространственно-временной самоорганизации. Причины этого феномена были исследованы Тьюрингом, который показал, что неустойчивость в подобных моделях может приводить к появлению постоянных во времени пространственных паттернов [1]. Этот процесс наблюдается и в экспериментах, в частности, для реакции гликолиза. Реакция гликолиза важна сама по себе, как часть энергетического цикла живой клетки, поэтому процесс формирования паттернов в ней также представляет интерес.

На любую реакцию, протекающую в реальных условиях, действуют внешние возмущения. Эти возмущения, будучи внесены в модель в виде шума, влияют на процессы формирования паттернов. В докладе рассматривается модель гликолитического осциллятора Селькова [2] с одной пространственной координатой. Для этой модели показано формирование пространственно-неоднородных структур в параметрической зоне устойчивости Тьюринга за счет случайных возмущений. Проведён анализ процессов формирования паттернов в зависимости от интенсивности шума и близости параметров системы к бифуркационным. Получено описание пространственных особенностей таких паттернов. С помощью аппарата гармонических коэффициентов проведено исследование переходных процессов и доминирующих структур.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №21-11-00062).

1. Bashkirtseva, I., and Pankratov, A. Selkov glycolytic model with diffusion: Patterns, multistability, and stochastic transitions. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*.
2. Sel'Kov, E. E. *European Journal of Biochemistry* 4(1), 79-86 (1968).

ОЦЕНКА СБАЛАНСИРОВАННОСТИ РАЦИОНА ВЕГАНОВ ПО АМИНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ

Перминова А.А.¹

¹) Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: alyonaperminova61@yandex.ru

ASSESSMENT OF THE BALANCED DIET OF VEGANS BY AMINO ACID COMPOSITION

Perminova A.A.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Yekaterinburg, Mira str., 19

Essential amino acids play a crucial role in human life, and given that our body cannot synthesize these substances independently for its own needs, we must carefully monitor the balance of food consumption.

Незаменимые аминокислоты — необходимые аминокислоты, которые не могут быть синтезированы в том или ином организме. Для разных видов организмов список незаменимых аминокислот различен. Все белки, синтезируемые организмом, собираются в клетках из 20 базовых аминокислот, только часть, из которых может синтезироваться организмом. Невозможность сборки определённого белка организмом приводит к нарушению его нормальной работы, поэтому необходимо поступление незаменимых аминокислот в организм с пищей [1].

Были выявлены функции и свойства незаменимых аминокислот, чем грозит человеку их дефицит и избыток, также были рассмотрены методы определения аминокислотного состава пищевых продуктов и продукты растительного происхождения, имеющие в своем составе все незаменимые аминокислоты в наибольшем процентном содержании.

В настоящее время проводится анализ рационов людей, потребляющих в пищу исключительно растительные продукты (веганов) для дальнейшего составления для них оптимального рациона с учетом их вкусовых предпочтений и сбалансированности аминокислотного состава.

1. Липатов, Н.Н. Формализованный анализ аминокислотной и жирокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью / Н.Н. Липатов, Г.Ю. Сажинов, О.Н. Башкиров // Хранение и переработка сельхозсырья, 2001. – № 8. – С. 11–14.

БЫСТРОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЦЕПЕЙ МИОЗИНА В ПОЛИАКРИЛАМИДНОМ ГЕЛЕ

Пермякова Ю.В.¹, Гребенщикова А.В.¹, Костромина Ю.Е.¹, Селезнёва И.С.¹,
Набиев С.Р.², Герцен О.П.², Никитина Л.В.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: permiakova.yuliia@mail.ru

SDS-PAGE FOR MYOSIN HEAVY CHAINS: FAST AND FURIOUS

Permyakova Yu.V.¹, Grebenschikova A.V.¹, Kostromina Yu.E.¹, Selezneva I.S.¹,
Nabiev S.R.², Gerzen O.P.², Nikitina L.V.²

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The ratio of myosin heavy chains in different heart chambers was measured using a new fast modification of SDS-PAGE (sodium dodecyl sulphate - polyacrylamide gel electrophoresis).

Электрофоретическое разделение белков в полиакриламидном геле – проверенный метод для изучения структурных характеристик белков, в частности, определения соотношения изоформ тяжелых цепей миозина.

Определение изоформного состава тяжелых цепей миозина – сложная задача, решение которой может зависеть от типа мышцы (скелетная или сердечная) и вида животного [1, 2]. Как правило, электрофоретическое разделение тяжелых белков (~220 кДа) занимает длительное время (~15-30 часов), а с помощью нашей модификации методики стало возможным разделить белки менее чем за 4 часа.

Мы исследовали изоформный состав тяжелых цепей миозина разных отделов сердца крыс с помощью вертикального денатурирующего полиакриламидного гель-электрофореза с додецил сульфатом натрия основываясь на методе Reiser & Kline [2].

Наиболее значимые отличия нашей модификации по сравнению с другими методами заключались в следующем:

- Использовался гель и установка для электрофореза маленького размера – 100×120×0,75 мм.
- Содержалось 10 % глицерола в разделяющем геле.
- Глицин использовался только для буфера, но не содержался в разделяющем геле.

– Концентрация миозина, предварительно растворенного в специальном в буфере, составляла 0,1-0,3 мг/мл в зависимости от срока получения белка. Для миозина, который был получен более 1 недели необходимо предварительное центрифугирование в течение 2 минут.

– Электрофорез проводился при постоянной силе тока 15 мА в течение 40 минут, и затем 25 мА в течение 3 часов при температуре 8 °С.

– Для всех процедур использовалась только деионизированная вода.

Остальные процедуры проходили в соответствии с общепринятой методикой или содержали незначительные изменения.

В результате электрофоретического разделения было зарегистрировано соотношение тяжелых цепей миозина разных отделов сердца здоровых крыс. Тяжелые цепи миозина (ТЦМ) в сердце крысы представлены двумя изоформами – α -ТЦМ с более высокой АТФазной активностью, и как следствие, более высокой скоростью циклирования поперечных мостиков, и β -ТЦМ с более низкой АТФазной активностью [3, 4]. В предсердиях содержалось 100 % α -ТЦМ, в правом желудочке содержалось 85 ± 5 % α -ТЦМ и 15 ± 5 % β -ТЦМ, в левом желудочке содержалось 86 ± 4 % α -ТЦМ и 14 ± 4 % β -ТЦМ. Наши данные не имеют противоречий с литературными данными [5, 6], поэтому данную модификацию SDS-PAGE можно считать эффективным методом для разделения тяжелых цепей миозина.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ИИФ УрО РАН в рамках госзадания ИИФ УрО РАН №122022200089-4.

2. Talmadge, R.J., Roy, R.R. Electrophoretic separation of rat skeletal muscle myosin heavy-chain isoforms. *J. Appl. Physiol*, 75, 2337–2340 (1993)
3. Reiser, P.J. and Kline, W.O. Electrophoretic separation and quantitation of cardiac myosin heavy chain isoforms in eight mammalian species. *Am. J. Physiol. Circ. Physiol*, 274, H1048–H1053 (1998)
4. Shchepkin, D. V., Kopylova, G. V., Nikitina, L. V. Study of reciprocal effects of cardiac myosin and tropomyosin isoforms on actin-myosin interaction with in vitro motility assay. *Biochem. Biophys. Res. Commun*, 415, 104–108 (2011)
5. Nikitina, L. V., Kopylova, G. V., Shchepkin, D. V., Katsnelson, L.B. Study of the interaction between rabbit cardiac contractile and regulatory proteins. An in vitro motility assay. *Biochem*, 73, 178–184 (2008)
6. Galler, S., Puchert, E., Gohlsch, B., Schmid, D., Pette, D. Kinetic properties of cardiac myosin heavy chain isoforms in rat. *Pflugers Arch. Eur. J. Physiol*, 445, 218–223 (2002)

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENTIAL GENE EXPRESSION ON PATIENTS WITH ISCHEMIC AND IDIOPATHIC CARDIOMYOPATHY IN R PROGRAMMING LANGUAGE

Polanco F.E.¹, Zuzunaga R.R.²

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

² Santa Maria Catholic University, Arequipa, Peru

E-mail: fpolancoespinorusia@gmail.com

On the investigation were compared the gene expression of patients with ischemic cardiomyopathy and idiopathic cardiomyopathy to find the overlapping genes between them. The gene expression analysis of both diseases and the comparison analysis were made on programming language R.

There are many types of cardiomyopathy diseases, one of them is idiopathic cardiomyopathy. It is characterized by the fact that its cause is unknown [1]. Therefore, in the present work, a comparative analysis was carried out between the genetic expression of patients with ischemic cardiomyopathy and idiopathic cardiomyopathy. It was made to find the overlapping genes between them and try to find the converging and diverging molecular processes between them.

Data were obtained from the NCBI open biological database. The GSE5406 database was used: "Human ischemic cardiomyopathy, idiopathic cardiomyopathy, and nonfailing controls" [2]. With the help of the R programming language, gene expression analysis was carried out, comparing the genes of people with each disease with the genes of healthy people. Thus, the differences in gene expression for each disease were obtained. Genes were divided into up-regulated (expression above the norm) and down-regulated (expression below the norm). Using the already organized data a comparative analysis was carried out between the up-regulated and down-regulated groups of each disease to find the convergences (genes are expressed proportionally in both diseases) and divergences (genes are expressed inverse proportionally in both diseases) in the gene expression of both. Up-ischemia vs up-idiopathic, down-ischemia vs down-idiopathic, up-ischemia vs down-idiopathic, and down-ischemia vs up-idiopathic were compared. There were no divergent gene expressions between the up-regulated and down-regulated groups of the diseases, but there were found 36 convergences (10 up-regulated, 26 down-regulated). The two groups of genes were correlated with the help of the STRING database [3] and were found significant biological pathways that correlate one disease with the another.

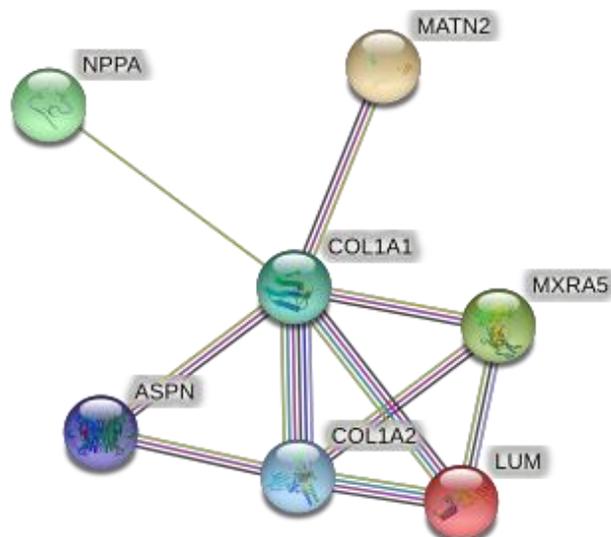


Рис. 1. Protein-protein interactions of the convergent up-regulated genes

1. G. William Dec, and Valentin Fuster. New England Journal Med. 331, 1564-1575 (1994).
2. the NCBI open biological database. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/query/acc.cgi?acc=GSE5406> -Дата обращения: 08.07.2021.
3. Protein-Protein Interaction Networks. Functional Enrichment Analysis. Available at: <https://string-db.org/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПУЧКА УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ УСТАНОВКИ УВНИПА-1-001

Прокопьева О.Е.¹, Райков Д.В.¹, Войнов В.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: prokopevaolga16@gmail.com

THE RESEARCH ON THE HETEROGENEITY OF CARBON PLASMA FLOW OF THE FACILITY UVNIPA-1-001

Prokopeva O.E.¹, Raikov D.V.¹, Voinov V.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The main goal of this research is to investigate the carbon plasma flow of facility UVNIPA-1-001, analyse its structure and consider the magnetic separation as a way to enhance the quality of vacuum ion-plasma deposition method of film coating.

В современной медицине широкое применение находят имплантаты, покрытые углеродными пленками. Углеродные плёнки способствуют ускорению приживаемости имплантов, снижению вероятности проявления аллергических реакций и отторжения биологической тканью. Одним из методов синтеза углеродных плёнок является метод вакуумного ионно-плазменного напыления. Суть метода - получение углеродной плазмы из катода и осаждение её на мишени. Недостатком метода является неоднородность углеродной плазмы, наличие в её потоке микро-частиц капельной и ионной фазы материала катода, которые при попадании на поверхностный слой приводят к формированию кластеров различных аллотропных форм углерода, что может способствовать ухудшению биомедицинских свойств [1, 2].

Решением данной проблемы может служить разделение потока углеродной плазмы на капельную и ионную фазы. На установке УВНИПА-1-001, находящейся на кафедре экспериментальной физики ФТИ УрФУ, проведены эксперименты магнитной сепарации углеродной плазмы. При воздействии на поток углеродной плазмы магнитным полем, на мишени наблюдали образование двух пятен, соответствующие составным частям потока, содержащие элементы с одинаковым зарядом и массой.

Основываясь на свойствах магнитного поля, создали математическую модель, которая описывает зависимость угла и радиуса рассеивания от массы частицы, и произвели расчеты, учитывая неоднородность энергии пучка.

Результаты моделирования и полученные экспериментальные результаты с данной установки позволяют сделать вывод, что происходит не только разделение потока на фазы, но и рассеивание частиц по массе, так называемая масс-зарядная сепарация. Также можно предположить, что поток не до конца

разделяется на две фазы, и осуществляется рассеивание капельной фазы по массе микрочастиц. Стоит отметить, что сепарация капельной фазы на крупные и мелкие частицы позволяет улучшить поверхностные свойства углеродных пленок за счет уменьшения микродефектов покрытия.

1. Хороших, В.М., П. Капельная фаза эрозии катода стационарной вакуумной дуги, ФП ФИП PSE 2(4), 200–213 (2004).
2. С. Д. Латушкина, А. Г. Жижченко, О. И. Посылкина, Вакуумно-дуговые карбонитридтитановые покрытия, осажденные из сепарированных плазменных потоков. Электронная обработка материалов 51(4), 22-27 (2015).

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ОБРАБОТКЕ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Пустотина А.А.¹, Баранова А.А.¹, Селезнева И.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: pustotinasasha@gmail.com

APPLICATION OF RADIATION TECHNOLOGIES TO SAUSAGE PROCESSING

Pustotina A.A.¹, Baranova A.A.¹, Selezneva I.S.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

In this work, we study the effectiveness of the of radiation treatment to extend the shelf life of sausage products. The irradiation dose for poultry meat was chosen within the range of up to 15 kGy. The analysis is carried out by comparing the characteristics of the irradiated and control samples.

Мясная промышленность является социально значимой отраслью аграрно-промышленного комплекса, что обусловлено высоким потребительским спросом [1]. Помимо наращивания объёмов производства необходимо соблюдать право потребителей на качество и безопасность продукции [2]. В свою очередь, для производителей важно сокращать затраты на производство, хранение и утилизацию товаров по истечению срока годности. Поэтому актуальным является вопрос поиска альтернативных методов обработки. В настоящее время конкурентоспособным аналогом химической обработки мясных изделий считается радиационная обработка [3].

Преимуществами радиационной обработки, в сравнение с другими, относительно мясной продукции является сохранение уникальных органолептических свойств мяса. Стерилизационный эффект обусловлен угнетающим действием ионизирующего излучения, которое препятствует протеканию биологических процессов, необходимых для существования живых организмов. Различная радиорезистивность микроорганизмов, обуславливает необходимость индивидуального подбора технологии дозового воздействия, исключая при этом негативное влияние на человеческий организм [4].

Целью данного исследования является изучение возможности использования радиационной обработки колбасных изделий в качестве способа подавления патогенной микрофлоры и пролонгации хранения.

В качестве объекта исследования выбраны колбасные изделия вареного и варено-копченого способа изготовления производителей уральского региона. В ходе эксперимента исследования проводились микробиологический анализ на наличие микроорганизмов в изделиях до и после облучения, расчет величины

поглощенной дозы в зависимости от глубины проникновения и осуществлялся радиобиологический контроль.

В основу выбора дозовой линейки положена мировая практика безопасного облучения и диапазон рекомендованных доз для данного вида продукции. Определение поглощенной дозы и контроль облучения проводился с использованием пленочных дозиметров СО ПД(Э)-1/10 и СО ПД(Ф)Р-5/50. Облучение образцов проходило в центре радиационной стерилизации ЦРС с использованием линейного ускорителя электронов УЭЛР-10-10С. Дозу облучения варьировали путем изменения скорости движения паллет с образцами. Изучение показателей качества контрольных и облученных образцов проводили в соответствии с ГОСТ 9959-2015.

В ходе исследования установлено, что с ростом поглощенной дозы число микроорганизмов сокращается, при этом отмечается отсутствие потенциально опасных бактерий для всех величин доз. Из анализа органолептических характеристик следует, что величины доз до 10 кГр способствуют продлению срока хранения. Проведение дальнейших исследований и разработка технологий облучения перспективно в условиях внедрения радиационных технологий в сферу пищевой промышленности.

1. А.Б. Лисицын, Н.А. Горбунова, Н.Ф. Небурчилова, И.В. Тенденции развития мясной отрасли АПК РФ // Журнал Все о мясе. 2016. №1.
2. R.T. Timakova, S.L. Tikhonov, A.N. Tararkov, L.S Kudryashov. Assessment of radiation safety of chilled meat. The Journal Theory and practice of meat processing № 3:57-65 (2016).
3. В.О. Кобялко, И.В.Полякова, В.Я. Саруханов, Н.А.Васильева, А.И. Морозова, К.С. Лауринавичюс, Ф.В. Дороничев, Н.А. Фролова, О.А Губина. Холодная пастеризация рыбных пресервов с использованием электронного излучения // МНИЖ. 2018. №10-1 (76).
4. ГОСТ 33820-2016. Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов. – Введ. 2017–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2019. – IV, 12 с.

INFARCTION INJURY TRANSLATION FROM RAT HEART TO HUMAN HEART. STUDY OF ARRHYTHMIAS

Rokeakh R.O.^{1,2,3}

- ¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
- ²) Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
- ³) Federal State Budgetary Institution “Almazov National Medical Research Centre” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia
E-mail: roman.rokeakh@yandex.ru

The geometries of the post-infarction scar surrounded by the border zone were built for rat ventricles based on experimental data and then were translated to the human ventricles. Together with species-specific ionic cellular models they were used in studies of arrhythmias under infarction injury.

Most of the experimental studies of lethal cardiac arrhythmias are performed in the hearts of small animals such as rat, mouse etc. Problem of translating the results of these experiments to the human heart is very important and highly non-trivial. Here, an approach is proposed and tested for translation of experimental data on ischemic-reperfusion injury performed in the rat heart to the human geometry.

Following previous work [1] more realistic geometries of infarction injury were built directly from experimental results on ischemic-reperfusion injury in rats under different conditions. Experimental data for each observation consists of images of rat left ventricle slices. From these images zones of normal myocardial tissue, post-infarction scar and border zone were segmented. Then based on the slices and the DT-MRI anatomical model of left ventricles [2] full geometries of infarction injury were reconstructed using image processing tools scikit-image [3] and Deformetrica [4]. These geometries included post-infarction scar surrounded by the border zone; different conditions resulted in different scar to border zone volume ratio. The geometries together with rat ionic models [1] for normal and border zone tissue were used to study electrophysiological outcomes of myocardial damage. Then infarction injury geometries were translated to the model of human heart ventricles using Deformetrica. Arrhythmia configurations in damaged human heart were studied and compared to the ones seen in the rat model.

This study has been supported by a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement #075-15-2020-800).

1. Rokeakh R., Nesterova T., Ushenin K., Polyakova E., Sonin D., Galagudza M., De Coster T., Panfilov A., Solovyova O., Anatomical Model of Rat Ventricles to Study Cardiac Arrhythmias under Infarction Injury, *Mathematics*, 9, 2604 (2021)

2. Whittaker D.G., Benson A.P., Teh, I., Schenider J.E., Colman M.A., Investigation of the Role of Myocyte Orientations in Cardiac Arrhythmia Using Image-Based Models, *Biophysical Journal*, 117, 2396–2408, (2019)
3. van der Walt S., Schönberger J.L., Nunez-Iglesias J., Boulogne F., Warner J.D., Yager N., Gouillart E., Yu T., the scikit-image contributors, scikit-image: image processing in Python, *PeerJ*, 2, e453, (2014)
4. Bône A., Louis M., Martin B., Durrleman S., *Deformetrica 4: An Open-Source Software for Statistical Shape Analysis*, *ShapeMI 2018: Shape in Medical Imaging*, 3-13 (2018)

THE POSSIBILITY OF USING MAST CELLS AS INDICATORS OF THE ACCUMULATION OF AGE-RELATED CHANGES IN DIFFERENT TISSUES

Sadek A.¹, Khramtsova Y.S.²

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

² Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch RAS, Yekaterinburg, Russia
E-mail: sadek1996@mail.ru

In this research the age related changes of morpho-functional parameters of mast cells populations in different organs of rats: thymus, adrenal glands, gastrointestinal tract, skin and liver were studied by using two different aged groups of Wistar rats and different histochemical stains.

With the increasing of age-related diseases, the needs of understanding the ageing process increasing in aim to find assessment tools and treatments for this process. Recent studies find some link between mast cells factors and the ageing process, which give them importance for further study.

In this research, different types of histochemical stains were be used in aim to study and compare the age-related changes of morpho-functional parameters of mast cells populations in different organs of rats line Wistar. The studied organs were divided into two groups according to their response to stress. Organs involved in the stress reaction: thymus, adrenal glands, stomach, small and large intestines, and organs not directly involved in the stress reaction: skin and liver. The histochemical stains which were used: hematoxylin - eosin for morphometric analysis of blood vessels, toluidine blue to determine the parameters of mast cells (the number of mast cells and the state of their function) and alcian blue - safranin to determine the degree of maturity of mast cells.

Mast cell populations in all organs directly involved in stress reactions significantly change with age, which manifests itself primarily in an increase in their degranulation and a decrease in their synthetic activity. This can be explained by the phenomenon of "age-related" inflammation (inflammageing), which leads to the accumulation of cytokines and pro-inflammatory mediators in tissues, which, in turn, activates mast cells. Age-related changes in mast cell populations in organs not involved in stress reactions were different depending on the organ. Thus, the reactions of mast cells of skin with age are similar to those observed in organs involved in stress reactions. While no changes were detected in the liver from the side of mast cells. This is most likely due to the fact that the mast cells of the liver are characterized by gradual degranulation which is necessary for the regulation of liver functions throughout life.

With age, the size of blood vessels increases in all organs involved in stress reactions, and in the skin. This change occurred in response to active degranulation of mast cells. It can be concluded that the influence of mast cells on blood vessels plays an important role in the damage and remodeling of tissues that occur with age.

The population of mast cells of skin with age demonstrates changes similar to those that occur in organs involved in stress reactions. This can be explained by the function of the skin, which consists in external protection, which makes it susceptible to various kinds of stress factors and antigens. This leads to consequences similar to those in a stress reaction and accumulating throughout life.

depending on these results, it is possible to suggest the possibility of using age-related changes in the mast cell population as an indicator of the aging process in the studied tissues.

Выражаем благодарность за помощь в работе Тюменцевой Наталье Валерьевне, с.н.с. ИИиФ УрО РАН.

1. Гусельникова В. В. Морфофункциональная характеристика популяции тучных клеток тимуса мыши: дис... канд. биол. наук. – Санкт-Петербург, 2016. – 127 с.
2. Kutukova N. A. et al. Mast cells and aging. *Advances in Gerontology* 7(1), 68-75 (2017).
3. Ribatti D., Crivellato E. The role of mast cell in tissue morphogenesis. Thymus, duodenum, and mammary gland as examples. *Experimental cell research* 341(1), 105-109 (2016).
4. Daskalova E. Age-related Changes in Rat Thymus Connective Tissue Influenced by *Aronia Melanocarpa*. *Acta morphologica et anthropologica* 26, 1-2 (2019).
5. Pal S., Meininger C. J., Gashev A. A. Aged lymphatic vessels and mast cells in perilymphatic tissues. *International journal of molecular sciences* 18(5), 965 (2017).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ КУРСОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Сафронова А.В.¹, Вазиров Р.А.¹, Коротовских О.И.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: safronova.123@yandex.ru

USING RADIOBIOLOGICAL MODELS FOR PLANNING FRACTIONATION OF RADIATION THERAPY COURSES

Safronova A.V.¹, Vazirov R.A.¹, Korotovskikh O.I.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

There are different ways to deliver fractions of radiation therapy to control and treat tumor diseases. However, personal method fractions of radiation are used for better treatment. For that reason, the database has been created to help calculate courses based on radiobiological models.

Лучевая терапия остается одним из наиболее эффективных методов лечения опухолевых заболеваний [1]. Для сохранения жизнеспособности и физиологических функций нормальных тканей и органов при облучении необходимо общую дозу фракционировать, то есть дробить на порции. Это позволяет снижать вероятность проявления сублетальных повреждений нормальных тканей благодаря промежуткам между облучениями. При этом увеличивается вероятность гибели опухоли благодаря насыщению клеток кислородом и их перераспределению по фазам клеточного цикла [2]. Таким образом можно контролировать эффект, который идет на опухоль и здоровые ткани.

Каждый вид опухолей требует подбора индивидуального режима фракционирования, что усложняет расчеты. Расчет оптимального курса фракционирования сложная задача, которая не может быть решена рутинным методом. Для определения оптимальных параметров фракционирования требуется разработка соответствующего программного решения, упрощающего алгоритм расчета.

Для прогнозирования биологического ответа на облучение как опухоли, так и нормальных тканей ионизирующим излучением используют радиобиологические модели [3]. Они применяются для расчета разовой дозы, числа фракций и общей дозы. Существует множество радиобиологических моделей. Однако на сегодняшний день широко используемой моделью не только в теории, но и в медико-биологической практике, является линейно-квадратичная модель и ее модификации [1].

Разработана база данных, включающая информацию о видах опухолей, их локализации и нормальных тканях, которые могут пострадать в данной области.

Также для каждой опухоли и нормальных тканей содержится информация о коэффициентах чувствительности, которые необходимы для расчета биологически-эффективной дозы и конвертации режимов фракционирования в эквивалентный режим. Вся информация размещена в таблицах. Для работы с ними созданы следующие разделы: калькулятор, запись пациента и основной раздел, включающий расчет показателей для конкретного пациента.

Работа выполнена в рамках гранта «Умник-19 (z)» по теме «Разработка программного обеспечения для планирования фракционированной лучевой терапии онкологических заболеваний».

1. Джойнер М.С. Основы клинической радиобиологии. М. : БИНОМ (2021).
2. Слобина Е.Л. Онкологический журнал, 2 (6) 173-186 (2008).
3. Столбовой А.В., Залялов. И.Ф. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена, 5(6), 88-96 (2016).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГРАФЕНОВЫХ НАНОЧАСТИЦ С ТОПОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ХИРАЛЬНЫХ МЕМБРАН НА ПРИМЕРЕ МОЛЕКУЛ ТЕТРАЦИКЛИНА

Шабиева А.В.¹, Шабиев Ф.К.², Сафаргалиев Р.Ф.²

¹) Тюменский Государственный Медицинский Университет, Тюмень, Россия

²) Тюменский Индустриальный Университет, Тюмень, Россия

E-mail: anysha85@mail.ru

MODELING THE STRUCTURE OF GRAPHENE NANOPARTICLES WITH TOPOLOGICAL DEFECTS TO MAKE CHIRAL MEMBRANES ON THE EXAMPLE OF TETRACYCLINE MOLECULES

Shabieva A.V.¹, Shabiev F.K.², Safargaliev R.F.²

¹) Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

²) Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

This paper presents the results of modeling the structure of graphene nanoparticles containing chiral symmetry topological defects of Stone-Wales type. MD simulations showed the possibility of separating right- and left-twisted tetracycline molecules using nanoparticles with helical chirality.

Хиральность, одно из фундаментальных свойств природы. Особый интерес к исследованию хиральности молекул возник после случившейся в 60х годах XX века трагедии, связанной с применением лекарственного препарата талидомид [1]. С этого момента интерес к исследованиям, связанным с хиральностью, стал быстро расти, среди которых разработка хиральных лекарств и хиральных пестицидов [2, 3].

Одним из первых и действенных способов разделения хиральных молекул – использование хиральных мембран [4]. Благодаря высокой энергией Ван-дер-Ваальсового взаимодействия графеноподобные наноструктуры (однослойный, многослойный, оксид графена, восстановленный оксид графена и т.д.) являются перспективными материалами для разработки разделительных материалов [5]. Проблемой хиральных мембран является компромисс между проницаемостью и селективностью. На сегодняшний день данную проблему надеяться решить с помощью графена и его производных [5].

В данной работе предлагается с помощью метода *ab initio* с использованием базиса одноэлектронных волновых функций STO6-31G и полуэмпирическим методом молекулярной динамики PM7, смоделировать графеновых наноллисты с топологическими дефектами, максимально взаимодействующих с хиральными молекулами, на примере молекул антибиотика тетрациклина.

По результатам моделирования предложены возможные структуры наноллистов графена с топологическими дефектами типа 5-7. Установлено взаимное расположение топологических дефектов 5 относительно 7, создающих спиральную

хиральность, максимально взаимодействующих с молекулами тетрациклинов с левой и правой спиральностью

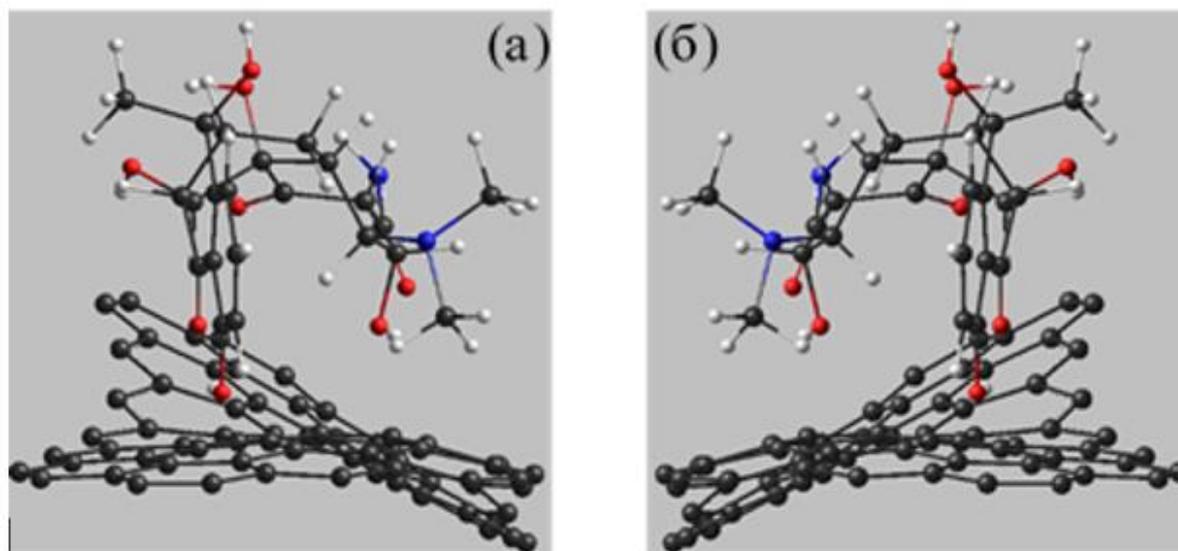


Рис. 1. Взаимное расположение молекулы тетрациклина и графенового листа с топологическими дефектами типа 5_7_7_5 а) правая хиральность б) левая хиральность

1. T. Eriksson, S. Björkman, P. Höglund, *Eur. J. Clin. Pharmacol.* 57, 365 (2001).
2. A. Calcaterra, I. D'Acquarica, *J. Pharm. Biomed. Anal.* 147, 323 (2018).
3. H. Leek, S. Andersson, *Molecules* 22, 158 (2017).
4. R. Xie, L. Chu, J. Deng, *Chem. Soc. Rev.* 37, 1243 (2008).
5. B. Zhao, S. Yang, J. Deng, K. Pan *Adv. Sci.* 8(7), 2003681 (2021).

ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ DAPHNE MEZEREUM L

Шлыков И.В.¹, Абизов Е.А.¹, Назаренко А.К.¹

¹) Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Москва, Россия
E-mail: ilyashlykov@muctr.ru

A STUDY OF THE TOXIC SUBSTANCES COMPRISING DAPHNE MEZEREUM L

Shlykov I.V.¹, Abizov E.A.¹, Nazarenko A.K.¹

¹) D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

The abstracts present the results of a study of the natural pharmacologically active substances of the *Daphne mezereum* L. (*daphne mezereum* plant). It was found that the composition of *Daphne* contains esters, acids, saponins, oxycoumarin – daphnetin and phytosterols.

В коре ветвей растения присутствует несколько оксикумаринов, среди которых главным компонентом является дафнин $C_{15}H_{16}O_9$ (7- β -гликозид 7,8-диоксикумарина). В результате исследований последних лет в коре ветвей волчегодника доказано наличие следов бимолекулярного кумаринпроизводного дафноретина $C_{19}H_{12}O_7$ (6-метокси-7-окси-3,7'-дикумариновый эфир). Помимо кумаринов в растении содержится желто-бурая смола острожгучего вкуса, известная под названием «мезереин». Большинство исследователей считает, что сильно раздражающие свойства растения обусловлены ее присутствием. Многочисленные попытки выделить «острое начало» в чистом виде не дали результатов. В растении были обнаружены также воск, камедь, сахар, белковые и красящие вещества, минеральные соли, яблочная кислота, находящаяся как в свободном состоянии, так и в виде кальциевых, калиевых, магниевых солей. Общая зола колеблется от 3 до 4% [1].

При изучении химического состава плодов было установлено присутствие малоизученного соединения $C_{10}H_{22}O_4$, названного кокогнином; оксикумаринов дафноретина и дафнорина (7- β -гликозид дафноретина) состава $C_{25}H_{22}O_{12} \cdot H_2O$. Кроме того, в плодах были найдены жирное масло (~ 31%), следы эфирного масла, смола, воск, камедь, слизь, яблочная кислота. Общая зола составляла 5,46%.

В качестве сырья для углубленного изучения были использованы листья, незрелые плоды волчегодника обыкновенного, заготовленные в Московской области Наро-Фоминского района в мае 2002 года и листья, заготовленные в Московской области Волоколамского района в мае 2021 года.

Для изъятия веществ из частей растения воспользовались методом однократной экстракции.

В качестве растворителя были использованы:

1) для листьев и незрелых плодов, собранных в 2002 году, использовался этиловый спирт;

2) для листьев, собранных в 2021 году, использовался метиловый спирт.

Химический состав *Daphne mezereum* L. содержит большинство слаболетучих молекул, анализ которых в нативной форме для ГХ-МС не представляется возможным. Для решения данной проблемы в практике газовой хроматографии принято дериватизировать слаболетучие молекулы по строго определённым функциональным группам и тем самым изменять их физические свойства через получение производных.

По проведенному анализу ГХ-МС установлено, что в состав этанольных и метанольного экстрактов входят различные эфиры, жирные кислоты, спирты и сапонины, но лишь в метанольном экстракте свежих листьев (май 2021 г.) был зарегистрирован один оксикумарин-токсин – дафнетин. Других главных оксикумаринов-токсинов, входящих в состав растения, не отмечено, причиной отсутствия которой являются значительное мало количество в данной вегетационный период.

Приведена статистика сезонных колебаний оксикумаринов в отдельных органах *Daphne mezereum* L. Отмечено, что максимальное содержание оксикумаринов и флавоноида во всех органах растения имеет место в период интенсивного роста листьев и после созревания плодов в конце вегетации.

1. Sulma T., Wiezzchowska K. Acta Polon. / T. Sulma, K. Wiezzchowska // Pharm 20. – 1963. – № 1. – Vol. 77.

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОПОМЕТРИЯ БИОКИНЕТИКИ РФП(РН) ЧЕЛОВЕКА

Сидоров А.Н.¹

¹) ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина",
Екатеринбург, Россия
E-mail: sid.artem2000@yandex.ru

RADIOMETRIC TOPOMETRY OF RADIOPHARMACEUTICAL BIOKINETICS IN HUMANS

Sidorov A.N.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

Nowadays, an oncologist visually assesses the diseases of a cancer patient: where more radiopharmaceuticals have accumulated, they need to be treated. The aim of the work was to obtain formalized parameters of the biokinetics of radiopharmaceuticals for the assessment of oncological diseases.

В клинической практике все большее значение приобретают малотравматичные способы диагностики заболеваний внутренних органов, среди которых явно выделяется радионуклидная диагностика. Это один из видов лучевой диагностики, предназначенный для распознавания патологических состояний отдельных органов и систем с помощью радионуклидов и меченых соединений [1]. В наше время во время диагностики врач онколог не учитывает обменные процессы РФП в организме больного, он визуально оценивает локализацию заболевания: где накопилось больше РФП, там и нужно лечить. В следствии этого, была поставлена цель работы по получению формализованных параметров биокинетики радиофармпрепаратов для оценки онкозаболеваний.

В получении этих параметров был проведен анализ литературы: 128-ая публикация МКРЗ и стандартизованные методики радиоизотопной диагностики НИИ медицинской радиологии АМН СССР 1987 года. В этих источниках дана информация о биокинетики разных РФП(РН), на основе которой можно построить экспоненциальные кривые накопления и выведения РФП(РН) и вывести формализованные параметры, необходимые для оценки различных заболеваний.

Таким образом, перспектива данной работы заключается, в создании нового качественного метода диагностики, основанного на биокинетики РФП(РН), который будет дополнять существующий на данный момент.

1. Качур С.Л., Алесина Г.А., Тихомирова Т.Ф. Основы радионуклидной диагностики : учебно-методическое пособие / С. Л. Качур [и др.]. – Минск : БГМУ, 2019. – 39 с.

ПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦЕРИЯ В МАЛЬТОДЕКСТРИНОВОЙ ОБОЛОЧКЕ

Лапина П.К.¹, Смольникова Е.Н.¹, Бажукова И.Н.¹, Мышкина А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: ekaterinasmolnikovan@yandex.ru

PEROXIDASE ACTIVITY OF CERIUM OXIDE NANOPARTICLES IN THE MALTODEXTRIN SHELL

Lapina P.K.¹, Smolnikova E.N.¹, Bazhukova I.N.¹, Myshkina A.V.¹

¹) Ural Federal University named after the first president of Russia B.N. Eltsin, Yekaterinburg, Russia

The enzymatic activity of cerium oxide nanoparticles depending on pH was studied. These nanoparticles have broad application in medicine and bioengineering, because of their unique physical and chemical properties.

В лабораторных условиях наночастицы проявляют антиоксидантные и противоопухолевые свойства, что подтверждает актуальность исследования их ферментативной активности в качестве дополнительного источника антиоксидантов в условиях окислительного стресса, различных хронических, острых заболеваний. Антиоксидантная активность наночастиц оксида церия в исследованиях *in vitro* и *in vivo* объяснима особенностями их строения: наличием дефектов в структуре кристаллической решетки, двух основных степеней окисления (Ce^{3+} и Ce^{4+}) [1]. Однако недостатком технологии является сложности равномерного распределения внутри клетки, наведения на определенную область и неоднозначность реакции организма на введение частиц размера порядка нанометров. Кроме того, при изучении кинетики ферментативных реакций с использованием наночастиц оксида церия необходимо учитывать параметры среды, в которых представитель данного класса ферментов будет наиболее эффективен. Поэтому важной проблемой становится оценка сродства фермента к субстрату в средах различной кислотности. Целью работы стало исследование ферментативной активности наночастиц оксида церия в нейтральной и кислой средах. Исследование золь проводилось методом оптической спектроскопии.

Результаты исследования показали, что в процессе реакции, катализируемой пероксидазой, в нейтральной среде происходит окисление хромогенного субстрата тетраметилбензидина. Форма экспериментально полученных спектров свидетельствует о “разгоне” реакции на начальном этапе, после чего следует участок насыщения [2], при этом ферментативная активность наночастиц определяется их собственной концентрацией. При добавлении объема золи наночастиц порядка десяти микролитров пероксидазная активность растет, однако при

увеличении этого объема до 80 микролитров и выше наблюдается относительно более низкое поглощение, что указывает на концентрацию CeO_2 , препятствующую пероксидазной активности наночастиц. Они начинают выступать в роли ингибитора реакции, т. е. тормозят процесс окисления субстрата ТМБ.

В отличие от нейтральной среды, ферментативная активность наночастиц оксида церия в ацетатной буферном растворе была выявлена в отсутствие перекиси водорода. В данной случае ключевую роль играют окислительно-восстановительные свойства церия, позволяющие ему в одном цикле реакций инактивировать АФК. В условиях кислой среды наночастицы проявляют оксидазную активность [3]. При добавлении в раствор перекиси водорода кинетические кривые окисленного продукта реакции уходят в сторону больших концентраций, что свидетельствует о протекании конкурирующей реакции с участием наночастиц в качестве пероксидазы. Регулировка общей концентрации H_2O_2 в растворе посредством добавления разного количества субстрата позволяет судить об инактивирующем действии перекиси водорода на оксидазную реакцию.

1. Н.В. Ходыкина, Л.П. Точилкина, О.Н. Новикова. Токсикологический вестник 3(156), 56 - 62 (2019).
2. С.А. Маслова, И.Н. Бажукова, А.В. Мышкина. Физика твердого тела 63(12), 2025 - 2026 (2021).
3. В.К. Иванов, А.Б. Щербаков, Н.М. Жолобак, О.С. Иванова. Природа 3(1147), 47-57 (2011).

THE RESEARCH OF POSSIBILITY OF THE EVALUATING LASER EXPOSURE BY METHODS OF OPTICAL SPECTROSCOPY DURING MINIMALLY INVASIVE ENDOSCOPIC OPERATIONS

Tereshenkova O.A.^{1,2}, Kim A.A.^{1,2}

¹) Laser Systems JSC, Saint Petersburg, Russia

²) Baltic State Technical University «VOENMEH»
named after D.F. Ustinov, Russia

E-mail: tereshenkova_oa@mail.ru

The scientific paper is concerned with the research of the possibility of the application of optical spectroscopy methods for real-time dynamic estimations of the level of the laser radiation exposure on the surface of a biological object in the conduct of minimally invasive endoscopic operations.

From the 1990s has been started the development of minimally invasive operations, which allowed to minimize the area of intervention in the body and level of tissue injury. The impact on biological tissues becomes more targeted by using endoscopy methods in the field of minimally invasive operations. Commonly radiofrequency or laser radiations are used for exposure. Nowadays the number of medical fields which are using such methods of operational interventions is increasing. For example, this type of operation is used in cardiology, oncology, and phlebology [1-3]. Despite this, methods of estimating the impact results in real-time remain very deficient. This study provides a dynamic method for estimating the laser impact on the biological tissue. The method is based on the dynamic estimation of changes in tissue's spectral characteristics. The proposing method permits controlling the level of ablation's impact on the tissues in real-time and can improve the efficacy and safety of the operation. The realization of the proposed method is based on continuous registration of broadband back-reflected radiation from the field of impact by the spectrometer. The broadband radiation is delivered to the field of impact by the same optical fiber as laser radiation. An optical system of the spectral division was developed for the effective work of the method. Additionally, there is developed a program for spectrometer, which permits to visualization and record spectral characteristics during a required time interval, allowing to reproduce of the recorded data and visualize the spectral characteristics in form of three-dimensional function. During this research were made several experiments. The results of the experiments have confirmed the potential of using the method for continuous control of laser impact to biological tissues and also they showed significant changes in the spectral characteristics of laser exposed biological tissues.

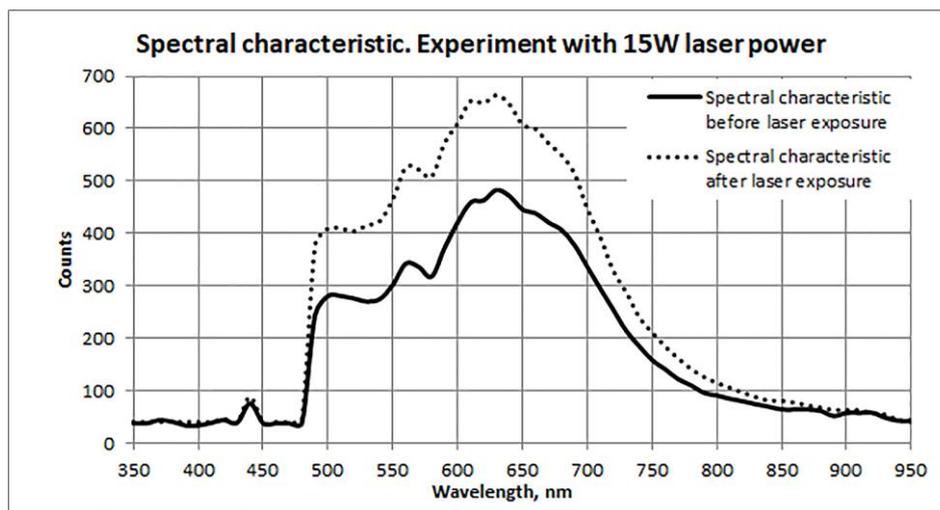


Рис. 1. Spectral characteristic from one of experiments

All achieved results reveal that the proposed method has sufficient sensibility and operating speed. At present we are working on new experiments of determination laser power which is needed for necessary impact.

The results of this study were financed by Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (FASIE) within the program "UMNIK".

1. Н. Weber, L. Schmitz, A. Heinze, L. Ruprecht, M. Sagerer-Gerhardt The Development of a laser catheter with improved monitoring of lesion formation during arrhythmia ablation // Nova Science Publishers, Inc. 2017, P. 4-49.
2. Москвичева, Л.И. Возможности современных методов абляции при нерезектабельном местно-распространенном раке поджелудочной железы [Текст] / Л.И. Москвичева, Л.О. Петров, Д.В. Сидоров // Исследования и практика в медицине. – 2018. - №2. – с.86-99.
3. Катанов, Е.С. Эндovasкулярная лазерная коагуляция и физиотерапия при лечении варикозной болезни вен нижних конечностей [Текст] / Е.С. Катанов, Т.Н. Ерёмина, А.В. Семёнов // Вестник Чувашского университета. – 2014. - №2. – с.251-256.

РАСПОЗНАВАНИЕ НАРУШЕНИЙ ГОЛОСА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Целищева А.В.¹, Смирнов А.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: a.celishevan14@gmail.com

VOICE DISORDER IDENTIFICATION USING RECURRENT NEURAL NETWORKS

Tselishcheva A.V.¹, Smirnov A.A.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Institute of Physics and Technology, Yekaterinburg, Russia

In this report, a recurrent neural network was created that allows to determine whether there is voice disorder in the patient.

В настоящее время методы оптимизации и автоматизации труда закреплены во многих сферах жизнедеятельности человека, и применение этих методов в медицине не является исключением.

В частности, методы анализа данных с использованием искусственных нейронных сетей уже не являются чем-то новым и достаточно часто используются для помощи в принятии решения, например, в качестве подкрепления при постановке диагноза.

Целью работы является создание рекуррентной нейронной сети, способной распознавать наличие нарушений голоса.

Ввиду того, что нарушения голоса могут иметь разную природу, в настоящей работе будут рассматриваться только нарушения, которые проявляются в изменении отдельных свойств голоса. Например, нарушение громкости, высоты тона или тембра голоса при сохранности его как такового. Такие нарушения, в соответствии с клинико-педагогической классификацией речевых нарушений, принято называть нарушениями в оформлении внешнего высказывания.

Они могут быть вызваны острыми респираторными заболеваниями, а также отклонениями в работе некоторых отделов мозга. К таким нарушениям относят некоторые виды дисфонии, афонию, ларингит, нарушения, связанные с повреждениями или опухолью гортани, а также сопутствующие симптомы при болезни Паркинсона или отклонениях в работе сердца.

Качественный процесс диагностики пациентов с нарушениями голоса занимает значительное количество времени, потому задача быстро и без вмешательства специалиста определять, действительно ли в голосе диагностируемого пациента наблюдаются нарушения, является перспективной для рассмотрения и

может создать некоторый технологический базис для дальнейшего усовершенствования процесса диагностики.

1. X. Zhang, L. Zhang, Z. Tao, H. Zhao, Acoustic Characteristics of Normal and Pathological Voices Analysis and Recognition. ICSAE 2019.

ОБРАБОТКА СИГНАЛА ТРАНСМЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ушенин К.С.², Марков Н.С.¹, Демичева Е.¹, Дордюк В.¹

¹) Институт Иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²) Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: konstantin.ushenin@urfu.ru

OPPORTUNITIES IN PROCESSING OF TRANSMEMBRANE POTENTIAL DATA WITH CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Ushenin K.S.², Markov N.S.¹, Demicheva E.¹, Dorduk V.¹

¹) Institute of Immunology and Physiology UrB RAS, Yekaterinburg, Russia

²) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this paper, we test convolutional neural networks for problems of noise reduction, super-resolution, and compressed sensing on data of the transmembrane potential.

Миокард - это мышечная ткань сердца. Она состоит из кардиомиоцитов. Согласованное изменения трансмембранного потенциала кардиомиоцитов вызывает волну электрофизиологического возбуждения в миокарде. Эта активность может быть зарегистрирована непосредственно с поверхности миокарда с помощью оптического картирования, массива микроэлектродов или других методов. Любой из методов регистрации предоставляет для последующей обработки видео или серию изображений. Существует несколько специализированных методов обработки такого типа данных, но также могут подойти и методы восстановления изображения и шумоподавления предназначенные для данных общего вида [1, 2]. В этой статье мы тестируем сверточные нейронные сети для задач шумоподавления, сверхразрешения и ограниченной регистрации на данных трансмембранного потенциала. Данные для анализа были получены с помощью физически точного моделирования методом конечных элементов. Согласно полученным результатам, сверточная нейронная сеть позволяет снизить высокий уровень шума, повысить пространственное разрешение данных и точно восстановить положение фронта возбуждения. Несколько последовательно соединенных сверточных автокодировщиков являются достаточной архитектурой нейронной сети для работы с данными трансмембранного потенциала.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 22-21-00930.

1. M. T. McCann, K. H. Jin, and M. Unser. IEEE Signal Processing Magazine 34(6), 85–95 (2017).
2. W. Shi, F. Jiang, S. Liu, and D. Zhao. IEEE Transactions on Image Processing 29, 375–388 (2019).

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМЕТОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ СКРАБОВ

Ужнева В.А.¹, Баранова А.А.¹, Селезнева И.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: uzh.va@yandex.ru

THE POSSIBILITY OF USING IONIZING RADIATION IN COSMETOLOGY ON THE EXAMPLE OF SCRUBS

Uzhneva V.A.¹, Baranova A.A.¹, Selezneva I.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work we study the effect of processing abrasive particles of scrub and containers for its packaging with beta radiation in the range of 0.5-15 kGy. We analyze the overall effectiveness of this treatment and select a dose that gives better results to prevent premature spoilage of the product.

Косметика является одним из наиболее важных потребительских товаров, популярность данной продукции подтверждается её многомиллионными оборотами на мировом рынке. Производители косметики в условиях острой конкуренции вынуждены постоянно внедрять новые товары с целью расширения ассортимента и увеличения продаж. Скраб – это уходовый продукт, который отшелушивает мертвые частички эпидермиса, абразивами являются дробленая скорлупа яиц и орехов, фруктовые косточки, молотый кофе или синтетические гранулы. Основа может быть масляно-жировой, медовой или водной [1].

Нормативные базы «О безопасности косметической продукции» учитывают факторы риска, связанные как с наличием токсических ингредиентов, так и с губительным влиянием микроорганизмов на здоровье. Следовательно, производители должны гарантировать то, что в продажу поступает только безвредная в микробиологическом плане косметика. Кроме того, высокая степень микробиологической чистоты продукции экономически выгодна- загрязнение продукта микробами приводит к денежным потерям: из-за порчи продукта и из-за дополнительных расходов, возникающих даже в том случае, если продукт так и не дойдёт до потребителей.

На сегодняшний день практически вся косметическая продукция проходит термическую, химическую обработку или стерилизацию ИК-излучением. Однако, в связи с развитием отрасли радиационных технологий, такая продукция может быть обработана и ионизирующим излучением.

В данной работе рассматривается влияние бета излучения линейкой доз 0,5 – 15 кГр на стабильность основы косметического средства, «чистоту» как используемого сырья, так и конечного продукта, и продления его срока годности.

Анализируется качество радиационной обработки скрабов при облучении абразивных частиц и посуды на этапе производства (для предотвращения преждевременной порчи продукта) и для сохранения уже утраченной продукции (для экономии средств предприятий путем стерилизации испорченного товара, например, при неправильном хранении). Оценка полученных результатов происходит по двум критериям: внешний вид (включая сохранение органолептических свойств) и микробный состав. Отмечается сокращение числа микроорганизмов в скрабе в обоих случаях, а также отсутствие серьезных изменений в его составе.

1. Восканян О.С., Алэновна А.А.А. Преимущества и недостатки использования различных косметических средств для пилинга лица. Научные исследования молодых учёных: сборник статей: 24-26 (2020).

ИЗУЧЕНИЕ КРАЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЭТИЛЕНТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА (ЕТФЕ)

Вазирова Е.Н.¹, Абашев Р.М.¹, Сюрдо А.И.¹, Мильман И.И.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: e.n.vazirova@gmail.com

STUDYING THE OPTICAL ABSORPTION EDGE OF ETHYLENE- TETRAFLUOROETHYLENE (ETFE)

Vazirova E.N.¹, Abashev R.M.¹, Surdo A.I.¹, Milman I.I.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation

²) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences

In this work, the optical absorption spectra of Ethylenetetrafluoroethylene (Teflon-40), radiation were measured at an electron accelerator with doses of 20-50 kGy. Based on the Tauc structure, the band gap was determined for the extensive optical coverage of the native edge region.

Защита человека от высокого уровня радиации является одним из актуальных вопросов. Человек сталкивается с ионизирующим излучением в различных отраслях, таких как медицина, наука, хозяйство, техника и т. п. Поэтому поиск новых материалов, устойчивого к ионизирующему излучению, происходит постоянно. Одним из перспективными материалами являются полимеры, которые под воздействием ионизирующих излучений проявляют высокую радиационную стойкость.

Облучение полимеров ионизирующим излучением было предметом различных исследования в течение многих лет. Однако до настоящего времени влияние, ионизирующего излучение на оптические свойства полимеров практически не исследованы.

Спектрометрия поглощения УФ-видимой области используется для анализа интенсивности электромагнитного излучения в ультрафиолетовом диапазоне (длина волны от 200 до 400 нм) и видимом диапазоне (длина волны от 400 до 800 нм), которое поглощается при прохождении УФ-видимого излучения через материал. Метод оптического поглощения позволяет конкретизировать или изучить свойства [1].

В данной работе представлены результаты экспериментальных измерений края оптического поглощения Этилентетрафторэтилена (ЕТФЕ) в области ультрафиолета и видимом диапазоне. Для обработки спектральных зависимостей коэффициента поглощения использовался метода Тауца[2], который показал себя применимым к полимерным системам. Анализ спектральных зависимостей

коэффициента поглощения образцов ЕТFЕ показал, что оптическая ширина запрещенной зоны облученных образцов больше, чем оптическая ширина запрещенной зоны не облученного образца.

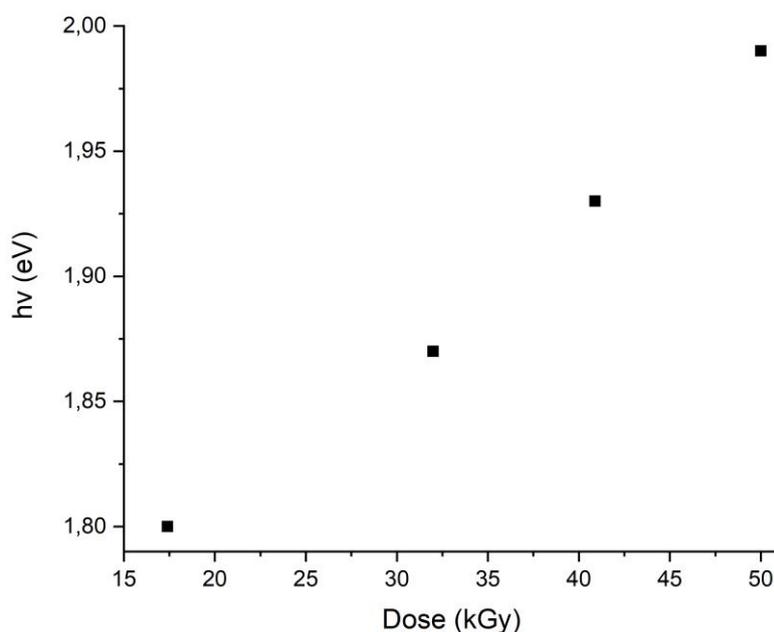


Рис. 1. Линейная зависимость ширины запрещенной зоны от дозы облучения

На рисунке 1 показана линейная зависимость ширины запрещенной зоны от дозы облучения. Это показывает, ионизирующее излучение может вызывать значительные изменения в сдвиге запрещенной зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИИ в рамках научного проекта № 20-38-90239.

1. Hossain U. H., Ensinger W. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 365, 230-234 (2015).
2. Tauc J.. Phys. Stat. Sol. 15, 627-637 (1966).

МЕДИЦИНСКИЙ УЛЬТРАЗВУК КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАГНИТО-ДЕФОРМАЦИОННОГО ЭФФЕКТА В ФЕРРОГЕЛЯХ

Ярышев И.О.¹, Динисламова О.А.², Бугаёва А.В.^{1,2}, Кузнецова Д.В.¹,
Шкляр Т.Ф.^{1,2}, Сафронов А.П.¹, Бляхман Ф.А.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ilia121608@gmail.com

MEDICAL ULTRASOUND AS A TOOL FOR THE EVALUATION OF MAGNETO-DEFORMATION EFFECT IN FERROGELS

Yaryshev I.O.¹, Dinislamova O.A.², Bugayova A.V.^{1,2}, Kuznetsova D.V.¹,
Shklyar T.F.^{1,2}, Safronov A.P.¹, Blyakhman F.A.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

This study was aimed to demonstrate the advantages of medical ultrasound for assessing the magneto-deformation effect in gel-based magnetoactive microsystems for the needs of targeted drug delivery, tissue engineering or regenerative medicine.

Феррогели (ФГ) представляют собой полимерную сетку, набухшую в растворителе, в структуру которой включены магнитные частицы [1]. В магнитном поле ФГ демонстрируют магнито-деформационный эффект (МДЭ), проявляющийся изменением геометрии, объема и упругих свойств композитов [2]. Данный феномен открывает перспективы использования биосовместимых ФГ для биомедицинских аппликаций, например, для адресной доставки лекарств, инженерии тканей и регенеративной медицины [2].

Медицинский ультразвук является доступным, безопасным и информативным методом диагностики, и может быть с успехом использован для визуализации магнитоактивных композитов [3, 4]. Настоящая работа предпринята с целью продемонстрировать возможности эхолокации ФГ для оценки МДЭ в них. В исследовании использовались биоинженерные конструкции на основе полиакриламида (ПААм), в полимерную сеть которого при синтезе были добавлены природные полисахариды (гуар или ксантан) и магнитные микрочастицы (ММЧ) магнетита (Fe_3O_4) или гексаферрита стронция ($SrFe_{12}O_{19}$) с характерным размером 200-300 нм. Весовая доля ММЧ во всех ФГ была примерно одинаковой (12 %). Все образцы имели цилиндрическую форму (диаметр ~15 мм, высота 6-8 мм).

Феррогели помещались на дно кюветы с дистиллированной водой. Сверху над образцами в воде располагался линейный ультразвуковой датчик 7.5L45s Prima/Adara аппарата медицинского назначения SonolineAdara («Siemens», Нидерланды). Параметры визуализации: динамический диапазон 66 дБ, рабочая частота 8.5 МГц, усиление 20 дБ, мощность 1.6 %. Снизу образцов был расположен

источник постоянного градиентного магнитного поля, коммерческий электромагнит (ЭМ) CL-34/18 («Cinlin», Китай). Образцы ФГ в кювете фиксировались таким образом, чтобы центры сердечника ЭМ (диаметр 18 мм) и образца находились соосно. Расстояние от поверхности сердечника ЭМ до нижней границы ФГ равнялось 500 мкм, напряженность магнитного поля на этом расстоянии составляла 500 Э.

Перед тестированием МДЭ в ФГ для всех образцов был определен модуль накопления (G'), характеризующий упругие свойства материала. Для этого образцам задавались синусоидальные деформации одноосного сжатия с амплитудой 4-6 % от начальной высоты образца и частотой 0.05 Гц.

Двумерные изображения ФГ в динамическом режиме были оцифрованы. Оценивалось относительное сжатие ФГ ($\Delta L/L$, %) при воздействии полем, а также определялась максимальная интенсивность (яркость - I) отраженного эхосигнала на верхней границе ФГ/вода и внутри образца на глубине 0.8 мм от верхней границы. Результаты всех измерений представлены на Рис. 1.

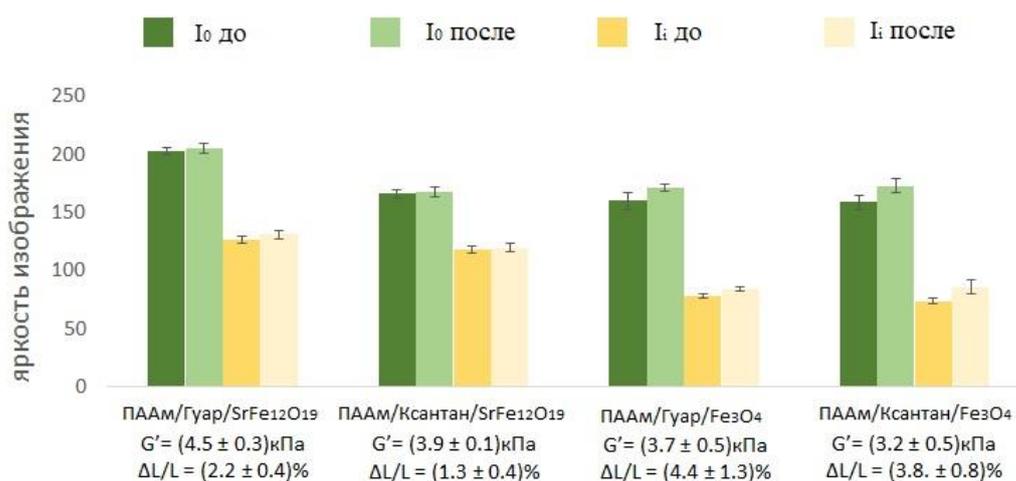


Рис. 1. Влияние магнитного поля на деформацию и эхогенность ФГ. Представлены значения яркости на границе (I_o) и внутри (I_i) образцов до- и после аппликации постоянным магнитным полем 500 Э. Границы доверительного интервала при $p = 0.05$ ($n = 20$). G' - модуль упругости ФГ, $\Delta L/L$ - деформация ФГ в поле.

Полученные результаты свидетельствуют, что медицинский ультразвук позволяет оценить МДЭ в ФГ вне зависимости от типа наполнителя и природы частиц. Значения $\Delta L/L$ в композитах оказались близки к установленным ранее оптическим методом [5]. Кроме того, при $\Delta L/L \sim 4$ % параметры эхогенности ФГ позволили получить дополнительные сведения, отражающие изменение упругости и структуры ФГ при МДЭ [3, 4].

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Минздрава РФ №121032300335-1.

1. G. Filipcsei, I. Csetneki, A. Szilágyi, M. Zrínyi, Springer, 137–189 (2007).
2. R. Weeber, P. Kreissl, C. Holm, Arch. Appl. Mech., 89, 3–16 (2019).
3. O.A. Dinislamova, A.V. Bugayova, T.F. Shklyar, A.P. Safronov, F.A. Blyakhman, Bi-oengineering, 8, 140 (2021).
4. F.A. Blyakhman, S.Y. Sokolov, A.P. Safronov, O.A. Dinislamova, T.F. Shklyar, A.Y. Zubarev, G.V. Kurlyandskaya, Sensors, 19, 3959 (2019).
5. A.P. Safronov, E.A. Mikhnevich, Z. Lotfollahi, F.A. Blyakhman, T.F. Sklyar, A.L. Varga, A.I. Medvedev, S.F. Armas, G.V. Kurlyandskaya, Sensors, 18, 257 (2018).

СЕКЦИЯ 8
ИННОВАЦИИ И СОЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Астахова Е.А.¹

¹) Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
E-mail: eaastakhova_2@edu.hse.ru

DEVELOPMENT OF THE INNOVATION MANAGEMENT SYSTEM AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Astakhova E.A.¹

¹) HSE University

Now the main task of management is to ensure the sustainable innovative development of the company. But introducing innovations, the company faces the need to change traditional business processes. The innovation management system can ensure the control of innovative changes.

В настоящее время основной задачей менеджмента является обеспечение устойчивого инновационного развития компании. Внедряя инновации, компания сталкивается с необходимостью изменения традиционных бизнес-процессов. Переход от стабильного состояния к новому, неизвестному будущему состоянию предполагает увеличение управленческого риска. Это может привести к потере контроля над инновационным процессом и компанией в целом. Соответственно, повышается актуальность контроля изменений. Основная задача менеджмента - сделать изменения управляемыми и контролируруемыми. Необходимо организовать систему внутреннего контроля, направленную на решение инновационных задач и развитие компании.

Цель данного исследования — это описание оптимального метода оценки и внедрения Системы инновационного менеджмента (СИМ). Создать рекомендации по преодолению барьеров и рисков, выявленных в ходе выработки стратегии к оценке СИМ.

Основные задачи исследования:

1. Определить место инновационных систем в системе операционного менеджмента предприятия.
2. Провести обзор системы инновационного менеджмента промышленного предприятия.
3. Сделать анализ подходов к оценке системы инновационного менеджмента.
4. Спроектировать оценку системы инновационного менеджмента на промышленном предприятии трубной отрасли.
5. Выбрать метод для оценки системы инновационного менеджмента.
6. Разработать дорожную карту по подготовке и оценке системы инновационного менеджмента.

7. Определить барьеры предполагаемого выбранного метода.

8. Сделать выводы согласно проведенному исследованию, разработать начальные рекомендации по преодолению барьеров и снижению рисков.

Ключевой объект исследования работы – система инновационного менеджмента промышленного предприятия трубной отрасли. Предмет исследования – подготовка и оценка системы инновационного менеджмента.

Для проведения исследования в качестве источников литературы использованы материалы, затрагивающие проблемные вопросы формирования инновационной среды современных российских и международных компаний [1],[2]; изучены материалы о требованиях к инновационной среде и внедрению системы инновационного менеджмента, реализация которых способствует инновационному развитию компании [3].

Источниками информации о существующей проблеме будут служить общие данные, полученные от непосредственных участников процесса: проектный офис промышленного предприятия, инновационный департамент. Информация о существующем опыте других компаний будет получена из открытых источников.

1. Горшкова Л.А., Поплавская В.А. Методика управления организационной культурой крупного промышленного предприятия // Экономический анализ: теория и практика. 2014 №20 С.45-51
2. Макаренченко М.А., Антонов А.А. Кадровый инновационный потенциал в структуре инновационного потенциала организации [Электронный ресурс] URL: <http://processe.open-mechanics.com/articles/995.pdf> (дата обращения: 27.03.2021г.)
3. Аверченков, В.И. Инновационный менеджмент: учеб.пособие/ В.И. Аверченков, Е.Е. Ваинмаер. -2-е изд. - М.: Флинта: МПСИ, 2008. - 280 с.

SOCIAL IMPACTS AND OPPORTUNITIES OF RELOCATING INDUSTRIAL AREAS OUTSIDE THE CITY

Bareicheva M.A.¹, Kubina E.A.¹, Sergeev E.A.¹, Daineko L.V.¹

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.,
Yekaterinburg, Russian Federation
E-mail: bareicheva.m@yandex.ru

The article presents the results of in-depth interviews with employees of enterprises relocated to other territories. The authors propose recommendations to reduce social tension among employees in connection with the relocation of industrial facilities outside the city limits.

Russia has a unique historical experience of rapid construction of large-scale industrial cities around the giant factories – social cities with all the necessary infrastructure, which replaced worker settlements [1-3].

Today, social cities are losing their original purpose, becoming depressed areas and in need of renovation to preserve their relevance and historical identity. Many urban areas with this status possess a unique historical heritage, which not so long ago was recognized by the world's communities. The Social City is a veritable open-air museum, which needs to be preserved and updated. The authors have already carried out a study on this subject, using the Uralmash social city district of Yekaterinburg as an example. The study proposed specific solutions to preserve the historical value of the area without losing relevance to the modern inhabitants of the metropolis in the process of renovation [4].

As of 2022, the industrial infrastructure is largely obsolete and no longer highly efficient, and the environmental pollution from industries has a negative impact not only on the local ecology and public health, but also on the general perception of the city. Therefore, many industries are gradually moving out of the city, provoking large-scale redevelopment projects [5]. Within the relevance of the theme of sustainable development, developers are focusing on the opportunities of outdated industrial areas. Separately, the issue of difficult logistics around industrial areas that have entered the city limits with the growth of cities is raised [5].

The main issue addressed in this article is the attitudes of industry workers towards the relocation of production facilities to remote areas. Another important issue is the renewal and replacement of production equipment at the relocated factories, leading to a reduction in staffing requirements.

As a research base, the authors conducted in-depth interviews with employees of industrial plants in the Sverdlovsk region (Russia). The result was a shared vision on the fears, preferences and attitudes towards the redevelopment of industrial areas.

Based on in-depth interviews and current trends in redevelopment of industrial areas, the authors proposed recommendations for relocating industrial areas outside the

city limits in terms of reducing workers' fears of the changes being made and creating comfortable living conditions.

1. Makarov E. M. UZTM (Ural Heavy Engineering Plant). // Sverdlovsk: Sverdlovsk Book Publishing House. – 1958. – Pp. 215-235;
2. Ivanova P. Diving into Uralmash's past: surprising facts from the district's history // Uralmash-Elmash RF electronic magazine - 2019. - URL: <http://mag.xn----7sbab6cccd3a3a4de3cm.xn--p1ai/historyraiona/10387665-pogruzhajemsya-v-proshloje-uralmasha-udivitelnyje-fakty-iz-istorii-rajona/> (date of reference: 21.12.2022);
3. Gelfond A. L. Stages of renovation of historical districts of Nizhny Novgorod // Bulletin of Volga Territorial Branch of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. – 2020. № 23 – Pp. 60-66;
4. Kubina E. A. Cities for pedestrians. Possibilities of concept development in Yekaterinburg through the prism of world experience / E.A. Kubina, M.A. Bareicheva // Russian regions in the focus of change : a collection of reports in two volumes (18-20 November 2021, Yekaterinburg). - Vol. 1. - Yekaterinburg : Ural Federal University, 2022. - Pp. 26-30;
5. Daineko, L., Karavaeva, N., & Yurasova, I. (2021, March). Redevelopment of Ex-industrial Areas in Yekaterinburg. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1079, No. 3, p. 032093). IOP Publishing.

DECISION MAKING TOOL TO DETERMINE IMPLEMENTATION INNOVATIONS IN THE TIMBER PROCESSING SECTOR OF RUSSIA

Bormotov A.S.¹, Smirnov V.V.¹

¹Ural Federal University named after the first president B.N. Yeltsin

E-mail: smirnov@citadel-esports.ru

The article analyzes the actual problems of innovation in the timber processing complex of Russia. A methodology for their application and implementation in this area has been developed.

Main results of work are the following:

An introduction to the problems of the timber industry and a description of the key points, according to the authors, influencing the development of the complex in Russia over the past thirty years.

Analysis of global export statistics and the level of development of institutional innovations in the FIC driver countries.

Identification of problems in the sphere of the timber processing complex in Russia in statistical data.

Analysis of the problems of innovation and their implementation. The experience of the leading countries in the development of R&D in the timber industry has been analyzed.

Determination of tools and methods for working with innovations in the timber industry in Russia.

Evaluation of the effectiveness of innovations and institutional reforms. Estimated description of the operation of the technique.

Development of entrepreneurship in the forestry sector based on institutional changes.

Development and description of our own methodology for introducing innovations in Russia in the timber industry. The author's methodology details the aspects of introducing innovations into the timber processing complex.

Conclusion characterizing the work done, the identified issues and tools for the implementation of research methods.

1. BERTIM, Building energy renovation through timber prefabricated modules, EU h2020 (2017/04/07)
2. Tihonravov, V.S., 2011 Resource-saving biotechnologies for production of alternative fuels in animal husbandry. (In Russian) ISBN 978-5-7367-0883-3
3. T.P. Bioenergy, 2019 Bioenergy in the Russian Federation. roadmap for 2019-2030. (In Russian).
4. Tren, D., Pfaffner, D., 2013 Financial support program of the Federal Ministry of ecology, nature protection and nuclear reactor safety of Germany. "Energy use of biomass".

КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Давыдов Ю.В.¹, Баранов А.Д.¹, Латыпов Р.Р.¹, Попов М.А.¹,
Мухаметзянов Ф.Ф.¹, Бабаев Р.Ф.¹

¹) Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
E-mail: davydovkfu@mail.ru

COMPLEX FOR REMOTE EXECUTION OF LABORATORY WORK ON RADIO ELECTRONICS

Davydov Y.V.¹, Baranov A.D.¹, Latypov R.R.¹, Popov M.A.¹,
Mukhametzyanov F.F.¹, Babaev R.F.¹

¹) Kazan Federal University, Kazan, Russia

This paper presents the complex we have created for remote laboratory work on radio electronics, describes its principle of operation and features. The result of our work is a full-fledged complex with a set of laboratory works on the course of the basics of radio electronics.

В современном мире происходит стремительный переход на дистанционное обучение в высших учебных заведениях. В случае с лекциями и семинарами решения уже есть, но организовать дистанционные лабораторные работы гораздо сложнее. В данной работе описан один из подходов к организации дистанционной лабораторной работы по основам радиоэлектроники. На данный момент существуют подходы с использованием виртуальных инструментов и компьютерного моделирования. Наиболее распространенным примером этого является использование виртуальных приборов на базе среды графической разработки LabVIEW [1]. Представленный метод, в отличие от аналогов, основан на использовании реальных электронных компонентов и оборудования и исключает использование виртуальных приборов и компьютерного моделирования, а простота его использования позволяет снизить время, затраченное на обучение работе связанное с переходом от различных симуляторов/эмуляторов к реальным измерительным инструментам.

Конечной целью является повышение качества знаний учащихся за счет обеспечения возможности непрерывного доступа и наглядности, т.е. использования реальных компонентов, присутствующих в схемах, и реального измерительного оборудования.

Показанный комплекс состоит из нескольких ключевых блоков: блок управления комплексом, лабораторный стенд, специальное приложение, камера, транслирующая изображение с лабораторного стенда и осциллографа, сервер.

Использование реальных компонентов подразумевает трансляцию изображения лабораторного стенда и измерений с осциллографа пользователю с помощью камеры с технологией Ethernet. Также технология Ethernet должна обеспечивать

возможность удаленного изменения параметров лабораторного стенда. Сервер необходим для организации подключения к сети Интернет и позволяет пользователю подключиться к комплексу из места, где есть доступ в Интернет. Архитектура комплекса представлена на изображении:

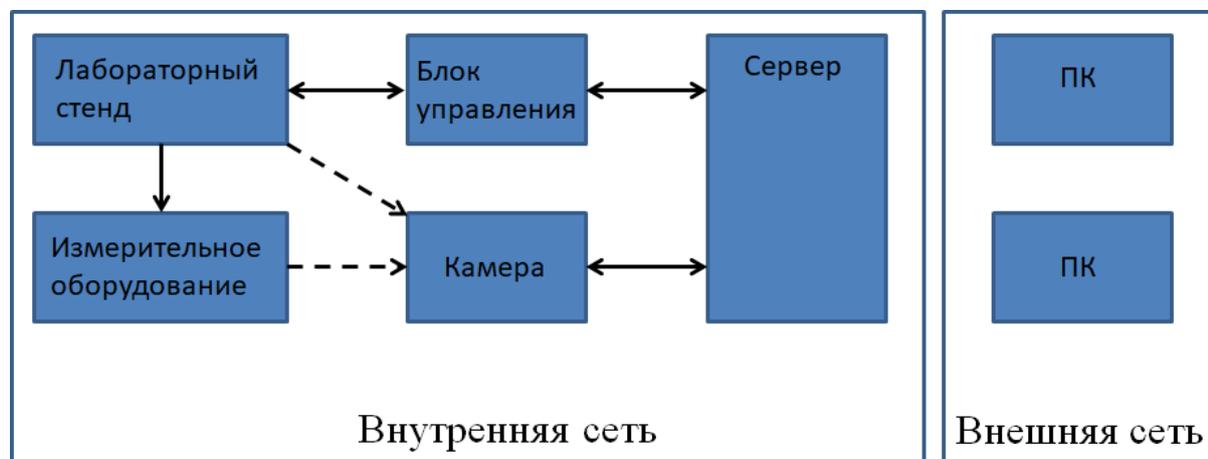


Рис. 1. Архитектура комплекса

Лабораторный комплекс включает в себя 7 стендов лабораторных работ по основам радиоэлектроники и позволяет выполнять задачи, описанные в методических пособиях лабораторных работ. При этом один блок управления поддерживает выполнение одной лабораторной работы, но идентичность конструкции и работы лабораторных стендов позволяет легко переключать выполняемые лабораторные работы простой заменой стенда на другой.

В общем виде весь комплекс будет представлять собой шкаф, в котором будет расположено 7 лабораторных стендов со своими блоками управления, камерами и осциллографами. Каждый из студентов может забронировать временной отрезок для выполнения лабораторной работы, что позволяет монополизировать доступ к лабораторной работе на забронированное время. Использование реального оборудования и электронных компонентов также позволяет легко организовать лабораторные установки на основе стендов для очного выполнения лабораторных работ.

1. Салахова А.Ш., Козлов В.А. Организация и методика проведения дистанционных лабораторных работ по общепрофессиональным техническим дисциплинам, Открытое образование, №5, С.74-80, (2014).

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗРЕЛОСТИ ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Хохлов Д.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: dmitriy.khokhlov98@gmail.com

A MODEL FOR ASSESSING THE MATURITY OF PROJECT ORGANIZATIONS IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGIES

Khokhlov D.S.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

The study examines the problems of organizations in the field of IT. The analysis of methods for assessing the maturity of companies is carried out. A model for assessing the maturity of organizations in the IT sphere is being developed, it will allow making appropriate management decisions.

Отрасль информационных технологий является одной из самых активно развивающихся и является стратегическим сегментом экономики России. В настоящее время темпы роста ИТ-отрасли превышают динамику ВВП, а экспорт Российских компьютерных услуг превышает импорт, начиная с 2017 года. Так, в 2019 году импорт составил 3,6 млрд. долларов, экспорт – 4,5 млрд. долларов [1].

Необходимо отметить, что уровень и темпы роста инновационной активности организаций в сфере информационных технологий в РФ существенно ниже компаний стран Западной Европы, несмотря на наблюдаемый всплеск в 2020 году (10,2%) [2].

Анализ специальной литературы и данных управленческого учета организаций в ИТ-сфере показал недостаточный уровень эффективности проектного управления, что прямым образом влияет на критерии успеха. Мировая статистика указывает, что 27% реализуемых проектов в сфере информационных технологий не достигают поставленных целей, в результате чего требуется корректировка параметров проекта. Каждый шестой был «черным лебедем» - имел перерасход средств в среднем на 200% и превышением сроков почти на 70% [3].

Достижение проектных целей зависит от множества факторов (системы управления организацией, классификации и мотивации сотрудников, уровень технологического развития организации), в том числе навыков soft skills: адаптивность, умение решать проблемы, эмоциональный интеллект и другие. В проектном менеджменте существует понятие «зрелость проектных организаций», которая прямым образом влияет на эффективность и качество реализации проектов.

Гипотеза исследования заключается в том, что компании в ИТ-сфере, уровень проектной зрелости которых находится на высоком уровне, реализуют более сложные проекты. В результате имеют высокий процент достижения целей проектов. Предлагается в модель оценки зрелости компании при характеристике трудовых ресурсов добавить навыки *soft skills*, определяемые экспертным путем.

В ходе работы все проекты в отрасли информационных технологий были разделены на 4 типа: разработка, внедрение, управление ИТ-инфраструктурой и ИТ-консалтинг. Для каждого типа проведена классификация проектов по уровню сложности. В ходе исследования учитывался инновационный потенциал организации, наличие программы инновационного развития, стратегические цели компании.

Применение кластерного анализа дало возможность выбрать модель для оценки зрелости проектной организации. Для использования данной модели в ИТ-сфере в нее, на основе экспертного подхода, были добавлены определенные параметры. При помощи данной модели были оценены организации и рассмотрена зависимость сложности проектов от уровня зрелости организаций.

Оценка зрелости проектной организации в сфере информационных технологий позволит создать систему управления организационными изменениями, в соответствии с которой компании могут переходить на следующий уровень проектной зрелости и реализовывать более сложные проекты, в том числе инновационные, а также повышать эффективность проектного управления.

1. Динамика и перспективы развития ИТ-отрасли – ресурс доступа: <https://is-sek.hse.ru/news/371816718.html>
2. Федеральная служба государственной статистики, раздел «Наука и инновации» - ресурс доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/14477>
3. Harvard Business Review, «Why Your IT Project May Be Riskier Than You Think» by Bent Flyvbjerg and Alexander Budzier – ресурс доступа: <https://hbr.org/2011/09/why-your-it-project-may-be-riskier-than-you-think>

КАЧЕСТВО ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ РОССИИ: АНАЛИЗ, ДИНАМИКА, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Корюкова Ю.Д.¹, Дайнеко Л.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина

E-mail: koryukova.julya510@yandex.ru

QUALITY OF URBAN ENVIRONMENT IN RUSSIAN CITIES: ANALYSIS, DYNAMICS, DEVELOPMENT TRENDS

Koryukova Y.D.¹, Daineko L.V.¹

¹) The Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

The article discusses the quality of the urban environment of Russian cities, provides an analysis and dynamics of the urban environment quality index, suggests further development directions for improving the quality of life of the population through the introduction of innovations and social tech.

Современные города, аккумулируя финансовые ресурсы и инновационные технологии, имея хорошую инвестиционную привлекательность, притягивая квалифицированные кадры и давая большое количество новых возможностей, являются самыми настоящими центрами притяжения. А для того, чтобы люди хотели приезжать в определенный город и оставались в нем жить, нужно поддерживать и улучшать в нем определенные условия, которые необходимы жителям.

В условиях повышенной урбанизации в городах возрастает потребность в организации комфортного отдыха и проведении досуга. Проблема улучшения качества жизни населения любой страны является важнейшей стратегической задачей развития общества на современном этапе.

Улучшение городской среды жизнедеятельности человека стало одним из первостепенных направлений стратегического развития для всех регионов Российской Федерации.

Индекс качества городской среды — это так называемый инструмент, который используется для оценки качества материальной городской среды, а также условий её формирования [1].

Также отдельно уделим внимание еще одному индексу - индексу качества жизни. Это информационно-аналитическая система России, основанная на лучших практиках, в том числе на индексе организаций экономического сотрудничества и развития [2]. Данный инструмент поможет изучить сильные и слабые стороны каждого города, сравнивать города по различным показателям, найти лидеров по отдельным направлениям и определить лучшие практики развития и повышения качества жизни россиян в городах.

Оценка уровня качества жизни складывается из исследований и анализа мнений граждан РФ касательно различных сторон и сфер их проживания в городах. Таким образом, можно выделить чего не хватает конкретным городам и также отметить дополнительные точки роста городской экономики.

В статье представлена динамика изменений средних значений Индекса качества городской среды, выделены города-лидеры с максимальным приростом значения Индекса. Отображены итоги исследования качества жизни в городах и представлены города с самым высоким качеством жизни.

Результаты статистических наблюдений и экспертных оценок позволяют представить проблемы городской среды, которые чаще всего встречаются в нашей стране и которые препятствуют дальнейшему развитию городской среды. Выделены пути повышения качества городской среды и качества жизни в городах.

Некоторые из выводов:

- максимальный темп прироста среднего значения Индекса имеют города с малой численностью населения;
- чем крупнее и масштабнее город, тем большее значение Индекса он имеет, однако исключением являются крупнейшие города;
- близость к городам с наиболее благоприятной городской средой способствует поддержке соответствия им близлежащих городов.

1. Индекс качества городской среды [Электронный ресурс] – URL: <https://индекс-городов.рф/#/> (Дата обращения: 20.01.2022).
2. Индекс качества жизни в городах России [Электронный ресурс] – URL: <https://citylifeindex.ru/> (Дата обращения: 20.02.2022).

INNOVATIVE APPROACH TO THE TEACHER-STUDENT COMMUNICATION PROCESS VIA SPECIALIZED TELEGRAM BOTS

Krochin A.L.¹, Krokhin L.A.¹, Spitsin S.E.¹

¹) Russian Federation
E-mail: alkrochin@yandex.ru

The distance education format has made many Challenges for University lecturers.

The authors propose the following means of improving the quality of the educational process by optimizing their interaction with students through a specialized telegram bot.

In these latter years all the countries have switched the educational process to distance technologies. The set of tools is quite limited (Teams, Zoom etc) and they are not originally specialized specifically for higher education. But the basis of the educational process is still the direct interaction between the teacher and his students. The modern messenger Telegram supports and provides complicated intercommunication and not so sensitive for programming skills of user as decades ago [1].

Currently, the teacher faces the following challenges:

1. A large number of remote classes combined with the increasing number of students in the group. The proportion of time for personal interacting with the teacher decreases. The usual approach may not give the desired result and significantly overload the teacher with a bureaucratic work. For example, the collection and verification of tests in the usual "passed -checked - received" format is complicated by many actions and time-consuming. It is difficult to check whether all the assignments were done on time. Simultaneous tests in different groups, complicated by low academic discipline leads to conflict situations. At the same time, the quality of the educational process is significantly reduced.

2. The variety of online services cannot fully solve user tasks, because it is either insufficiently adapted to their needs, or has a complicated user interface.

As a solution for structuring the interaction between the teacher and students, it is proposed to use a telegram bot [2] familiar for nowadays students, which in a minimalistic and user-friendly interface, without additional registration, can solve the task.

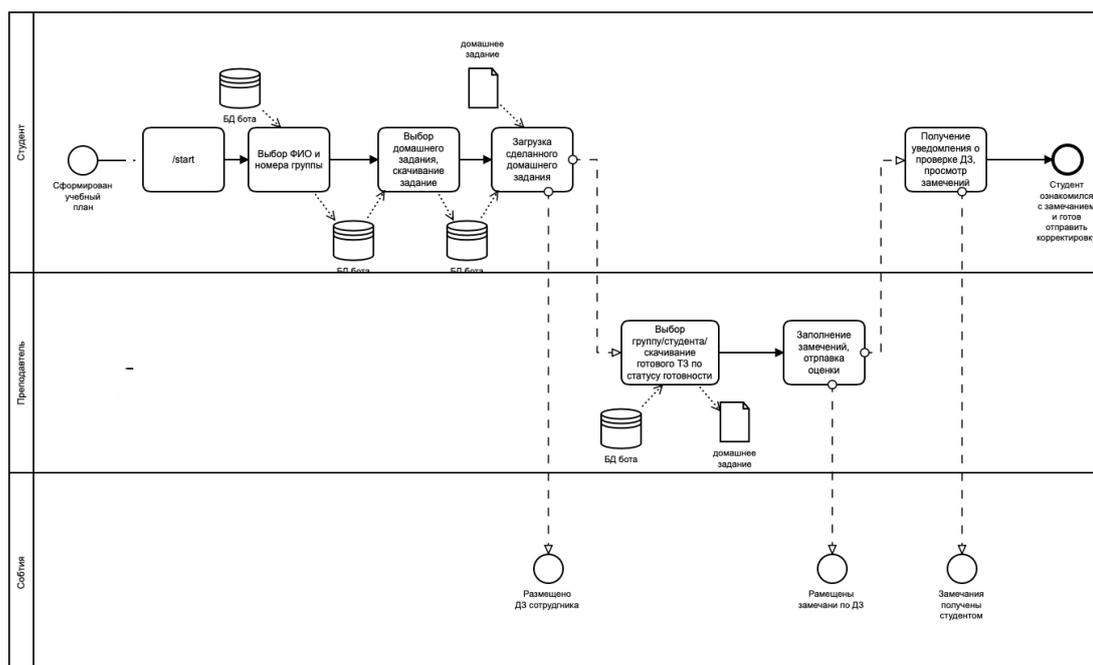


Рис. 1. The general scheme of the bot (Use cases).

As part of the work, it is supposed to consider the main Use Cases of the teacher and students, as part of the usual educational process, to design and implement a telegram bot with an administrative part in the form of an online web service [3].

1. Spitsina, I.A., Krochin, A.L., Aksonov K.A., Aksonova O.P. Survey of present system engineering multi-agent based methods. development and application. 2nd International Workshop on Radio Electronics and Information Technologies, REIT 2 2017; Yekaterinburg; Russian Federation; 15 November 2017. CEUR Workshop Proceedings, Volume 2005, 2017, Code 132035. Pages 137-144.
2. Bots: information for developers// GeeksForGeeks : [site]. – 2021. – URL: <https://tigrm.ru/docs/bots> (Date of Access: 22.05.2021).
3. Create a Telegram Bot using Python <https://www.geeksforgeeks.org/create-a-telegram-bot-using-python/>(Date of Access 2.02.2022).

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОПК

Миронов А.П.¹, Метелев Д.А.²

¹) АО "ПО УОМЗ им. Э.С. Яламова"

²) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andrew-m8@rambler.ru

OPPORTUNITIES FOR THE USE OF FLEXIBLE MANAGEMENT AT DEFENSE INDUSTRY ENTERPRISES

Mironov A.P.¹, Metelev D.A.²

¹) JSC PA UOMP

²) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

The specifics of the main activity of defense industry enterprises and the possibility of introducing flexible management approaches into the process of developing civilian products are considered.

Выявлены и проанализированы факторы, затрудняющие применение гибкого управления на предприятиях ОПК. Определены основные цели внедрения Agile-подхода. В ходе исследования проведен анализ современного состояния предприятий ОПК, который показал, что развитие производства высокотехнологичной гражданской продукции на основе использования их инновационного потенциала и ключевых компетенций связано с рядом проблем [1]. На данный момент можно отметить, что в недостаточной степени изучены проблемы и ошибки, касающиеся внедрения семейства гибких подходов с учетом специфики видов деятельности предприятия. Проведенные интервью с рядом линейных руководителей предприятия позволили обозначить факторы, затрудняющие применения гибкого управления на предприятиях ОПК.

Основной задачей сегодня является сокращение времени выхода продукта на рынок. Высокая конкуренция заставляет компании искать новые в современных реалиях решения. Внедрение Agile подходов на предприятии ОПК позволит оперативно и адекватно отвечать на вызовы и возможности динамической, постоянно меняющейся среды.

1. Борисова Е.В. Инструменты формирования и развития инновационной инфраструктуры высокотехнологичных производств гражданской продукции: дис. канд. эконом. наук: 08.00.05.-СибГУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, 2021 – 230 с.

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ ПОДВОДНОГО ТРАНСПОРТА «АКВАКАР» В ПРОГРАММЕ ЭВМ «LIGROGAME»

Молоднякова А.В.¹

¹) ООО «АВСПАНТЕРА», г. Нижний Тагил, Россия, кафедра психолого-педагогического образования нижнетагильского филиала Российского государственного профессионально-педагогического университета
E-mail: molodnalena@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A GEOMETRIC 3D MODEL OF THE UNDERWATER TRANSPORT "AQUACAR" IN THE COMPUTER PROGRAM "LIGROGAME"

Molodnyakova A.V.¹

¹) LLC ABSPANHERA, Nizhny Tagil, Russia, Department of Psychological and Pedagogical education of Nizhny Tagil branch of the Russian State Vocational Pedagogical University

The report examines a modern domestic educational solution - the "LigroGame computer-gaming complex", which allows specialists to develop projects using 3D computer technologies in accordance with the targets and tasks of integrating STEM practices into the content of children's cognitive activity.

Современные виды инженерной деятельности и других специальностей (архитектура, дизайн) используют на разных этапах профессиональной деятельности 3D технологии: 3D моделирование, 3D печать и технологии виртуальной реальности. Образовательные возможности данных технологий могут быть использованы в техническом творчестве детей, начиная с дошкольного возраста.

Проектной группой разработчиков (ООО «АВСПАНТЕРА») был разработан комплекс материально-технических и учебно-методических условий, которые обозначены, как «компьютерно-игровой комплекс «LigroGame»», для организации познавательной и проектной деятельности детей на компьютерных 3D-технологиях. Данный комплекс реализует модель электронного обучения 1:1 (1 ребенок-1 электронное устройство) на основе программы ЭВМ «электронная среда для 3D-моделирования LigroGame», где дети осваивают методы математического моделирования на объемных геометрических телах. Инновационное программное обеспечение для компьютерного 3D-моделирования – программа ЭВМ «электронная среда для 3D моделирования LigroGame» (регистрационный № 2020613459) реализует авторскую педагогическую методику обучения (Молоднякова А.В.), которая позволяет обучить детей, начиная с дошкольного возраста, компьютерному 3D-моделированию.

Пример постановки технической задачи при изменении признака «место использования объекта» на примере объекта «автомобиль» с использованием технологии 3D моделирования в «LigroGame». Педагог познакомил детей с

футуристическими идеями инженеров по освоению подводного пространства и предложил спроектировать для инфраструктуры подводного города транспорт – автомобиль, который используется для перемещения человека под водой (филиал МБДОУ «Надежда» детский сад №576, г. Екатеринбург). Техническим результатом должен был стать транспорт с новым техническим эффектом – «Аквакар». Для решения данной задачи были использованы идеи бионики – свойства живых организмов подводного мира, которые помогают им адаптироваться к условиям подводного мира. Цель проекта – разработать новый вид транспорта для среды подводного мира на прототипе объекта «автомобиль» в виде геометрической 3D модели.

На первом этапе дети описывали объект «автомобиль» на основе схемы «LigroGame» «признак-значение признака», на следующем этапе данная схема была использована детьми для преобразований значений для признака «форма» по части «кузов», «корпус», «колеса» на основе внешних характеристик формы таких морских животных, как медуза, скат и дельфин. Форма частей данных животных представлена в виде геометрических тел.

Модель 3D «Аквакар» была разработана с использованием базовых геометрических тел «куб», «шар», «пирамида» на основе команды «масштабирование» в программе ЭВМ «LigroGame» для 3D печати. Тестирование функций объекта проведено в виртуальной среде платформы cospaces.io на основе блочного программирования.

В процессе создания объекта «Аквакар» дети дошкольного возраста использовали при создании своего проекта 3D технологии.

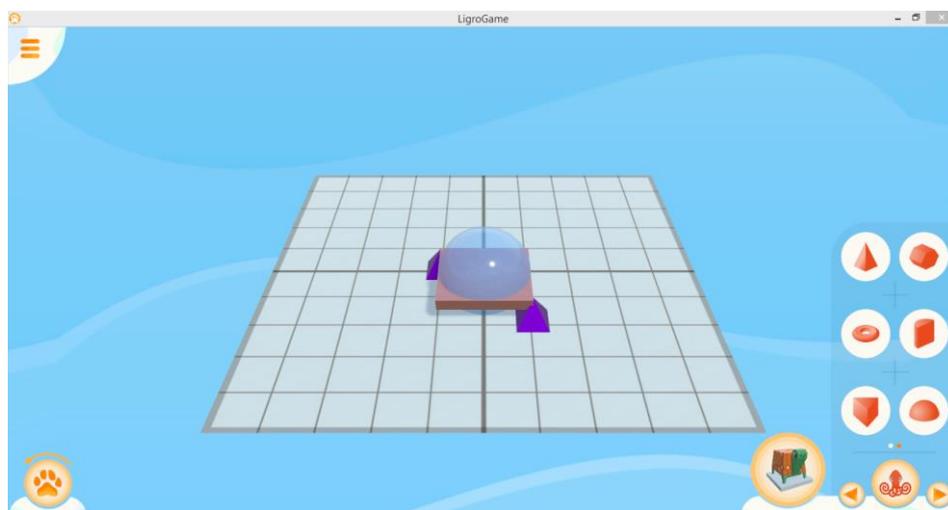


Рис. 1. 3D модель подводного транспорта «Аквакар» в программе ЭВМ «LigroGame»

1. Молоднякова А.В. Технология игрового 3D моделирования в LigoGame как инновационный метод для развития естественно–математических представлений детей дошкольного возраста на основе цифровых технологий/ Психология

- личности: культурно-исторический подход // Материалы XX Международных чтений памяти Л.С. Выготского. Москва, 18-20 ноября 2019 г. / Под ред. Г.Г. Кравцова: В 2 т. Т.2. М.: Левь, 2019, С. 158
2. Молоднякова А.В. Что закупить для компьютерно – игрового комплекса на 2019/20 учебный год/Справочник руководителя дошкольного учреждения, № 9, 2019, С.69.
 3. Молоднякова А.В., Лесин С.М. Формирование раннего инженерного и технологического образования в условиях технологической насыщенности системы дошкольного образования/ «Интерактивное образование» №3. 2018. С. 38-42
 4. Реестр Российских производителей средств обучения и воспитания [сайт] URL: <https://industryart.ru/reestr-rossijskix-proizvoditelej-sredstv-obucheniya-i-vospitaniya/>
 5. Проект "Аквакар" [сайт] URL: https://islands.idi.network/island/inventions?fbclid=IwAR1_vQqU_OmckuaxnAvxiRwJ1EA6iuWj3hfSnHzKMbHvErpe9LxktxSaVg

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛЕЙ ГИБКОГО ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Озорнин С. Ю.¹, Терлыга Н. Г.¹

¹) Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина
E-mail: stanislav.ozornin@mail.ru

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF AGILE PROJECT MANAGEMENT MODELS UNDER ECONOMY DIGITALIZATION

Ozornin S. Y.¹, Terlyga N. G.¹

¹) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Theses deal with the results of a survey regarding the applicability agile project management under digitalization of russian economy. The analysis underlined that agile project management models cannot be used without adaptation to the specifics of the economy.

Гибкое проектное управления, базирующееся на создании ценности для бизнеса в процессе итеративной разработки продукта, стремительно ворвалось в сферу информационных технологий и продолжает свою экспансию [1]. В рамках исследования интерес вызывает практический опыт применения моделей гибкого проектного управления в условиях цифровой трансформации экономики России. Для этого проводится анкетирование специалистов в данной области с целью выявления взаимосвязей между используемыми моделями и эффективностью проектного управления.

В анкетировании приняли участие 100 практикующий специалистов в области гибкого проектного управления. Основой для анкеты выступила методика, описанная в труде S. Misra, V. Kumar, U. Kumar «Identifying some important success factors in adopting agile software development» [2].

Статистический анализ выступает в качестве метода обработки данных, в основе которого лежит изучение связей между переменными. С целью определение модели, характеризующейся наибольшей общей эффективностью, рассматривается структура ответов респондентов на каждый вопрос с точки зрения использования той или иной модели.

Результаты исследования подтвердили гипотезу о том, что компании, применяющие в своей практике адаптированные (собственные) модели гибкого проектного управления, достигают более высоких показателей эффективности менеджмента. Однако необходимо отметить такие направления, как управление стоимостью и сроками проекта. Большинство респондентов отмечает, что внедрение моделей гибкого проектного управления, как правило, не приводит к положительным изменениям. В ряде случаев изменения характеризуются как отрицательные.

Общий вывод заключается в том, что зарубежные модели гибкого проектного управления слабо адаптированы под особенности цифровой экономики России,

что формирует у предприятий потребность в создании собственного подхода. Однако создание собственной модели управления – длительный и ресурсоемкий процесс, который может позволить себе не каждое предприятие. Подобная ситуация определяет необходимость в разработке и тиражировании адаптированной под особенности цифровой экономики России модели гибкого проектного управления. Структурный анализ показал, что в процессе разработки целесообразно опираться на имеющиеся подходы, поскольку они доказали свою эффективность. Однако особое внимание необходимо уделить работе по управлению стоимостью и сроками, поскольку именно эти направления наиболее слабо декларированы в Agile-подходах.

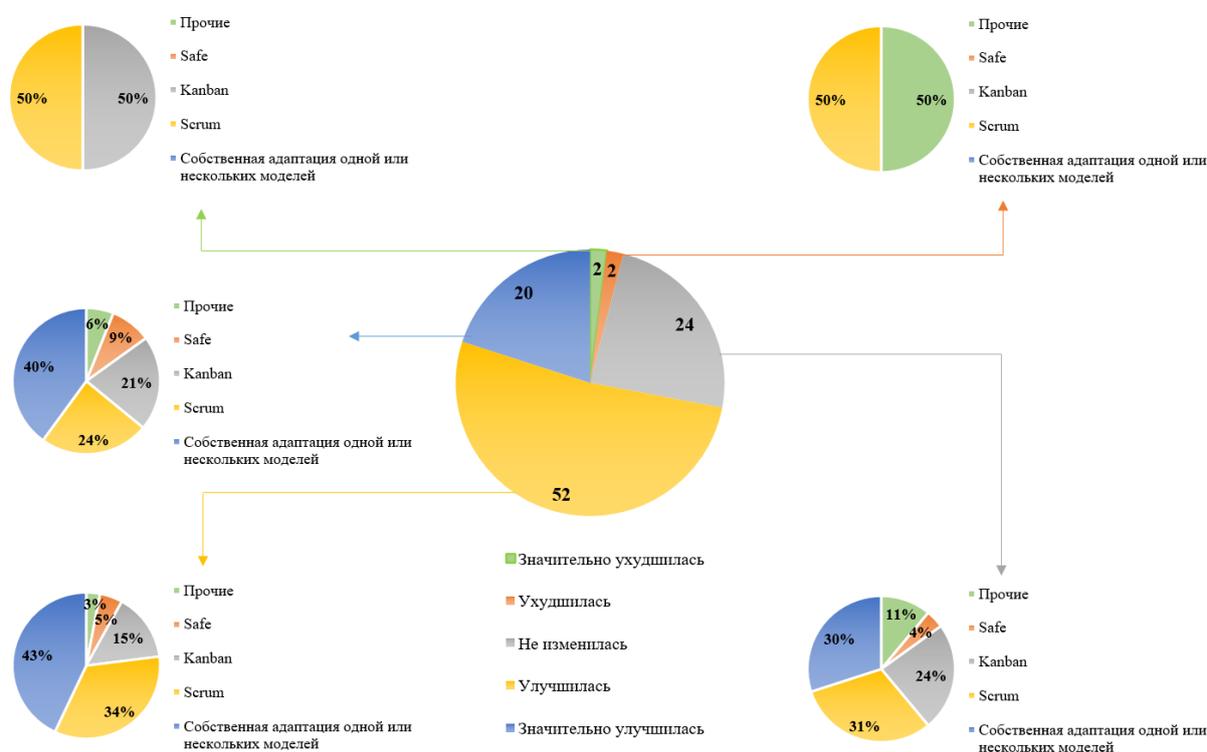


Рис. 1. Структурная картина общей эффективности проектного управления, разбитая по применяемым моделям

1. Вольфсон Б. И. Гибкое управление проектами и продуктами / Б. И. Вольфсон. – СПб : Питер, 2015. – 144 с.
2. S. Misra, V. Kumar., U. Kumar. Identifying some important success factors in adopting agile software development (J. Syst. Softw., 82 (11), 2009) pp. 1869–1890.

СОПРОВОЖДЕНИЕ И ЗАЩИТА ВКР В ФОРМАТЕ «СТАРТАП КАК ДИПЛОМ»

Филиппов Д.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: d.a.filippov@urfu.ru

STARTUP PRACTICE DIPLOMAS IN RUSSIAN UNIVERSITIES

Philippov D.A.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The structure of the final qualification work in the format of startup allows students to start implementing their own project and upgrade their skills before graduation. There isn't complete understanding of the organization, preparation and presentation of start-up diplomas in Russian universities

На состоявшемся в ноябре 2020 года форуме «Сильные идеи для нового времени», в работе которого принимало участие большое число представителей высшего образования, глава Минобрнауки РФ В. Фальков сообщил, что в 2021 году более 60 вузов страны вводят систему защиты дипломов в виде стартапов [1]. Данный формат итоговой государственной аттестации подразумевает под собой представление традиционной выпускной квалификационной работы в виде бизнес-проекта, направленного на реализацию инновационной идеи [2].

Новый для вузов России формат был впервые реализован в 2017 году в Дальневосточном федеральном университете [3]. Так как обучение и подготовка квалифицированных кадров является важным фактором развития экономики страны, данная практика внедряется и в Уральском федеральном университете.

Выпускной квалификационный стартап должен подтверждать традиционные компетенции выпускника ВУЗа по соответствующей специальности, но в то же время, демонстрировать ключевые компетенции технологического предпринимательства.

Анализ литературы по реализации ВКР в формате стартапа в разных учебных заведениях показал, что в дополнение к традиционной дипломной работе, структура которой определена и включает литературный обзор, теоретическую и практическую часть, должны быть включены блоки, представленные на рисунке 1.



Рис. 1. Структура выпускного квалификационного стартапа

Внедрение нового формата защиты дипломных работ создает ряд проблем. Так, например, в настоящее время в Российских вузах не обнаружено целостной, понятной, логично структурированной системы положений, определяющих выпускной квалификационный стартап [4].

В данной работе рассмотрены требования к предмету защиты ВКР в виде стартапа: 1) соответствие требованиям образовательного стандарта и основной образовательной программы, в соответствии с которыми обучающийся защищает ВКР, по области профессиональной деятельности или объекту профессиональной деятельности; 2) представление бизнес-проекта на стадии готовности к привлечению инвестиций или уже работающего бизнеса; 3) обоснование бизнес-модели, соответствующей реальным рыночным условиям.

1. V. Falkov, Roscongress (2020).
2. A. Borovskyi, N. Spechilova and N. Shumilina. Orenburg 2283-3387 (2021).
3. Nadezhdina S.A., Nauka I prosvechenie, 18-220 (2021).
4. Livanov, Prikaz № 636 (2015).

АДАПТАЦИЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ: ПОСТАНОВКА И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Прохоров Д.Л.¹, Сертаков В.В.¹

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
E-mail: pdl3860@gmail.com

ADAPTATION OF YOUNG SPECIALISTS IN TECHNOLOGY COMPANIES: STATEMENT AND POSSIBLE SOLUTIONS TO THE PROBLEM

Prokhorov D.L.¹, Sertakov V.V.¹

¹Moscow Aviation Institute (National Research University)

The work is devoted to studying the adaptation of young professionals in technology companies. It identifies problems and solutions based on a survey among students and graduates.

Согласно исследованию, подавляющее большинство выпущенных студентов технологических вузов сталкиваются со сложностями при начале трудовой деятельности.

ТРУДНО ЛИ ВАМ БЫЛО АДАПТИРОВАТЬСЯ
(ПОНЯТЬ СВОИ ЗАДАЧИ, РОЛЬ) НА ПЕРВОЙ
РАБОТЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
КОМПАНИИ/ПРЕДПРИЯТИИ?

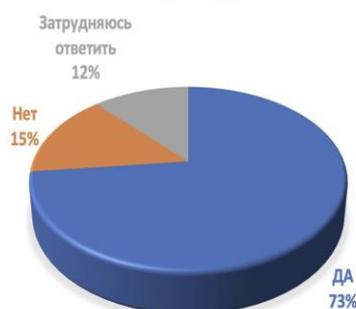


Рис. 1. Распределение голосов опроса

Данная тема слабо освещается в современном обществе. Хотя именно в 21 веке озвученные трудности приобрели широкомасштабный характер. Глобализация, интеграция и усложнение цепочек производства вынуждают технологические компании повышать требования к будущим специалистам. Язык для международной коммуникации, умение работать в различных программных средах для оптимальной консолидации трудовых ресурсов, постоянно усложняющееся ПО. С каждым годом технологии становятся всё объёмнее, от наёмного работника требуется больше специфических знаний, а вузы продолжают использовать

наработанные учебные планы. Безусловно, процесс обновления непрерывно продолжается, но скорость внедрения новых технологий в производстве гораздо выше. Если рядовой инженер, выпущенный десять лет назад, осваивал компьютерные и производственные методы по мере их усложнения, то сегодня молодой конструктор приходит на довольно сложное оборудование без практики, а обучение нужно проводить неделями. Страдают все: учебное заведение теряет доверие студентов, производство лишается денег и ресурсов.

Так что же делать компаниям и вузам для улучшения рабочей среды? На основе проведённого исследования проблемы разделились на две категории.

Первая группа. Проблемы учебного заведения (на основе опроса):

- A) Отсутствие знаний о практическом применении программ (Компас);
- B) Недостаток практических навыков (Пайка);
- C) Незнание программ документооборота (Teamcenter);
- D) Специализированные теоретические знания.

Возможные пути решения (на основе опроса и литературы):

- A) Программы повышение квалификации в специфических областях знаний;
- B) Курсы по программам для функционирования предприятий;
- C) Увеличение часов практики для отдельных технических специальностей;
- D) Мастер классы по работе со специфическим технологическим оборудованием.

нием.

Вторая группа. Проблемы предприятия (на основе опроса):

- A) Трудности с коммуникацией между новичком и устоявшейся командой;
- B) Отсутствие контроля;
- C) Новый сотрудник не понимает задачи, которые необходимо выполнять;
- D) Неумение работать со временем.

Возможные пути решения (на основе опроса и литературы):

- A) Обязательные тренинги коллектива;
- B) Лекции на профессиональные темы от опытных сотрудников;
- C) Коллега-наставник из числа наиболее опытных кадров;
- D) Чёткое определение ценностей компании. [1]

Таким образом, на основе опроса, были выявлены проблемы компаний и вузов. Особенно остро возникшие вопросы проявляются в местах, где необходимы специальные навыки, нарабатываемые годами. Адаптация молодых специалистов приводит не только к более уверенной и эффективной работе новичков, но также к уверенности в своей пользе для опытных сотрудников, что улучшает климат рабочей среды в целом. Бизнес работает более эффективно, а затраты на решения поставленных вопросов легко компенсируются повышением эффективности труда.

1. Иванова, Е. Н. Социально-психологические факторы адаптации молодых специалистов на предприятии, Наука и образование: электронное научно-техническое издание, 2014, № 12, с. 1023.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КИМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ

Шкляев В.Д.¹, Спиридонов Д.М.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: v040499@yandex.ru

ANALYSIS OF THE CMM APPLICATION POSSIBILITY FOR PRODUCT CONTROL

Shklyayev V.D.¹, Spiridonov D.M.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this paper, an analysis of the feasibility of using CMM in production was carried out. Based on the existing regulatory and technical documentation and practice in the industry, the pros and cons of their use are shown.

В последнее время координатно-измерительные машины (далее КИМ) активно начинают все больше использоваться в таких отраслях производства, где требуются высокоточные, прецизионные измерения. Они очень удобны при проверке соответствия деталей требованиям, указанным в конструкторской документации или спецификации заказчика. В особенности КИМ полезны при работе с деталями малых размеров, с крупногабаритными деталями, когда нет возможности использовать контактный способ измерения, и в случаях, когда контакт с деталью невозможен по причине ее повреждения.

Также данные машины применяются при обратном проектировании существующих деталей, где необходимо проведение точных измерений всех их параметров. Как правило, чем сложнее или многочисленнее измерения, тем выгоднее использовать КИМ.

Однако, точность машин, согласно ГОСТ Р ИСО 10360-2-2017 [1], достаточно сильно зависит от температуры, влажности воздуха и вибрации в месте установки КИМ. Так, например, для уменьшения влияния вибрации на точность, машину устанавливают на виброизолирующем фундаменте, который в свою очередь расположен в специальном помещении, где могут поддерживаться определенные климатические условия (температура, давление, влажность и т.д.).

Плюсом же можно назвать умение КИМ самостоятельно сканировать деталь, без какого-либо вмешательства оператора [2], с помощью различных видов щупов [3].

В настоящей работе приведен анализ ситуаций, когда может быть актуально использование КИМ. Он поможет разобраться в целесообразности применения данных средств измерений для контроля качества изделий.

1. ГОСТ Р ИСО 10360-2-2017 Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Координатно-измерительные машины, применяемые для измерения линейных размеров. М.: Стандартинформ, 2019 – 32 с.

2. ГОСТ Р ИСО 10360-4-2017 Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Координатно-измерительные машины, применяемые в режиме сканирования. М.: Стандартинформ, 2019 – 16 с.

3. ГОСТ Р ИСО 10360-5-2017 Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Координатно-измерительные машины, использующие одно- и многощуповые контактные зондирующие системы. М.: Стандартинформ, 2019 – 32 с.

НЕДООЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ ПРИ ПЕРВОМ ПУБЛИЧНОМ РАЗМЕЩЕНИИ АКЦИЙ И ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ ФАКТОРЫ

Соловьев А.С.¹, Терлыга Н.Г.¹

¹) Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина
E-mail: andrey1488s@bk.ru

UNDERESTIMATION OF INNOVATIVE COMPANIES AT THE INITIAL PUBLIC OFFERING OF SHARES AND FACTORS AFFECTING IT

Solovyev A.S.¹, Terlyga N.G.¹

¹) The Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
Building a game-theoretic model of various pricing mechanisms of companies during IPO.
Statistical study of factors influencing the result of IPO of innovative companies.

В работе рассмотрены и проанализированы различные механизмы ценообразования стоимости компаний при публичной публикации акций на первичном рынке, формализована терминология теории аукционов под механизм выхода компании на биржу, путем размещения акций. Построены теоретико-игровые модели двух базовых механизмов определения цены на первичном рынке: метод аукциона, метод формирования книги заявок, а также проведено сравнение данных механизмов, учитывая построенные модели.

В ходе анализа рассмотрены факторы ценообразования инновационных компаний, которые в момент выхода на IPO не имеют полноценного продукта и дохода, а прибыль с продажи акций необходима для проведения дальнейших исследований, вследствие чего сложно объективно оценить их актуальную цену. В ходе исследования проведен статистический анализ инновационных фармакологических компаний, вышедших на IPO. На основе данных были проверены гипотезы о взаимосвязи некоторых факторов, которые возможно имеют влияния на недооценку и ценообразование компаний по отношению к результату их IPO.

Основной задачей исследования было рассмотреть IPO как метод привлечения денежных средств инновационным компаниям, сравнить различные механизмы ценообразования стоимости компаний, а также рассмотреть факторы, которые влияют на недооцененность акций при выходе на IPO, приводящую к потере потенциального капитала, необходимого для дальнейших разработок продукта. Задачи исследования выполнены, также даны рекомендации, которые могут привести к уменьшению недооцененности и увеличению прибыли.

1. Прошедшие IPO: [сайт]. URL: <https://ipo.one/proshedshie-ipo/>

УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТАМИ: ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Светлова О.А.^{1,2}, Шульгин Д.Б.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ)

²) Институт электрофизики УрО РАН
E-mail: olma_20@mail.ru

CONFLICT MANAGEMENT: THE MAIN FACTORS OF THEIR OCCURRENCE IN THE COMMERCIALIZATION OF INTELLECTUAL PROPERTY

Svetlova O.A.^{1,2}, Shulgin D. B.¹

¹) Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

²) Institute of Electrophysics, UB, RAS

Conflict management, like management activities, has its own methodological approaches that are able to adapt to absolutely any life situation. The existing conflict situations among the participants in the work processes, the objective and subjective factors influencing the development of these dis

Трансфер технологий и внедрение инноваций являются сложными и болезненными процессами, требующими привлечения квалифицированных экспертов, оценки всех возможных рисков и принятия сложных стратегических решений для заинтересованных сторон: разработчиков технологий, инвесторов и посредников (субъектов технологического трансфера). На этом фоне, зачастую, наблюдается возникновение столкновений экономических интересов сторон и даже конфликтных ситуаций. Причем особую роль здесь играют конфликты в сфере интеллектуальных прав, в которых проявляется и обостряется целый комплекс противоречий, связанных с поведением участников инновационных процессов.

Конфликты в области интеллектуальных прав между авторами (разработчиками) и партнерами или инвесторами на ранних стадиях инновационных проектов формируются в силу целого комплекса объективных и субъективных причин. К объективным факторам, сдерживающим эти процессы, относят такие как, в частности, сложности оценки коммерческого потенциала продуктов интеллектуальной деятельности вузов, неопределенность правового режима нововведений в действующем законодательстве России [1], низкая конкурентоспособность условий ведения бизнеса в сравнении с более развитыми экономиками [2], невысокая востребованность научных результатов российской экономикой и обществом, отсутствие соответствующей мотивации [3].

Наряду с объективными факторами, негативно влияющими на развитие трансфера технологий в России, существуют и субъективные. Это, в частности, различные аспекты поведенческого характера, которые, на наш взгляд, являются одними из наиболее значимых, но не всегда явных факторов, сдерживающих развитие трансфера технологий. В основе таких конфликтов нередко отмечают невысокий уровень компетентности разработчиков в области интеллектуальной собственности, проблему доверия между разработчиком и инвестором (страх «потери интеллектуальной собственности» и контроля над процессом со стороны изобретателя), завышенную оценку разработчиком вклада технологии в общий результат инновационного проекта и другие факторы. При этом независимо от того какая из причин доминирует, неготовность или неспособность сторон договориться нередко приводит к «срыву» сделки.

Систематизация причин и путей разрешения конфликтов, связанных с интеллектуальной собственностью (особенно на ранних стадиях инновационных проектов), позволит совершенствовать соответствующие «поведенческие инструменты управления», а также подходы и методы ведения переговоров между разработчиками, партнерами и инвесторами, в том числе в рамках медиативных технологий. Развитие методологии в данной сфере, по нашему мнению, поможет менеджерам и специалистам по трансферу технологий снизить вероятность «отказов от сотрудничества» и увеличить выход успешных проектов.

1. Университетский трансфер технологий как ключевой фактор развития российской экономики знаний. Погарская О.С. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2013. № 4 (48). С. 504-511.

2. Трансфер технологий как основополагающий элемент инновационного развития в условиях глобализации. Малышев Ю.И. Вестник научных конференций. 2016. № 3-7 (7). С. 98-105.

3. Трансфер технологий в развитии инновационной экономики. Самсонова И.Д. Совет ректоров. 2016. № 5. С. 55-64.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ БИОХАКИНГА ДАННЫХ «УМНЫХ ЧАСОВ» ПРИ ОЦЕНКЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЛОВЦА

Тарханова Е.А.¹

¹) УрФУ, ФТИ, кафедра Инноватики и интеллектуальной собственности
E-mail: tarhanova.tarhanchik@mail.ru

ANALYSIS OF THE ACCURACY AND INFORMATION OF BIOHACKING OF "SMARTWATCH" DATA IN ASSESSING THE ACTIVITY OF A SWIMMER

Tarkhanova E.A.¹

¹) UrFU, Institute of Physics and Technology, 27.04.05 Innovation Studies

Annotation. This article presents evaluation features of activity in swimming by using modern technologies. We studied the precision and necessity of using such technologies to assess the indicators in swimming. Different models of smart watches with variety of price ranges were compared and analyze

Информационные технологии развиваются быстрыми темпами и их использование наблюдается во всех областях деятельности человека. Благодаря появлению и развитию носимых гаджетов, а именно «умных часов» и фитнес браслетов, появилась возможность следить за своей активностью и наблюдать за состоянием организма в целом.

Целью исследования является анализ точности и информативности современных смарт-технологий при оценке деятельности пловца.

Гипотеза - анализ смарт технологий при снятии данных на тренировках по плаванию, является недостаточно объективным методом контроля физической нагрузки.

Плавание является сложным для регистрации физической активности «умными часами». Большинство часов позволяют регистрировать количество гребков, показатели ЧСС, общий объем дистанции [1]. Но помимо особенностей водной среды, которые затрудняют возможности четкой регистрации ЧСС и других показателей, возникает сложность распознавания четырех стилей плавания и регистрации поворотов.

Методы. Чертов Н.В, отмечает в своей методике [2], необходимость фиксирования таких показателей, которые разносторонне воздействуют на функциональные системы организма человека. В исследовании использовались экспериментальные методы снятия количественных показателей спортивной тренировки при плавании.

Тест включал проплывание работы восьми отрезков: 2 x 25 м баттерфляй, 2 x 25 м на спине, 2 x 25 м брасс, 2 x 25 м кроль.

Выводы. Используемые в тестировании модели «умных часов» показали достаточно низкую корректность и информативность показателей, поэтому будут давать искаженную информацию. В связи с этим нецелесообразно широко внедрять использование данных моделей в повседневных тренировочных пловцов и необходимо искать альтернативную технологию.

1. Chertov N.V. Swimming. - Rostov-on-Don: PI SFU, 2017.
2. Wear a gadget. swimming metrics: learning to understand statistics. (2019).

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА В СФЕРЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тиунова Т.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: tiunowa.tanya@yandex.ru

ASSESSMENT OF INNOVATIVE POTENTIAL IN THE FIELD OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES

Tiunova T.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The study analyzes the features of the development of organizations in the field of telecommunication technologies. The survey of respondents makes it possible to develop a methodology and identify the most significant factors for assessing the innovative potential in this area.

Телекоммуникационные организации предоставляют услуги по передаче и приему информации с помощью специального оборудования, которые являются связующим звеном различных экономических центров, в промышленной, банковской сфере, в системе образования и медицины. Все это определяет условия для социальной сплоченности и культурного развития общества. Формирование сферы телекоммуникационных услуг – это одно из важнейших направлений национального и экономического развития любого государства.

На современном рынке телекоммуникационных услуг есть определенные тенденции, которые связаны с новыми потребностями потребителей и новыми условиями бизнеса. Проведенное исследование данного рынка выявило особенности процессов в этой сфере деятельности. Важным фактором развития являются сделки по слиянию и поглощению, когда происходит привлечение свободных денежных средств инвесторов, обеспечивается повышение стоимости бизнеса, осуществляется противодействие давлению конкурентов. Для владельца компании актуален будет вопрос об увеличении стоимости рассматриваемой организации.

Анализ данных показал, что на стоимость компании прежде всего влияет величина инновационного потенциала, оценка которого актуальна как для собственников организации, так и потенциальных инвесторов. Разработанные учеными методы отличаются, так как при их обосновании авторы используют разные подходы и предлагают свои наборы показателей. Для качественного и точного определения инновационного потенциала в сфере телекоммуникационных технологий необходимо использовать ресурсный подход и параметры, влияющие на его величину.

На основании опроса респондентов, где большинство опрошенных (более 55%) являются техническими специалистами в сфере телекоммуникационных технологий, был определен перечень наиболее значимых параметров для оценки инновационного потенциала. Был сделан вывод, что наиболее важной составляющей являются показатели финансово-экономического блока (отметили 66,7% респондентов). При оценке инновационного потенциала также необходимо учитывать кадровые (61,1%), научно-технологические (58,3%), организационно-технические (58,3%) параметры.

Применение разработанной методики позволит определить величину инновационного потенциала организации в сфере телекоммуникационных технологий, что в дальнейшем даст возможность разработать методические рекомендации по его управлению с целью увеличения стоимости бизнеса.

1. Гапоненко Т. В., Жуковский Д. А. Тенденции развития российского рынка телекоммуникационных услуг // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2019. № 2. С. 8-16.

2. Шляхто И.В. Оценка инновационного потенциала промышленного предприятия // Вестник Брянского государственного технического университета. 2006. №1 (9). - С.109-115.

3. Митякова О.И. Оценка инновационного потенциала промышленного предприятия // Финансы и кредит. 2004. № 13. С. 69-74.

4. Москвичёв А.А. Оценка параметров инновационного потенциала предприятий // Ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2010. № 6. С. 190-195.

5. Долинская, А.Ю. Управление инновационным развитием предприятия на основе стратегий развития инновационного потенциала / А.Ю. Долинская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». -2019. - Т. 13, № 2. - С. 87-95.

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ, ВКЛЮЧАЯ SAR, ДЛЯ СЕТЕЙ 5G: ЖИЗНЬ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА В РФ

Целиковский В.Д.¹, Ковтун Н.А.¹, Попов И.В.¹, Швачкин И.Е.¹

¹) Российский Государственный Университет Правосудия
E-mail: preacherofspencer@gmail.com

LEGAL REGULATIONS OF TECHNICAL SUPPORT AND LEVEL OF ELECTROMAGNETIC ENERGY, INCLUDING SAR, FOR 5G NETWORKS: PROTECTION OF HUMAN LIFE AND HEALTH IN RF

Tselikovskiy V.D.¹, Kovtun N.A.¹, Popov I.V.¹, Shvachkin I.E.¹

¹) Russian State University of Justice

The paper considers the necessity of immediate occurrence of law projects in 5G networks field regarding regular consumers exposure to electromagnetic energy in thoughts of protecting human life and health from the consequences of unhealthy amount of exposure in Russian Federation. As of the present

В данной работе рассматривается историко-правовой аспект становления законодательства в сфере электромагнитного излучения и его влияния на жизнь и здоровье человека в России, проблема отсутствия законодательства, которое должно регулировать и ограничивать уровень электромагнитного излучения устройств с поддержкой сетей 5G. Проводится исследование законодательной базы Российской Федерации, а также стран Европы и Северной Америки, имеющих опыт в введении в массовую эксплуатацию сети 5G среди населения. Приводятся рабочие диапазоны для сетей зарубежных стран и прогнозируются диапазоны для общедоступного использования в России. Рассматриваются внесенные и планирующиеся изменения законодательства РФ в области связи, а также другие предпосылки к введению в эксплуатацию вышек 5G для населения.

Работа включает в себя анализ судебной практики, которая наглядно показывает диаметрально противоположные мнения, принимая во внимание абсолютно идентичный предмет спора. Данная ситуация говорит о том, что судами по-разному оценивается существо споров, а также неопределённо интерпретируются нормы материального (применимого) права, и положенное в их основу судебное усмотрение.

С учетом зарубежного опыта освещается попытка имплементации норм зарубежного права в национальное политико-правовое поле. Доктринальный подход к предложенной проблематике свидетельствует о поляризации научных представлений (Егорова М.А., Блажеев В.В., Дюфло А., Уинтер Г.) на существо сетей 5G и попытках их законодательного урегулирования. Несмотря на то, что феномен 5G не является новшеством для западно-европейского правопорядка,

авторами делается вывод о достаточно имманентно неопределённом регулировании рассматриваемого правового института.

1. Постановление Правительства РФ от 21 декабря 2020 г. N 2192 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидии в виде имущественного взноса Российской Федерации в Государственную корпорацию по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех» в целях разработки системного проекта по производству высокотехнологичной телекоммуникационной продукции для сетей связи 5G/IMT-2020 и обеспечения ее серийного выпуска».

2. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 г. N 16).

3. Приказ Минкомсвязи России от 27.12.2019 N 923 «Об утверждении Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации».

4. Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2018/1972 от 11 декабря 2018 г. «Об установлении Европейского Кодекса электронных коммуникаций».

Научное издание

ФИЗИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
ФТИ-2022

**IX Международная молодежная научная конференция,
посвященная 100-летию со дня рождения
профессора С. П. Распопина**

Екатеринбург, 16-20 мая 2022 г.

Тезисы докладов

Ответственность за правильность, точность и корректность цитирования, ссылок и перевода, достоверность информации и оригинальность представленных материалов несут их авторы.

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *А. В. Ищенко и Е. Дерендяевой*

Подписано к использованию 15.05.2022.

Уч.-изд. л. 52,5

Объем 18 Мбайт. Заказ

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
620002, РФ, Свердловская область, Екатеринбург