

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

---

# Современные проблемы физики и технологий

VI Международная молодежная научная школа-конференция,  
посвященная 75-летию НИЯУ МИФИ  
и 95-летию академика Н.Г. Басова

17–21 апреля 2017 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Часть 1

МОСКВА

УДК 53+62+61  
ББК 22.3+3+51  
М 43

**Современные проблемы физики и технологий.** VI-я Международная молодежная научная школа-конференция, 17–21 апреля 2017 г.: Тезисы докладов. Часть 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2017.– 348 с.

Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий» в 2017 году посвящена 75-летию Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и 95-летию академика Н.Г. Басова. Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях.

Сборник тезисов докладов VI Международной молодёжной научной школы объединил работы школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VI Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, а также доклады на английском языке.

Тезисы докладов издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-2359-9

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2017

## **О Международной молодёжной научной школе-конференции**

Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях. Сборник тезисов докладов VI Международной молодёжной научной школы объединил работы студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VI Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, а также доклады на английском языке. Международная молодёжная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий» в 2017 году посвящена 75-летию Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и 95-летию академика Н.Г. Басова.

### **Место проведения**

VI Международная молодёжная научная школа-конференция пройдет с 17 по 21 апреля 2017 года в Москве на базе Национального исследовательского ядерного университета МИФИ и Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

**Рабочий язык школы:** русский и английский

### **Организаторы международной молодёжной научной школы-конференции**

- Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

### **Сопредседатели программного комитета**

- Стриханов Михаил Николаевич – ректор НИЯУ МИФИ
- Крохин Олег Николаевич – академик РАН, научный руководитель Высшей школы физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

### **Программный комитет:**

- Карцев П.Ф. (НИЯУ МИФИ) – ответственный секретарь
- Барбашина Н.С. (НИЯУ МИФИ)
- Весна Е.Б. (НИЯУ МИФИ)
- Кабашин А.В. (CNRS, Франция)
- Калинин Б.А. (НИЯУ МИФИ)
- Каргин Н.И. (НИЯУ МИФИ)
- Касумова Р.Д. (БГУ, Азербайджан)
- Комочкина Е.А. (НИЯУ МИФИ)
- Конов В.И. (ИОФАН)
- Котова С.П. (СФ ФИАН)
- Кузнецов А.П. (НИЯУ МИФИ)
- Кульчин Ю.Н. (ДВО РАН, НИЯУ МИФИ)
- Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)
- Леонова Н.М. (НИЯУ МИФИ)
- Мисюрин С.Ю. (НИЯУ МИФИ)
- Никитаев В.Г. (НИЯУ МИФИ)

### **Председатель организационного комитета**

- Завестовская Ирина Николаевна – директор Инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ
- Яшин Игорь Иванович – и.о. декана ВШФ им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

## **Организационный комитет**

- Ананская А.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН) – ответственный секретарь
- Алещенко Ю.А. (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
- Алхимова М.А. (НИЯУ МИФИ)
- Вишиванюк А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Григорьева М.С. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Евсович А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Казакевич В.С. (СФ ФИАН)
- Карпов Н.В. (НИЯУ МИФИ)
- Козловская Н.А. (Кубанский ГУ)
- Котова Н.Е. (CGG, Великобритания, НИЯУ МИФИ)
- Малов А.Н. (ИГМУ)
- Парфенов А.В. (LC&MO «Лазерные технологии», США)
- Родионова О.В. (НИЯУ МИФИ)
- Фроня А.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Яценко Л.П. (ИФ НАН, Украина)

## Содержание

---

### Доклады на английском языке

PHOTOPROCESSES DYNAMICS IN NANOSTRUCTURED MEDIA <i>Baratova A.A., Baktybekov K.S.</i>	23
INVESTIGATION OF THE PHASE COMPOSITION OF CARBON MATERIALS <i>Batiashvili L.A., Maksimova E.M., Nauhatsky I.A.</i>	25
CALCULATION OF CORRECTION COEFFICIENTS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE TRACKS IN THE DRIFT CHAMBERS <i>Buzin S.G., Zadeba E.A.</i>	27
STUDY OF DIELECTRIC PERMITTIVITY OF BIOLOGICAL SOLUTIONS IN THE GHZ REGION BY ELECTROMAGNETIC WAVES <i>Demin A.S., Pavlov N.D., Novoselsky D.V., Baloshin Yu.A., Damdinov B.B.</i>	29
RESISTIVITY OF CONDUCTIVE PATHS ON DIAMOND SURFACE CREATED BY NANO- AND FEMTOSECOND LASERS <i>Dezhkina M.A., Komlenok M.S., Khomich A.A., Popovich A.F., Kononenko V.V., Konov V.I.</i>	31
TERMIONIC CONVERTER WITH INCREASED EFFECTIVENESS <i>Dzugkoeva E.M., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.</i>	33
EVALUATION OF HEALING SKIN GRAFTS WITH USING ALUMINUM PHTHALOCYANINE NANOPARTICLES AND INDOCYANINE GREEN BY LASER SPECTROSCOPIC METHODS <i>Farrakhova D.S., Makarov V., Grachev P.V., Ryabova A.V., Loschenov V.B.</i>	35
SIMULATION OF A SCINTILLATOR TILE WITH DIRECT READOUT IN THE G4 FRAMEWORK <i>Korpachev S.S., Chadeeva M.V.</i>	37
FRENKEL PAIRS SEPARATION, FORMED IN SILICON AS A RESULT OF IONIZING PARTICLES IRRADIATION <i>Kovalenko M.S., Bogatov N.M.</i>	39

## СОДЕРЖАНИЕ

THERMIONIC CONVERTER - QUANTUM GENERATOR <i>Kuzenkova D.S., Bobrovsky T.L., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.</i>	41
HIGH-FREQUENCY GRAVITATIONAL RADIATION OF NEUTRON STARS <i>Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.</i>	43
MECHANISM OF THE EFFECT OF A CERIUM VAPOR INJECTION INTO THE GAP OF A THERMIONIC ENERGY CONVERTER <i>Mikhalev A.V., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.</i>	45
CURRENT STATUS OF BNCT FACILITY AT IRT-T RESEARCH REACTOR <i>Molodov P.A., Anikin M.N., Naymushin A.G.</i>	47
RESEARCH OF GENERATION TRESHOLDS AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF RADIATION IN Nd:YAG CERAMIC LASERS WITH DIFFERENT POROSITY IN CONDITIONS OF TRANSVERSE MODES SYNCHRONIZATION AS AN EFFECTIVE METHOD TO ESTIMATE THE CERAMIC POROSITY <i>Polevov K.A., Karpov N.V., Tupitsyn I.M., Koromyslov A.L., Chernushich A.K.</i>	49
INCREASE OF EFFICIENCY OF A VACUUM THERMOIONIC CONVERTER <i>Prihod'ko A.A., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.,</i>	52
CALORIMETRY IF IRON BASED SUPERCONDUCTORS: THEORY AND EXPERIMENT <i>Prishchepa A.R., Sadakov A.V., Muratov A.V., Usoltsev A.S.</i>	54
ROLLING SHUTTER ELIMINATION <i>Rudanov M.V., Voronin V.S., Kostarev V.A., Koshelev Y.S.</i>	56
SPECTRAL CHARACTERISTICS OF Q-SWITCHED CO LASER <i>Sagitova A.M., Ionin A.A., Kinyaevsky I.O., Klimachev Yu.M., Kryuchkov D.S.</i>	58
SPECTRAL-LUMINESCENT PROPERTIES OF BACTERIOCHLORIN AND ALUMINUM PHTHALOCYANINE NANOPARTICLES AS A SURFACE COATING OF OSTEOPLASTIC HYDROXYAPATITE BASED MATERIALS "COLLAPAN" <i>Sharova A.S., Maklygina Yu.S., Loschenov V.B.</i>	60

## СОДЕРЖАНИЕ

INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE PHASE STABILITY AND OXIDATION RESISTANCE OF COATINGS WITH ZIRCONIUM DIOXIDE ON CARBON-CARBON COMPOSITE (CCC)	
<i>Sinitsyn D.Y., Anikin V.N., Chuprunov K.O.</i>	62
OBTAINING THIN FILMS OF GALLIUM NITRIDE BY MOLECULAR BEAM EPITAXY	
<i>Tariverdiyev S. C., Gusev A.S., Kargin N.I., Ryndya S.M.</i>	64
TUBULAR MEMBRANES BASED ON POROUS ANODIC ALUMINA FILMS	
<i>Terleckaya M.A., Vasiliev S.G., Kokatev A.N., Yakovleva N.M.</i>	66
BACKGROUND-FREE, HIGHLY SENSITIVE SURFACE-ENHANCED IR ABSORPTION OF RHODAMINE 6G MOLECULES DEPOSITED ONTO AN ARRAY OF MICROHOLES IN THIN SILVER FILM	
<i>Trang T H Nguyen, Pavel N Danilov, Sergey A Gonchukov, Andrey A Ionin, Roman A Khmel'nitskii, Sergey I Kudryashov, Andrey A Rudenko, Irina N Saraeva and Dmitry A Zayarny</i>	69
METHODS OF RECONSTRUCTION OF MULTIPARTICLE EVENTS IN THE NEW COORDINATE-TRACKING SETUP	
<i>Vorobyev V.S., Zadeba E.A.</i>	71
LEUKOCYTES ALLOCATION ON IMAGES OF BONE MARROW BIOPSY IN ACUTE LEUKEMIA	
<i>Zakharenko Y.V., Polyakov E.V., Nikitaev V.G., Pronichev A.N.</i>	73
DEVELOPMENT OF THE PROGRAM SYSTEM FOR DETECTING GLOMERULOID STRUCTURES ON THE PICTURES OF THE HISTOLOGICAL PREPARATIONS OF THE PROSTATE	
<i>Zavarzin A.A., Rodionova O.V., Pronichev A.N.</i>	75

## **IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность**

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ГЕКСАПОДА	
<i>Анкудинов В.Х., Максимов А.В., Старков С.О.</i>	78



## СОДЕРЖАНИЕ

АППРОКСИМАЦИЯ ЗАПАСА КРИТИЧНОСТИ РЕАКТОРА ВВР-Ц С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	
<i>Беляев И.П., Легчиков Д.К., Старков С.О., Колесов В.В.</i>	80
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АНАЛИЗА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	
<i>Беляев А.И.</i>	82
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПУЛЬТ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ	
<i>Богачев Г.В., Подвысоцкий Р.Г.</i>	84
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СУСПЕНЗИЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ	
<i>Бурмистрова И.В., Ефремова Т.А.</i>	86
КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИНФРАКРАСНЫХ СПЕКТРОВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	
<i>Гачковский Д.А., Скоморохов А.О.</i>	88
ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	
<i>Горбунов А.А., Исаев Е.А., Самодуров В. А.</i>	90
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ	
<i>Горенков Е.С., Скоморохов А.О.</i>	92
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗНАНИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ	
<i>Горкун О.П.</i>	94
МНОГОЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	
<i>Далевич С.Д.</i>	96
ИНТЕРПРЕТАТОР ЯЗЫКА ОПЕРАЦИЙ НАД СЛУЧАЙНЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ	
<i>Дукина А.Е.</i>	98
АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА ВЮЛЫ-ДЖОНСА	
<i>Егоров А.Д.</i>	100

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦВЕТОМ НА ЗРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ЧЕЛОВЕКА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАПОМИНАНИЯ СТИМУЛЬНОГО МАТЕРИАЛА <i>Жучков М.М., Подвысоцкий Р.Г.</i>	102
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ДАННЫХ КАНАЛА К-500 НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ <i>Ильина М.А., Чеблаков П.Б.</i>	105
2D-МОДЕЛИ ТИПОВЫХ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ <i>Климанова Е.В., Максимов А.В., Старков С.О.</i>	107
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСНО-РЕСУРСНОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ <i>Кольшиницына М.А., Исаев Е.А.</i>	110
НЕЧЕТКИЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА FMAVT-FMAA <i>Коробов А.В., Радаев А.В., Филимонова А.С.</i>	112
СИСТЕМА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Лазарева А.И.</i>	114
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ SEMANTIC WEB ДЛЯ РАБОТЫ СО СЛОВАРЁМ ПАРАМЕТРОВ РОСГИДРОМЕТА <i>Масленникова А.В.</i>	116
АНИМАЦИОННАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ УМНОЖИТЕЛЯ НА КОНСТАНТУ <i>Мышев П.И.</i>	119
МОДЕЛИ ПАМЯТИ НА БИНАРНЫХ ПОЛЯХ В ИТ-ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕДАЧИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ <i>Пастушак Р.Л., Мышев А.В.</i>	121
ГИБРИДНЫЙ ДАТЧИК ПРИСУТСТВИЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ <i>Подвысоцкий Р.Г.</i>	123
РАСПОЗНАВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ <i>Рябцева В.В., Скоморохов А.О.</i>	125
МОБИЛЬНАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА В ОБЛАСТИ ХИМИИ <i>Сандул В.В.</i>	127

## СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА БИНАРНЫХ ПОЛЯХ <i>Соловьев О.В., Мышев А.В.</i>	129
РАЗРАБОТКА БЛОКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Степанов П.И., Закураев В.В.</i>	131
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ <i>Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А.</i>	133
АНАЛИЗ ЭЭГ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ <i>Филатов А.А., Скоморохов А.О.</i>	136
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ШИФРОВАНИЯ НА БАЗЕ ПЛИС <i>Цыпунев М.П.</i>	138
РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРЫ КЛИЕНТ-СЕРВЕР <i>Шошин Д.А.</i>	140

### **Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы**

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЁВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ НА ИХ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦНЫЕ СВОЙСТВА <i>Абрамова Е.Н., Хорт А.М., Яковенко А.Г., Сорокин Т.А., Корнилова Д.С., Слипченко Е.А.</i>	143
БИПОЛЯРНЫЙ ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ <i>Аверкина М.И., Тулина Н.А., Россоленко А.Н., Иванов А.А.</i>	145
ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОПОК ВТСП ЛЕНТ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ <i>Анищенко И.В., Покровский С.В., Минеев Н.А.</i>	147

## СОДЕРЖАНИЕ

ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВОГО (АДЗ1) И МЕДНОГО (М1) СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ	
<i>Антоновская В.В., Рзаев Р.А.</i>	149
МОДЕЛЬ КРОНИГА-ПЕННИ ДЛЯ РАСЧЁТА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМ	
<i>Арутинов Н.Э., Шевченко А.И.</i>	151
О ВЛИЯНИИ ГРАНИЦЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ НА ЕЕ КРИТИЧЕСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ	
<i>Безотосный П.И., Гаврилкин С.Ю., Лыков А.Н., Цветков А.Ю.</i>	153
УГЛЕРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СО СЛОЕВОЙ СТРУКТУРОЙ ИЗ АТОМОВ ДВУХ- И ТРЕХКООРДИНИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЯХ	
<i>Беленкова Т.Е., Чернов В.М.</i>	154
ДВУХФОТОННАЯ КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ АТОМОВ ЛИТИЯ	
<i>Бобров А.А., Зеленер Б.Б., Саакян С.А., Саутенков В.А.</i>	156
ИЗЛУЧЕНИЕ СИГНАЛА ПЛАЗМЕННОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ВИБРАТОРНОЙ АНТЕННОЙ	
<i>Богачев Н.Н., Андреев С.Е., Богданкевич И.Л., Гусейн-заде Н.Г., Нефёдов В.И.</i>	157
НОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР В МИКРО- И НАНОАЛМАЗАХ	
<i>Болдырев К.Н.</i>	159
ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ 2D ФРУСТРИРОВАННОГО МАГНЕТИКА $\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$	
<i>Будкин И.В., Климин С.А., Кузнецова Е.С., Бердоносов П.С.</i>	161
ФОНОННЫЙ СПЕКТР НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА $\text{BaGa}_2\text{GeS}_6$	
<i>Будкин И.В., Климин С.А., Маврин Б.Н., Бадиков В.В., Бадиков Д.В.</i>	163
СИНТЕЗ И СТРУКТУРА СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕРАТА БАРИЯ	
<i>Булаева Е. А., Лутицкая Ю. А.</i>	165
ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЕ С НАКАЧКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ЛАЗЕРАМИ	
<i>Бурдукова О.А., Горбунков М.В., Петухов В.А., Семёнов М.А.</i>	166
ФОРМИРОВАНИЕ СУПЕРГАУССОВА ПУЧКА В ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЕ	
<i>Бутаев М.Р., Михеев Л.Д., Ставровский Д.Б., Москалев Т.Ю.</i>	169

## СОДЕРЖАНИЕ

<p>ДРАЙВЕР ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ <i>Важинский О.Т.</i></p>	171
<p>ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ <i>Василенко А.Н.</i></p>	174
<p>КОЭФФИЦИЕНТЫ ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА МЕТАПОВЕРХНО- СТЯМИ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МИКРОСФЕРАМИ, ИЗМЕ- РЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО МИК- РОСКОПА <i>Васильев В.Е., Денисултанов А.Х., Ковров А.Э., Мухин И.С., Захаров В.В., Шалин А.С., Вениаминов А.В.</i></p>	176
<p>ТЕПЛОВЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КВАЗИБИ-НАРНЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ (Lu,Gd)<sub>5</sub>Pd<sub>2</sub> <i>Ваулин А.А., Шишкин Д.А., Шерстобитова Е.А., Губкин А.Ф.</i></p>	178
<p>КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ПОСЛЕ ИН- ТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ <i>Вишератин Р.К., Антошина И.А., Степанов В.А., Хаймович П.А.</i></p>	181
<p>ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА И ДИНАМИКА ВИХРЕЙ В СИСТЕМЕ 11 <i>Власенко В.А., Садаков А.В., Гаврилкин С.Ю.</i></p>	183
<p>РАЗРАБОТКА РАДИОФОТОННОГО ТРАКТА С ПРИМЕНЕНИ- ЕМ ЭРБИЕВОГО ВОЛОКОННОГО УСИЛИТЕЛЯ <i>Волков И.В., Григорьев В.В., Хатырев Н.П.</i></p>	185
<p>ПРЕЦИЗИОННАЯ РЕЗКА ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЕНКИ (Kapton) С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ <i>Ганин Д.В., Лапшин К.Э., Вартапетов С.К.</i></p>	188
<p>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ГА- БАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ <i>Гасилин С.Г., Рзаев Р.А.</i></p>	190
<p>СПЕКТРЫ ФОТОННОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ <i>Глухов И.А., Моисеев С.Г.</i></p>	192
<p>ПЕТРОГРАФИЯ МЕТАЛЛ-СУЛЬФИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТАХ <i>Гонцова С.С., Максимова Е.М., Яковлев Г.А., Петрова Е.В.</i></p>	194

## СОДЕРЖАНИЕ

К ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ПОЗИТРОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРАВАТТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ	
<i>Горлова Д.А., Цымбалов И.Н.</i>	196
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМОРФНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ АЛМАЗА	
<i>Грешняков В.А., Беленков Е.А.</i>	198
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАНТОВЫХ ЯМ, ИЗЛУЧАЮЩИХ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 750-850 НМ	
<i>Григорьев А.А.</i>	200
ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДВУХСЛОЙНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ	
<i>Губарев Владимир Михайлович</i>	202
ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА ОЛИГОМЕРОВ ПРОПЛЕНГЛИКОЛЯ	
<i>Данилов И.В., Громницкая Е.Л., Ляпин А.Г., Поликарпова У.А., Бражкин В.В.</i>	204
РАСЧЕТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДУГОГАШЕНИИ	
<i>Денисов П.А., Некрасов С.А.</i>	206
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ ГЕТЕРОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ ПОСЛЕ ИХ ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ	
<i>Дудова Д.С., Бардакова К.Н., Холхоев Б.Ч., Бурдуковский В.Ф., Минаев Н.В., Тимашиев П.С.</i>	208
АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ОКСИДА ЦИНКА ДО И ПОСЛЕ МОДИФИКАЦИИ В ПЛАЗМЕ	
<i>Дуль М.В.</i>	210
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В $\text{CuV}_2\text{O}_4$ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ	
<i>Ерофеев А.С., Молчанова А.Д., Болдырев К.Н.</i>	212
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРЕВА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЕОНАЦИОННЫЕ МИКРОАЛМАЗЫ	
<i>Закатилова Е.И., Ефремов В.П.</i>	214
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ БОРАТА ЖЕЛЕЗА $\text{FeVO}_3$ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ	
<i>Замковская А.И., Максимова Е.М., Наухацкий И.А.</i>	216

## СОДЕРЖАНИЕ

СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ИЗЛУЧЕНИЯ КРИОГЕННОГО ЩЕЛЕВОГО СО ЛАЗЕРА С ВЧ ВОЗБУЖДЕНИЕМ И МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА	
<i>Земцов Д.С., Ионин А.А., Киняевский И.О., Климачев Ю.М., Козлов А.Ю., Кочетков Ю.В., Селезнев Л.В., Сеницын Д.В.</i>	218
ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ НА БАЗЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ	
<i>Зимовец И.А., Филатов Д.О.</i>	221
ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВКЛАД В ФОТОРЕФРАКТИВНЫЙ ОТКЛИК В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ СРЕЗА (110) ПРИ ПОПУТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕТОВЫХ ВОЛН	
<i>Злобин А.О., Шмидт А.А., Буримов Н.И., Шандаров С.М.</i>	223
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ИНСТРУМЕНТА НА СВАРНОЙ ШОВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ	
<i>Идилов Р.Х., Рзаев Р.А.</i>	225
КОРРЕКТИРОВКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ УСИЛЕНИЯ ЭРБИЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ	
<i>Идрисов Р.Ф.</i>	229
ОСОБЕННОСТЬ ФОСФОРЕСЦЕНЦИИ СЕНСИБИЛИЗАТОРА В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ	
<i>Ишемгулов А.Т., Летута С.Н., Пашкевич С.Н.</i>	231
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА-ЗАДЕРЖКИ МЕЖДУ ПРИХОДОМ ЗАПУСКАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ (ФОТОЭЛЕКТРОННОГО РЕГИСТРАТОРА) ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ И НАЧАЛОМ ЛИНЕЙНОЙ РАЗВЁРТКИ	
<i>Калинников А.И., Аббасов Т.С., Саакян А.Т., Стародуб А.Н., Фахриев Б.Р., Якушев О.Ф.</i>	232
ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР TI	
<i>Камынина Д.А., Казакевич В.С., Казакевич П.В., Яресько П.С.</i>	233
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ В АЛЮМОХРОМФОСФАТНОМ СВЯЗУЮЩЕМ	
<i>Клемазов К.В.</i>	235

## СОДЕРЖАНИЕ

ШТАРКОВСКИЕ УРОВНИ ИОНА $Nd^{3+}$ В НОВОМ КРИСТАЛЛЕ ИЗ СЕМЕЙСТВА ЛАНГАСИТА $Nd_3CrGe_3Ve_2O_{14}$ <i>Климин С.А., Попова М.Н., Милль Б.В.</i>	237
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР С ВИХРЕВЫМ СОСТОЯНИЕМ НАМАГНИЧЕННОСТИ <i>Климин Ю.А., Никитин П.И.</i>	239
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МОЛНИЯХ <i>Кожанов А.А., Орищенко А.В.</i>	241
САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ МАГНИТНЫХ СКРИМИОНОВ В НАНОДИСКАХ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИЯ <i>Колесников А.Г., Самардак А.С., Стеблій М.Е., Огнев А.В., Чеботкевич Л.А., Садовников А.В., Никитов С.А.</i>	243
ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ В ГАЗО-РАЗРЯДНОЙ КАМЕРЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ИОННОГО ИСТОЧНИКА <i>Коротков С.В., Панасенков А.А.</i>	245
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЩЕЛЕВОГО СОЛАЗЕРА С МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА В НЕЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛЕ $ZnGeP_2$ <i>Кочетков Ю.В., Земцов Д.С., Ионин А.А., Киняевский И.О., Климачев Ю.М., Козлов А.Ю., Селезнев Л.В., Синицын Д.В.</i>	247
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЦТН <i>Кочнева А.В., Малкина К.А., Зубова Н.Г.</i>	249
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВ К ЦИЛИНДРУ ФАРАДЕЯ МЕТОДОМ ЧАСТИЦ В ЯЧЕЙКАХ <i>Крайнов П.В., Астахов Д.И.</i>	251
ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА <i>Кузнецова Е.В., Яббарова Д.Р., Носков А.И.</i>	253
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДВОЙНЫХ БОРАТОВ $RGa_3(VO_3)_4$ , $R=Nd, Er, Ho, Sm, Dy$ <i>Кузьмин Н.Н., Болдырев К.Н.</i>	255



## СОДЕРЖАНИЕ

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСА ОТДАЧИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА <i>Лакатош Б.В., Абраменко Д.Б., Медведев В.В., Иванов В.В., Кривуцун В.М.</i>	257
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В СЛОЖНЫХ ОКСИДАХ $LN_2R_2O_7$ ( $LN = ND, EU$ ; $R=HF, ZR$ ) <i>Майорова Е.В., Гайнанов Б.Р., Менушенков А.П., Попов В.В., Светогоров Р.Д.</i>	259
ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИАЛИНОВОГО ХРЯЩА С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ <i>Маркова М.Д., Тимченко П.Е., Волова Л.Т., Долгушкин Д.А., Тюмченкова А.С., Ягофарова Е.Ф.</i>	261
КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ <i>Маркушин М.А., Колтаков В.А.</i>	263
СИНТЕЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР « $\beta$ -SiC – АЛМАЗ» В СВЧ ПЛАЗМЕ В СМЕСЯХ $CH_4$ - $H_2$ - $SiH_4$ <i>Мартынов А.К., Седов В.С., Ральченко В.Г., Хомич А.А.</i>	266
РАМАНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ ГЕТЕРОМЕРНЫХ КЛАСТЕРОВ СЕРЕБРЯНЫХ МИКРОПЛЕНОК ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ <i>Матвеева К.И., Зюбин А.Ю., Слежкин В.А., Константинова Е.И., Брюханов В.В.</i>	268
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА <i>Мезенин Е.И.</i>	270
ДИФфуЗНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ В ФуЛЛЕРЕНОВЫХ КРИСТАЛЛАХ <i>Милов С.В., Шахматов В.С.</i>	272
ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ИСТОЧНИКЕ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Мишунин М.В., Иващук О.О., Кленин А.А., Кубанкин А.С., Олейник А.Н., Чепурнов А.С., Щагин А.В.</i>	273

## СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ И ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Мухаметхафизова Л.С., Атрощенко И.Г., Никулина О.В., Степанов П.А., Строева О.А</i>	274
ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА (АД33) И СТАЛИ (12ГС) С ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ <i>Немченко А.Е., Рзаев Р.А.</i>	276
ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА <i>Никифоров С.Д., Чайков Л.Л., Чириков С.Н., Шкирин А.В.</i>	278
ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО (АД31) И ТИТАНОВОГО (ВТ1) СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ <i>Нугманов Р.Р., Рзаев Р.А.</i>	280
ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДРЕЙФА РАБОЧЕЙ ТОЧКИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА <i>Петров М.Ю., Грибова В.В., Каменев О.Т.</i>	282
УПРУГИЕ ВОЛНЫ В ГРАФЕНЕ <i>Подгорная А.В., Шульга Д.В.</i>	284
РАЗВИТИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ <i>Попова А.В., Гончарова П.С., Криштон В.В.</i>	287
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИМЕРА И ТРИМЕРА СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ЕДИНИЦЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ УГЛЯ <i>Порохнов А.Н.</i>	289
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ $C_3N_5N_3O_4$ И TNDP <i>Празян Т.Л., Журавлев Ю.Н.</i>	291
ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И СКОРОСТИ ДЕГРАДАЦИИ НАНОПОРИСТЫХ SiOCH LOW-K МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВУФ ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ 140-160 НМ <i>Рахлинский В.В., Лопаев Д.В.</i>	293

## СОДЕРЖАНИЕ

<p>АВ ИНИТЮ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОННОГО СПЕКТРА КРИСТАЛЛОВ <math>V_{12}P_2</math></p> <p><i>Решетняк В.В., Маврин Б.Н., Медведев В.В.</i></p> <p>РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СИНТЕЗА НАНОСТРУКТУР И ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</p> <p><i>Салихов Р.В., Яббарова Д.Р., руководитель: д.ф.-м.н., Нагулин К.Ю.</i></p> <p>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ СИГНАЛОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ</p> <p><i>Сединкин Д.О., Петров Д.В., Зарипов А.Р.</i></p> <p>ПОДАВЛЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НЕЙТРОННОЙ ТРУБКИ</p> <p><i>Степанов Д.С., Агафонов А.В., Школьников Э.Я.</i></p> <p>ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ СТОЙКОСТИ ГРАДИЕНТНО АКТИВИРОВАННОГО КРИСТАЛЛА С ДВОЙНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ <math>LiNbO_3:Mg,Cr</math></p> <p><i>Судариков К.В., Рассейкин Д.А., Строганова Е.В., Галуцкий В.В.</i></p> <p>СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ <math>TbNi_{2-x}Mn_xSi_2</math></p> <p><i>Суслопарова А.Е., Герасимов Е.Г., Волегов А.С., Сёмкин М.А., Пирогов А.Н.</i></p> <p>ГИБРИДНЫЕ <math>SP^2+SP^3</math> УГЛЕРОДНЫЕ ФАЗЫ, ПОЛУЧАЮЩИЕСЯ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОДНОСЛОЙНЫХ НАНОТРУБОК</p> <p><i>Тиньгаев М.И., Беленков Е.А.</i></p> <p>МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРОНОЙ РЕЛАКСАЦИИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА</p> <p><i>Ткачев В.В., Ильин Н. В., Цесарская А.К., Крайнова Г.С., Плотников В.С., Фролов А.М., Должиков С.В., Федорец А. Н.</i></p> <p>МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ГРАДИЕНТНО АКТИВИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ <math>YAG:Yb^{3+}</math></p> <p><i>Ткачев Д.С., Строганова Е.В., Галуцкий В.В.</i></p> <p>ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННОМ АЛЮМИНИЕМ КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА</p> <p><i>Токмашев Т.Д., Дю В.Г., Соколов Д.В., Пашелов С.Г.</i></p>	<p>295</p> <p>297</p> <p>300</p> <p>302</p> <p>304</p> <p>306</p> <p>308</p> <p>310</p> <p>312</p> <p>314</p>
---	---

## СОДЕРЖАНИЕ

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ПО КОМПОНЕНТАМ ВОЛНОВОГО ВЕКТОРА В РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ	
<i>Филиппов Д.И., Гордиенко А.Б.</i>	316
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МДП-СЕНСОРОВ К ПАРАМ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА И ТЕТРАОКСИДА АЗОТА	
<i>Филипчук Д.В., Литвинов А.В., Этрекова М.О., Ноздря Д.А.</i>	318
МНОГОСЛОЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОНТРАСТНЫЕ ФИЛЬТРЫ СО СЛОЖНЫМ СПЕКТРОМ ПРОПУСКАНИЯ	
<i>Фурминский А.А., Брик Е.Б., Кучерявый С.И., Ермаков С.В.</i>	320
СО <sub>2</sub> - ЛАЗЕР С АКТИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД ИЛИ МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА	
<i>Хафизов И.Ж., Ионин А.А., Киняевский И.О., Климачев Ю.М., Козлов А.Ю., Котков А.А., Степанищев В.В.</i>	322
СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ LiYF <sub>4</sub> :Ho В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	
<i>Чикунова Г.П., Болдырев К.Н., Попова М.Н.</i>	324
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА VIII ФАЗЫ ЛЬДА	
<i>Шайкомалова Е.С.</i>	326
СТРУКТУРА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ L <sub>4-8</sub> , L <sub>5-7</sub> , L <sub>3-12</sub> и L <sub>4-6-12</sub>	
<i>Шаповалова К.Э., Беленков Е.А.</i>	328
ВЛИЯНИЕ МАГНИТО-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА УДЕЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ АНСАМБЛЕМ КЛАСТЕРОВ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ	
<i>Шершнев Р.В., Ермаков С.В., Усов Н.А.</i>	330
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СКАНДАТНЫХ КАТОДОВ СВЧ-ПРИБОРОВ	
<i>Шуманов А.В., Капустин В.И., Ли И.П.</i>	332
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ DMLD ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6	
<i>Щекин А.С., Сергеев К.Л., Ишкиняев Э.Д., Быковский Д.П., Петровский В.Н., Осинцев А.В.</i>	334
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Яббарова Д.Р., Кузнецова Е.В., Носков А.И., Салихов Р.В.</i>	336

## СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОРОДНОГО ПУЧКА В МОЩНОМ ИНЖЕКТОРЕ <i>Яриков С.А., Панасенков А.А.</i>	338
ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ГЕНЕРИРУЕМОГО ПЛАЗМЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ <i>Бакеев И.Ю., Зенин А.А.</i>	296А
ИЗНОСОСТОЙКАЯ ВЫСОКОЧИСТАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ <i>Кузьмина О.В., Алексеев М.К., Бизин И.Н., Горчакова Л.И., Куликова Г.И., Саванина Н.Н., Шер Н.Е.</i>	296В
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	340

## **Доклады на английском языке**

**PHOTOPROCESSES DYNAMICS IN NANOSTRUCTURED MEDIA*****Baratova A.A.<sup>1</sup>, Baktybekov K.S.<sup>2</sup>***<sup>1</sup>*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana*<sup>2</sup>*U.M. Sultangazin Eurasian National University, Astana  
+ 7 701 829 88 32, aa.baratova@yandex.kz*

The correlated pairs fade away and spatially distributed structures form in the systems, in which annihilation processes have a place [1]. Efficiency of these processes on a porous surface depends on its structural characteristics (pore size, degree of heterogeneity). Convenient way for gathering of information about modification of reagent distribution and cluster formation is a registration of delayed fluorescence, which is accompanied by triplet excitation annihilation at the different temperatures or ratio of reagent concentrations. Investigation of luminescence decay kinetics of aromatic hydrocarbon anthracene, which is measured by making use of the laser photolysis plant [2]. Annihilation delayed fluorescence (ADF) of reagents became excited by second harmonic of laser IAG:Nd<sup>3+</sup> ( $\lambda=532$  nm,  $\tau_{0,5}=10$  ns, pulse energy  $\sim 50$  mJ) and were registered with time resolution 300 ns at wave-lengths 570 nm and 410 nm. Luminescence measurements are performed in vacuum-processed dish at the temperature range 153-293 K. Molecules of dye (rose bengal) and aromatic hydrocarbon are sorbed on the wide-porous silica dioxide (pore radius equals 40 nm). Anthracene concentration in the solution is changed from  $C=5 \cdot 10^{-5}$  mol/l to  $C=10^{-4}$  mol/l, dye concentration is  $5 \cdot 10^{-5}$  mol/l. The analysis of experimental kinetic curves decay ADF dye rose bengal showed that the decay rate of ADF increases with increasing temperature from 173 to 273 K (Fig. 1). The deviation from the general pattern of decay kinetics ADF observed at temperatures of 173 K - 193 K experiment revealed that the character is a non-exponential kinetic curves.

Experimental kinetic dependences are compared to computer modeling results of hetero-annihilation processes in the systems, which have multifractal distribution of reagents on a surface [3]. The degree of order, which is a criterion of structure self-organization and allows to determine degree of structure symmetry breakdown, is used for the de-

Доклады на английском языке

scription of reagent distribution on a surface. The degree of matrix microscopic heterogeneity is determined by parameter  $\Delta$ . It relates with topology of space, in which annihilation processes have a place that leads to formation and growth of interstitial molecule clusters and exerts influence on kinetics of processes.

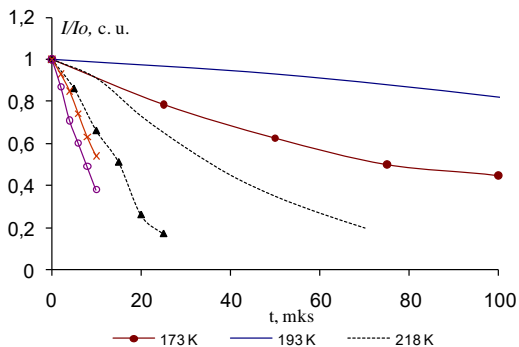


Fig.1. Experimental kinetic curves for ADF of rose Bengal on the surface of  $\text{SiO}_2$

Degree of order dependence on the temperature has the same nature as dependences of quenching sphere radius on the matrix temperature.

Thus on basis of investigation it is established the fact that one can estimate the heterogeneity degree of the matrix and influence of reagent molecule distribution on kinetics of annihilation processes on a surface by making use of the computer modeling.

### References

1. Ch. B. Lushchik, A.Ch. Lushchik. Decay of Electron Excitations with Defect Formation in Solids (M: Nauka, 1989).
2. K.S. Baktybekov, S.G. Karstina, E.N. Vertyagina. Modeling of Radiation Defects Evolution in Regular Structures by Cellular Automata Method. Eurasian Physical Technical Journal. Vol.1. Issue 1. P.19-23 (2004).
3. B.M. Smirnov Fractal Clusters Physics (M: Nauka, 1991).



## INVESTIGATION OF THE PHASE COMPOSITION OF CARBON MATERIALS

***Batiashvili L.A., Maksimova E.M., Nauhatsky I.A.***

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol  
+79788492276, laliko2208@gmail.com*

Currently, fullerenes are one of the most popular products of nanotechnology. They are widely used for production of composite materials, polymer coatings, diamond films, medicines.

The main purpose of this work is the detection of the fullerite phase in a high-temperature carbonaceous material, which are precursor for the production of C<sub>60</sub> fullerene, by X-ray diffraction method.

The study of structure were on a diffractometer with Bragg-Brentano focusing was used a copper monochromatic radiation Cu K $\alpha$ . Primary and reflected beams are limited by slits: horizontal - 0,25 mm, vertical - 6 mm., Soler's slits - 0,5 mm. The sample was rotated in its own plane at a speed of 120 rpm. The investigations of phases were carried out in the angular range 2 $\theta$  from 10 to 40°.

The interplanar distances d/n were calculated according to the Bragg's formula:

$$d/n = \sin \theta / 2\lambda \quad (1)$$

when d – interplanar distance,

$\theta$  – angle of the location of the diffraction peak,

n – order of reflection,

$\lambda$  – the X-ray wavelength.

The phase identification was carried out using a diffractometric base [1].

In the diffraction pattern of a fullerene-containing high-temperature sample (№1), there is a series of characteristic peaks of C<sub>60</sub> (C<sub>60</sub> fullerenes in a condensed state form a molecular crystal- fullerite [2]), as well as a series of peaks from other crystalline phases. A sample (№2) was obtained from the initial sample by the separation method. Analysis of its diffractogram (Fig. 1) shows that the separated sample is a single-phase sample of fullerite having a cubic face-centered lattice - with a unit cell parameter a = 1,413±0,003 nm.

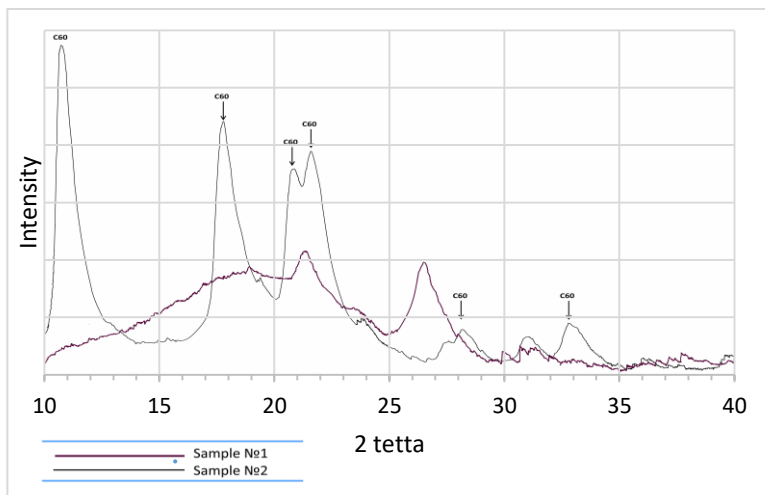


Fig.1. Diffractograms of a fullerene-containing high-temperature samples: (sample №1) and fullerite (sample №2)

1. Crystallography Open Database // <http://www.crystallography.net/>
2. E.A. Nikitina. X-ray research and computer simulation carbon materials (Plasma: Petrozavodsk. 2003).

## **CALCULATION OF CORRECTION COEFFICIENTS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE TRACKS IN THE DRIFT CHAMBERS**

***Buzin S.G.<sup>1</sup>, Zadeba E.A.*<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>National Research Nuclear University MEPhI*

*Phone number: 8(968)489-00-34, e-mail: s.g.buzin@gmail.com*

The large-scale coordinate-tracking detector based on the multi-wire drift chambers from the neutrino experiment at the IHEP U-70 accelerator is being developed in MEPhI [1,2]. The drift chamber has a large drift gap (250mm), big active area (1.85m<sup>2</sup>) and high coordinate and resolution with just 4 measuring channels.

The quality of the reconstruction crucially depends on the correct discrimination of the points from that electrons came to signal wires. Their placement depends on the angle of the particle track (fig.1.). The shortest way of electron (at large zenith angles) is  $\xi$  not a  $X_i$ . The Garfield simulation environment was used to find correction coefficients to find a shift between measured point of ionization and its real place. The Garfield program was developed in CERN for modeling processes in gas-filled detectors. The design of the chamber was set and muons at different angles were launched into it. From electron time distributions depending of a track angle into the chamber correction coefficients were counted. This coefficients were used in the research of drift chambers at the test bench based in the wide-aperture hodoscope URAGAN [2]. From this experiment more complicated coefficients were derived, they take into account the displacement of the signal wires, that happened on the stage of a chamber production. The talk highlights the results of the drift chamber simulation in Garfield and their application for the improving results of testing of drift chambers at URAGAN hodoscope, new correction coefficients for signal wire placement are described.

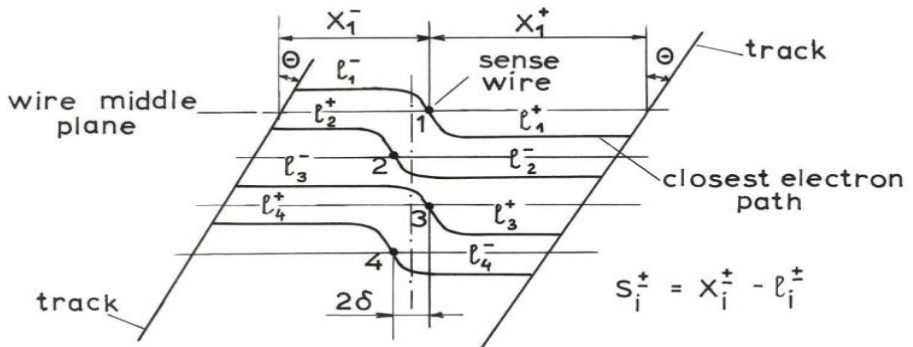


Fig.1. Scheme of the shortest way of electron.

### Literature

1. E.A. Zadeba et al., The coordinate-tracking detector based on the drift chambers for ultrahigh-energy cosmic ray investigations. Journal of Instrumentation 9 (2014) C08018.
2. N.I. Bozhko et al., Drift chamber for the Serpukhov neutrino detector. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 243 (1986) 388.

## **STUDY OF DIELECTRIC PERMITTIVITY OF BIOLOGICAL SOLUTIONS IN THE GHZ REGION BY ELECTROMAGNETIC WAVES**

***Demin A.S.<sup>1</sup>, Pavlov N.D.<sup>2</sup>, Novoselsky D.V.<sup>2</sup>, Baloshin Yu. A.<sup>2</sup>,  
Damdinov B. B.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Buryat State University, Ulan-Ude*

<sup>2</sup> *University ITMO, Saint-Petersburg*

*+83012213804, tonydomi@mail.ru*

At present, the study of the electromagnetic properties of various fluids attracts the attention of researchers in the field of nanophotonics, metamaterials, chemistry, biophysics, and medicine. In medicine, this problem is related to the development of various kinds of sensors, which allow getting real-time information about the state of the object.

This possibility is based on the interaction of the electromagnetic field of the sensor with the object. Obviously, to solve such a problem, it is first necessary to know the electromagnetic characteristics of various biological tissues of a person. As a characteristic, dielectric permittivity is selected [1]. This work is devoted to the study of the dielectric constant of water, solutions of salts in water, as well as a three-component solution (glucose + physiological solution) in the frequency range from several hundred MHz to tens of GHz. The choice of studied media is dictated by the fact that the composition of various tissues contains a lot of water and saline solutions. As for glucose in saline, this solution can be considered as a model fluid in the first approximation.

Our study of the transmittance spectra of a solution and blood serum of a conventionally healthy donor to some extent confirms this statement. The choice of range is due to the fact that the electromagnetic field at this frequency is able to penetrate to a sufficient depth in the body tissues. The experimental part (Fig.1) of the near-field method, based on the measurement of impedance, based on the analysis of the vector analyzer from Rohde & Schwarz [2]. As a result of the experiments, dispersion dependences were obtained for water (control), physiological and chemical solutions of NaCl, and for a model liquid with different glucose concentrations in it at a temperature about 36 ° C.

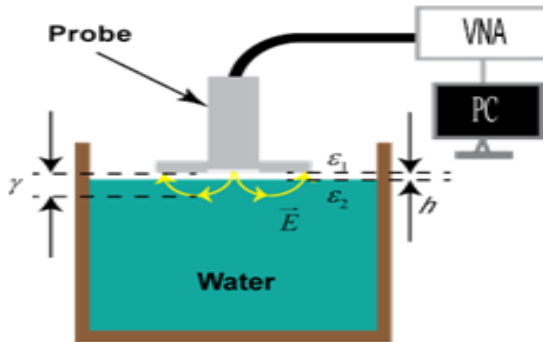


Figure 1. Experimental setup

Further, an empirical Cole-Cole model of dispersion relations was considered [3]. The values of the model parameters were obtained using a numerical algorithm. For further refinement, an iterative optimization method was created, in which the error function has a minimum norm. Optimization was carried out for frequencies from 2 to 6 GHz, since in this frequency domain an extreme value is assumed. In addition, for this range, the loss tangent assumes a minimum value, which facilitates the penetration of the electromagnetic field on a depth sufficient for qualitative analysis into biological tissue. As a result of the work, a dispersion model of glucose and NaCl solutions was obtained, which in future should serve as a theoretical basis for the creation and testing of a near-field sensor used for diagnostic purposes.

Supported by RFBR grant 15-02-08204.

#### Literature

1. M.Hofmann, G.Fischer, R. Weigel, R. Weigel, D. Kissinger. Microwave—Based Noninvasive Concentration Measurements for Biomedical Applications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2013

2. A.M.Nicolson, G.F.Ross. Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. IEEE, Trans. Instrum. Meas., vol.19, pp.377—382, 1970.

3. K.S.Cole, R.H.Cole. Dispersion and absorption in dielectrics. Journal of Chemical Physics 10, p.98—105, 1948.

## RESISTIVITY OF CONDUCTIVE PATHS ON DIAMOND SURFACE CREATED BY NANO- AND FEMTOSECOND LASERS

***Dezhkina M.A.<sup>1</sup>, Komlenok M.S.<sup>1,2</sup>, Khomich A.A.<sup>3</sup>, Popovich A.F.<sup>1</sup>,  
Kononenko V.V.<sup>1,2</sup>, Konov V.I.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow*

<sup>2</sup> *A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS, Moscow*

<sup>3</sup> *V.A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, Fryazino  
Moscow region*

*+7(985)127-05-23, m.a.dezhkina@gmail.com*

Interaction of laser radiation with surface and bulk of the diamond leads to the formation of graphitic structures. As a result, we have a composite graphite-diamond material that combines different electrical and optical properties. Laser-induced graphitization of diamond is used for fabrication of new photonic [1] and electronic elements [2], e.g., three-dimensional diamond detectors [3]. Until now nanosecond laser sources are preferred for making conductive lines on the diamond surface while femtosecond lasers are commonly used for making conductive paths in the bulk. The aim of this work is to define the influence of parameters of different laser sources on the resistivity of graphitized structures on the diamond surface.

Graphitized lines were created on the surface of the polycrystalline diamond by means of the excimer KrF-laser (CL 7100,  $\tau = 20$  ns,  $\lambda = 248$  nm) and the Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-laser ( $\tau = 120$  fs,  $\lambda = 400$  nm). The resistivity of conductive paths was measured by the two-probe method (ASEC-03).

As a result, it was found that conductivity of the graphitized lines depends on the fluence and the number of pulses per point in the case of femtosecond laser irradiation. At the same time resistivity of graphitic material on the diamond surface does not depend on parameters of radiation of nanosecond pulse laser source. Table 1 illustrates the results of measurements of the resistivity for different lasers. Also it was found that cracks were formed on the surface of the sample, and conductivity of these structures disappeared in the case of the femtosecond laser in multi-pulse mode (200 pulses per point) and with the fluence of 1,4 J/cm<sup>2</sup>. Typical cracks are illustrated in Figure 1.

Table 1. The resistivity of graphitized conductive lines

Laser source	Pulses per point	Energy density, J/cm <sup>2</sup>	Resistivity, mΩ·cm
$\lambda = 248 \text{ nm};$ $\tau = 20 \text{ ns}$	1 ÷ 30	10 ÷ 40	1.4 ÷ 2.1
$\lambda = 400 \text{ nm};$ $\tau = 120 \text{ fs}$	1	11 ÷ 80	6.7 ÷ 3.4
	1; 4	80	3.4; 500
	200	1,4	-

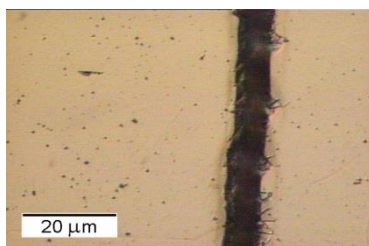


Figure 1. Cracks on the surface of the sample

The minimal resistivity values of graphitized lines that were fabricated by femtosecond and nanosecond lasers are of the same order: 3.4 and 1.4 mΩ·cm, respectively. Thus it is demonstrated that laser radiation with femtosecond pulse duration in one-pulse mode with energy density 80 J/cm<sup>2</sup> can be used for the surface graphitization of diamond as well as nanosecond laser radiation.

M.S.K. acknowledges funding from RFBR grant 16-32-60179.

References:

1. Konov V.I. Carbon photonics // *Quantum Electron.* 2015. Vol. 45, № 11. P. 1043–1049.
2. Konov V.I. Laser in micro and nanoprocessing of diamond materials // *Laser Photonics Rev.* 2012. Vol. 6, № 6. P. 739–766.
3. Lagomarsino S. et al. Three-dimensional diamond detectors: Charge collection efficiency of graphitic electrodes // *Appl. Phys. Lett.* 2013. Vol. 103, № 23.



**TERMIONIC CONVERTER WITH  
INCREASED EFFECTIVENESS**

**Dzugkoeva E.M., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.**

*INPE NRNU MEPhI, Obninsk  
+79208954530, d.e.m-96@mail.ru*

Since the discovery of the thermionic effect, scientific research has been aimed at creating a thermionic converter (TEC) with technical and economic characteristics allowing its cost-effective use in power generating units and installations. The TECs developed by now are operating in the energy regime. In the interelectrode space they contain a low-temperature cesium plasma that neutralizes the space charge of the emitted electrons. The voltage losses on the arc (arc losses in low-temperature cesium plasma) amount to about 0.5 V, the maximum achievable efficiency - 15-17% [1].

The purpose of the presented work is to show the possibility of further increase in TEC efficiency by reducing arc losses which could be achieved by means of changing physical conditions in the interelectrode gap.

To achieve this goal, it is proposed to make the electrodes of TEC permeable (for example, in the form of gratings) and to arrange transverse pumping of cesium vapor in the interelectrode gap (IEG) in the direction from the cathode to the anode. With this realization of the process, the temperature distribution profile of cesium atoms and ions in the IEG varies from an almost linear (heat transfer is provided by thermal conductivity) to a convex (when flow velocity tends to infinity) as a result of the appearance of a convective component of heat transfer (See Figure 1). Due to the low operating pressures of the cesium vapor (1-2 mm Hg) the total convection contribution to heat transfer remains extremely insignificant. On the other hand, the conductivity of an equilibrium low-temperature cesium plasma is expressed by the law of 3/2 [2]:

$$\sigma \approx A \cdot T^{3/2} \quad (1)$$

where A – coefficient of proportionality,  
T – equilibrium temperature.

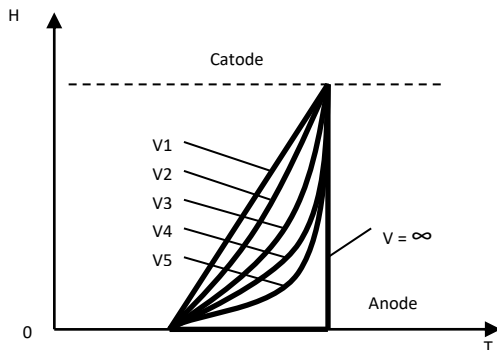


Figure 1. Temperature profile in cesium plasma as a function of the cesium vapor transverse velocity ( $v_5 > v_4 > v_3 > v_2 > v_1$ )

Consequently, as the mean temperature in the IEG rises, the total resistance of the plasma layer in the IEG decreases due to an increase in the fullness of the temperature profile caused by transverse mass transfer. At operating temperatures of 1600/800 K on TEC electrodes, the maximum drop in resistance on the plasma layer in the IEG is twofold, and the corresponding increase in the efficiency of thermionic energy conversion is up to 25%.

#### Literature

1. Zhrebtsov V.A., Kasikov I.I. Limiting characteristics of the thermionic energy converter. - Atomic energy, vol. 110, c. 1, p.12-16 (2010).
2. Ryzer Yu. P., Fundamentals of modern physics of gas-discharge processes, M., 1980.

## EVALUATION OF HEALING SKIN GRAFTS WITH USING ALUMINUM PHTHALOCYANINE NANOPARTICLES AND INDOCYANINE GREEN BY LASER SPECTROSCOPIC METHODS

**Farrakhova D.S.<sup>1</sup>, Makarov V.I.<sup>2</sup>, Grachev P.V.<sup>2</sup>, Ryabova A.V.<sup>1,2</sup>,  
Loschenov V.B.<sup>1,2</sup>**

*National research nuclear university «МЭФТИ», Moscow, Russia.*

*<sup>2</sup> Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.*

tel.: +7-968-587-52-75, e-mail: farrakhova.dina@mail.ru

The evaluation of blood flow condition and lymph state with using luminophor gives wide understanding of the healing process stages. The use of aluminum phthalocyanine nanoparticles (nAlPc, molecular form authorized for clinical applications) allows to determine non-invasively the skin physiological condition and evaluate the degree and rate of engraftment or rejection of skin grafts by measuring and analyzing the spectral data in the monitoring mode via low-intensity lasers. nAlPc colloidal solution were added under the right graft «B» for cross skin transplantation of the mice's back (Fig.1a), which does not fluoresce, but getting into biological inflamed tissue, AlPc molecules acquire fluorescence properties due to high concentration of macrophages [1].

The formation of new vascular and lymphatic networks within the skin graft tissue is a prerequisite for successful engraftment. The use of phosphors, such as indocyanine green (ICG), allows to record the fluorescence images of the vascular and capillary networks to follow the skin grafts healing process. ICG absorption maximum is observed in the near infrared spectral range ( $\lambda = 805$  nm), which corresponds to a tissue transparency window, and allows to record the luminescence ( $\lambda = 835$  nm) in the deeper tissue layers. The instrument complex for visualize the images, which consists of a highly sensitive video camera, an optical filter and the source of laser radiation ( $\lambda = 785$  nm), was used for fluorescence visualization in real time.

In the fluorescent image (Fig.1b) the contrast is observed between the healthy skin areas and grafts, which is not observed after two

Доклады на английском языке

months (Fig.1c), this can attest about new vasculature formation within grafts tissue.

The nAIPc fluorescence intensity in skin graft increases after cross skin transplantation, that fact indicates the occurrence of an inflammatory reaction in the tissue graft (Fig.1d).

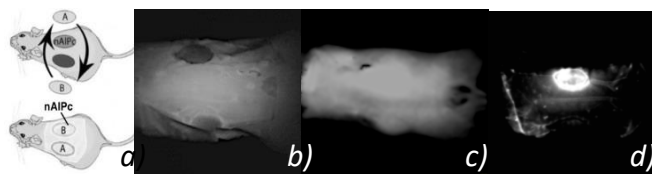


Fig.1. a) Cross skin transplantation scheme (A-control graft, B-graft with nAIPc), b) ICG fluorescence image in circulatory system of mice after 7 days of cross skin transplantation, c) ICG fluorescence image in circulatory system of mice after 2 month of cross skin transplantation, d) ICG fluorescence image in skin graft of mice after 7 days of cross skin transplantation.

The ICG phosphor intravenous injection allows to determine the rate of germination of new blood vessels and capillaries in engraftment tissue. Besides, nAIPc local application studies under the skin graft showed that the intensity of inflammatory reactions in tissues correlated with nAIPc fluorescence intensity that allows to evaluating the lymph flow state.

#### Reference

1. R. Steiner, Breymayer J., Ruck A., Loshchenov V., Ryabova A. Crystalline organic nanoparticles for diagnosis and PDT. // Optical Methods for Tumor Treatment and Detection: Mechanisms and Techniques in Photodynamic Therapy XXIV. Vol. 9308. 2015. № 93080R.

**SIMULATION OF A SCINTILLATOR TILE WITH DIRECT  
READOUT IN THE G4 FRAMEWORK*****Korpachev S.S.<sup>1</sup>, Chadeeva M.V.<sup>1,2</sup>***<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering  
Physics Institute), Kashirskoe highway 31, Moscow, 115409, Russia*<sup>2</sup> *P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,  
53 Leninskiy Prospekt, 119991, Moscow, Russia  
+79629969337, segakpk@rambler.ru*

The highly granular calorimeters represent a new concept in the detector design for both high energy physics and other applications. This concept was developed for the detector system of the future linear collider experiments with the aim to apply the particle flow approach and achieve an unprecedented jet energy resolution. The highly granular calorimeter prototypes developed by the CALICE collaboration were intensively tested during several test beam campaigns and the proof-of-principle for such systems has been successfully demonstrated. Though the highly granular design of the calorimeter system provides an opportunity to perform a sophisticated analysis and improve resolution, it also poses new challenges as for the construction and calibration of the detector system is concerned. The baseline design of the ILD detector for the ILC project considers the scintillator tiles readout by silicon photomultipliers (SiPM) as the main option for the hadron calorimeter. Very high longitudinal and transverse segmentation of the highly granular hadron calorimeter means that the number of channels, i.e. scintillator tiles with individual readout, will be  $\sim 10$  millions. For this reason, the design of the tile is preferred, which simplifies the mass production and assembly processes.

In the first prototype of the CALICE analogue hadron calorimeter assembled from the scintillator tiles with SiPM readout [1], the wavelength shifting (WLS) fiber was used to collect the scintillation light and deliver it to the SiPM in each tile. The coupling of the SiPM to the fiber provides an appropriate uniformity of response though the transverse size of the tile ( $3 \times 3$  cm<sup>2</sup> in the central part of the calorimeter) is much larger than the SiPM window ( $\sim 1 \times 1$  mm<sup>2</sup>). The direct readout concept without WLS fiber was investigated and tested in refs. [2, 3, 4, 5]. Such

an approach requires a more complicated shape of the tile surface to achieve uniformity comparable to that of the tile with WLS fiber.

In this study, the simulation of response to a minimum ionising particle (MIP) of the scintillator tile directly readout by SiPM was performed using the Geant4 package. The experimental setup and conditions used in the experimental study from ref. [5] were reproduced and the results of simulations were confronted with the experimental data to adjust the model parameters. An example of the event display of the study is shown in figure 1.

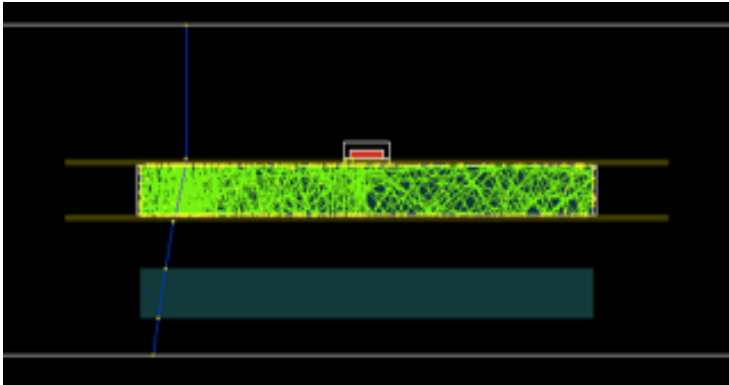


Figure 1. Visualization of the event simulated for the flat tile configuration in Geant4. The blue line shows the track of  $\beta$ -particle, the light green lines are the tracks of optical photons, the red box is a schematic view of the SiPM. The bottom dark green box is the trigger tile. The mylar mirrors are shown with the thick brown lines.

#### References

1. Adloff C. et al. [CALICE collaboration] 2010 JINST 5 P05004 (arXiv:1003.2662 [physics.ins-det]).
2. Simon F. and Soldner C. 2010 Nucl. Instrum. Meth. A 620 196 (arXiv:1001.4665 [physics.ins-det]).
3. Blazey G. et al. 2009 Nucl. Instrum. Meth. A 605 277-81.
4. Abu-Ajamieh F. et al. 2011 Nucl. Instrum. Meth. A 659 348-54.
5. Bobchenko B. et al. 2015 Nucl. Instrum. Meth. A 787 166-8.

## **FRENKEL PAIRS SEPARATION, FORMED IN SILICON AS A RESULT OF IONIZING PARTICLES IRRADIATION**

***Kovalenko M.S., Bogatov N.M.***

*Kuban State University, Krasnodar  
89184694954, physinf@phys.kubsu.ru*

Silicon electronics are used in conditions of increased exposure to ionizing radiation. Radiation defects formation affects parameters of electronic devices. Also, it is one of the reasons of silicon electronics parameters degradation in irradiation conditions. Radiation defects in silicon have electrical and recombinational activity. Increasing radiation defects concentration changes the concentration and the lifetime of electrons and holes. As a result it is changing electrical characteristics of n-p-junctions during device operation. Thus the study of the radiation defects formation is the actual problem of semiconductor physics and technology. Depending on the mechanism of formation distinguish simple, primary and secondary radiation defects. The interaction of crystalline silicon lattice and ionizing radiation forms simple defects: separated or bonded Frenkel pairs. These defects consist of vacancy V and self-interstitial silicon SiI.

The objective of this paper is the analysis of the Frenkel pairs separation process formed in silicon by irradiation of ionizing particles.

The model of Frenkel pairs formation and separation during irradiation of silicon was created. It bases on the known experimental and theoretical data [1]. The probability of Frenkel pair separation is calculated taking into account the neutral and charged states of the pair. The dependence of the separation probability on the temperature and the position of the Fermi level F in the band gap was calculated. It is shown that the probability of Frenkel pairs separation increases with a decrease in the position of the Fermi level, as well as the temperature increase.

The probability of the neutral Frenkel pair separation does not depend on the position of the Fermi level. We consider the temperature Tc at which the probability of avoiding annihilation for separated Frenkel pair in neutral and charged states are equal. Tc depends on the Fermi level position in the band gap. The probability of avoiding annihilation of the separated Frenkel pair in the neutral state prevails at  $T > T_c$ . At

Доклады на английском языке

$T < T_c$  it prevails for the pair in charged state. The results obtained are used to predict the characteristics of semiconductor devices operating under conditions of radiation exposure.

1. N.M. Bogatov, M.S. Kovalenko. Modeling of the separation of Frenkel pairs formed in silicon as a result of irradiation with a stream of ionizing particles. Modern problems of physics, biophysics and information technologies. (Krasnodar: Krasnodarskiy CNTI, 2012)



**THERMIONIC CONVERTER - QUANTUM GENERATOR****Kuzenkova D.S., Bobrovsky T.L., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.***INPE NRNU MEPhI, Obninsk**+79108631414, Darya.kuzenckowa@yandex.ru*

The main direction of research in the field of thermoemission energy conversion is an increase in efficiency and service life of power generating systems. The use of high-efficiency low-temperature electrode materials of a new generation and dynamic supply of cesium vapor made it possible to raise the efficiency of the converter to 20%. However, experiments with dynamic cesium feeding demonstrated that the processes occurring in low-temperature plasma are still not fully understood, and it is advisable to continue their study [1].

The traditional thermionic energy converter (TEC) has a number of similar parameters with a gas-discharge cesium laser, both in the constructive solution and in the parameters of the working medium-low-temperature cesium plasma: the cesium vapor pressure, the operating temperature range and the energy input are comparable. The question arises of the possibility of creating a combined device - a thermionic converter - a quantum generator (TEC - CG) with direct output of energy from it in the form of coherent radiation (Fig. 1).

The experimental TEC-CG consists of two systems-the self-TEC and the optical resonator. TEC is an electrode pair of high-efficiency low-temperature electrode materials, separated by a gap (~ 0.5 mm) filled with cesium vapor. The electric field strength in the gap is about 2000 V/m, which is close to the electric field strength in gas-discharge lasers (about 10,000 V/m), at a plasma temperature of about 1100 °C. The placement of the volume of the cesium plasma between the mirrors of the optical resonator transforms TEC in electric-discharge laser, in which, in principle, coherent radiation can be generated.

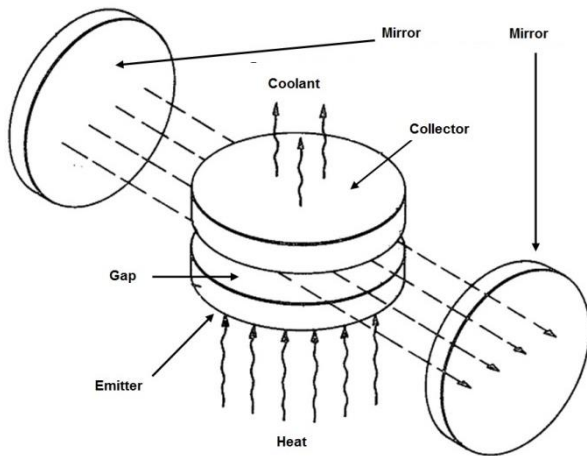


Fig.1. Schematic diagram of a thermionic converter - a quantum generator

The TEC-CG optical resonator is similar to that used in gas lasers and consists of two mirrors, one of which is semitransparent and serves to derive coherent radiation. TEC-CG have a number of attractive commercial features that determine their competitive advantages in the external and internal markets. The main ones are the thermal method of pumping the working medium and the additional removal of energy by radiation to photoelectric converters from the gap, which reduces ohmic losses in the electrodes and current-carrying buses [2] and increases the efficiency of the device in comparison with traditional TECs.

#### Литература

1. Zhrebtsov V.A., Kasikov I.I. Limiting characteristics of the thermionic energy converter. - Atomic energy, vol. 110, c. 1, p.12-16 (2011).
2. Ruzhnikov V.A. Methods for calculating the thermal and electrical characteristics of direct energy conversion systems. Part 1., Obninsk: IPPE, 2001.

Доклады на английском языке

## HIGH-FREQUENCY GRAVITATIONAL RADIATION OF NEUTRON STARS

*Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.*

*INPE NRNU MEPHI, Obninsk  
+79109167497, dglazarenko@mephi.ru*

The existence of neutron stars was predicted by L.D. Landau more than seventy years ago, they were first observed only in 1967 as pulsars [1]. The physical models of neutron stars, developed within 30 years, did not predict presence of pulsatory electromagnetic radiation from them. On visual, nobody guessed of presence at a neutron star of an incredibly powerful magnetosphere and has not considered bound with its effects. The complete theory of an appearance of supernova and subsequent evolution of a neutron star still is not present, therefore it is possible to expect discovery new and of enough unexpected effects at their further study. Examination of processes having a place at supernova flashout and evolution of a neutron star at reasonable guesses of character of their course therefore are of interest.

In the present work as against the conventional viewing it is supposed, that the formation of a neutron phase in a star happens by a heterogeneous fashion. Condensation centers are the nuclei of elements from the middle of Periodic system that present in small amounts in substance of a star at its collapse. The drops of superdense neutron substance are considered as classical objects with radius from 10 Fermi. As the growth of the size of drops at a collapse happens at the expense of merging drops of the smaller size, the drops are strongly deformed and under activity of force of a surface tension have oscillations of the shape.

The calculation of an oscillation frequency was carried out for drops as a prolate uniaxial ellipsoid considering equality of a potential energy of the peak strain of a drop (surface, stipulated by growth, at constant volume) and kinetic energy of a neutron fluid at the spherical shape of a drop of radius  $R$ .

The calculation of power of gravitational radiation [2] gives the peak value in a range  $10^{21} - 10^{23}$  Wt for drops by the size  $R \sim 10$  fermi.

Доклады на английском языке

It approximately on 3-5 orders is less than an energy brightness of the Sun. In accordance with growth of a diameter of drops the power promptly reduced. The initial spectrum of gravitons very strong - their energy about MeV, then in accordance with growth of drops it is also promptly reduced.

Neutron stars - promptly rotated objects. The centrifugal forces at a collapse give the premises to believe an asymmetrical collapse and excitation of oscillations of the shape of a star after a collapse, especially at an asymmetrical dumping of a massive shell. Thus, immediately after a collapse the neutron star has radial oscillations with frequency about 10 kHz and oscillations of the shape with frequency about 1 kHz. Therefore, at mechanical oscillations of a neutron star as whole the oscillation of high-frequency gravitational radiation as packs of impulses with frequency of following of eigentones of a star (gravitational pulsar) is possible.

#### Literature

1. U. P. Pskovskiy. New and supernovas. M.: a science, 1985.
2. L. D. Landau, E. M. Lifshitz. The field theory. M.. Science, 1967.

## **MECHANISM OF THE EFFECT OF A CERIUM VAPOR INJECTION INTO THE GAP OF A THERMIONIC ENERGY CONVERTER**

***Mikhalev A.V., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.***

*INPE NRNU MEPhI, Obninsk*

*Mikhalev.alexandr2017@yandex.ru, +79533287853*

Since the discovery of the thermionic effect, scientific research has been aimed at increasing the efficiency of a thermionic energy converter (TEC) for use in power generating devices and installations. In experiments with a modified thermionic converter, a significant increase in the conversion efficiency was observed with a forced supply of cesium vapor to the interelectrode gap through a grid of small holes (0.1 mm in diameter) in the collector [1]. Later similar results were obtained by a group of Russian researchers [2]. Currently there is no exhaustive explanation of the physical nature of the phenomenon, and the researchers themselves differed in their opinions on the nature of the effect. Therefore, it is advisable to consider the features of the cesium vapor flow in the interelectrode gap when it is fed through the collector and to assess their effect.

In the noted experiments there was a complex nature of heat transfer. Throttling cesium vapor in small size holes causes the formation of a droplet-plasma medium with volumetric condensation of the supersaturated cesium vapor. The second peculiarity is the formation of convective cells by feeding steam through holes located in a staggered manner on the manifold.

The performed estimates showed that under conditions typical for TECs, up to 2% of the cesium vapor pumped through the collector is condensed with the formation of submicron-sized droplets, which acquire a charge due to the loss of dozens of electrons as a result of thermionic emission. The density of the electron current from the surface of the cluster is determined by the Richardson-Deshman dependence and for the operating conditions in the TIC is  $0,05 - 0,5 \text{ a/m}^2$ .

Involved into the convective cells by the flow of vapor, charged drops enter the cathode region, where they evaporate with the formation of a cluster of cesium ions. However, calculations showed that the

Доклады на английском языке

source considered is capable of generating ions at a level sufficient to neutralize the space charge of emitted electrons with a current density in the cathode of the order of  $10 \text{ a/m}^2$ , which is clearly insufficient for operation in the energy regime. The effect of the formation of clusters on the thermionic process is possible through the formation of a qualitatively new structure in the IEG - a low-temperature droplet-plasma medium with droplets of cesium of the order of  $0.1 \text{ }\mu\text{m}$  in size and a charge of 10-100 electron charges [3].

The binding energy of a charged droplet in the electrically neutral cell is about 0.2 eV, which forms quasicrystalline and quasi-liquid structures. The lifetime of drops can be about a second. Due to the small size of the cells (about microns), the electron current is effectively neutralized and the formation of the volumetric blocking charge is suppressed, which can ensure the operability of the TEC with a substantially lowered cesium ion generation current. Decreasing energy costs for ion generation and ion concentration in the plasma reduces arc losses and thus increases the efficiency of energy conversion in TEC.

#### Literature

1. Holmlid L. Rydberg States and Rydberg matter in thermionic energy converters. Proc. Thermionic Energy Conversion Specialist Conference. - Goteborg, Sweden. P.47 (1993).
2. Yarygin V.I., Sidelnikov V.N., Kasikov I.I., Mironov V.S., Tulin S.M. Experimental study of the possibility of formation of condensate of excited states of matter (Rydberg matter). Letters to the JETP. V. 77, v.6. P.330-334 (2003).
3. B.M. Smirnov. Processes in plasma and gases with the participation of clusters. UFN, v.167, No. 11. p.1177 - 1200 (1997)..

## CURRENT STATUS OF BNCT FACILITY AT IRT-T RESEARCH REACTOR

***Molodov P.A., Anikin M.N., Naymushin A.G.***

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk  
+79234223663, molodovpavel@gmail.com*

Boron neutron capture therapy (BNCT) is a binary radiotherapy modality which utilizes thermal neutrons together with a boron biodistribution for treatment of cancer. The main advantages of BNCT according to IAEA [1] are due to the synergistical effects of combining the idea of targeting principles of chemotherapy and the beam localization schemes used in conventional radiotherapy. Clinical interest in BNCT has focused primarily on the treatment of high-grade gliomas and either cutaneous primaries or cerebral metastases of melanoma, most recently, head and neck and liver cancer.

A high intensity and high quality [2] thermal/epithermal neutron irradiation facility is needed for the development of neutron capture therapy (NCT). At present, facilities available for NCT clinical trials are limited, and the only neutron sources for clinical NCT are research reactors. IRT-T Research Reactor [3] is a 6 MW pool-type reactor with water as coolant, moderator and top biological protection, currently uses IRT-3M fuel assemblies (FA) with high-enriched (90 %) fuel.

The approach used in developing the neutron irradiation facility at the IRT-T Research Reactor is based upon reconstruction of the horizontal experimental channel HEC-1. The implementation of the NCT method requires a beam with maximum thermal neutron flux and low content of gamma ray component and fast neutrons. The tangential horizontal experimental channel HEC-1 meets these requirements to the highest extent.

Three-dimensional MCU-PTR [4] model for NCT studies describing in details real geometry of HEC-1 was developed. The obtained results of the reactor neutron spectrums forming at the output of HEC-1 demonstrate that the thermal neutron flux is  $\sim 1 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . This value is sufficient for the irradiation of small animal models and cell cultures to test new compounds, to explore and optimize boron compound delivery

Доклады на английском языке

systems, and to study the radiobiology of NCT. Thermal neutron beams are also needed for clinical NCT studies of superficial malignancies.

The estimated value of the epithermal neutron flux is  $\sim 2 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Current experience shows that a desirable minimum beam intensity would be  $10^9$  epithermal neutrons  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Beams of  $10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  are useable, but result in rather long irradiation times. Increasing the beam quality is the main direction of further modernization.

#### References

1. International Atomic Energy Agency (IAEA), Current status of neutron capture therapy, in IAEA-Tecdoc-1223. 2001, IAEA: Wien.
2. Barth R. F. et al. Boron neutron capture therapy of cancer: current status and future prospects //Clinical Cancer Research. – 2005. – T. 11. – №. 11. – P. 3987-4002.
3. Varlachev V. A., Glukhov G. G., Skuridin V. S. Research nuclear reactor IRT-T //Tomsk Polytechnic University (in Russian). – 2011.
4. Alekseev N. I. et al. MCU-PTR program for high-precision calculations of pool and tank type research reactors //Atomic energy. – 2011. – T. 109. – №. 3. – P. 149-156.



**RESEARCH OF GENERATION TRESHOLDS AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF RADIATION IN Nd:YAG CERAMIC LASERS WITH DIFFERENT POROSITY IN CONDITIONS OF TRANSVERSE MODES SYNCHRONIZATION AS AN EFFECTIVE METHOD TO ESTIMATE THE CERAMIC POROSITY**

***Polevov K.A.<sup>1</sup>, Karpov N.V.<sup>1</sup>, Tupitsyn I.M.<sup>1</sup>, Koromyslov A.L.<sup>1,2</sup>, Chernushich A.K.<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> NRNU MEPhI, Moscow, <sup>2</sup> LPI RAS, Moscow

<sup>3</sup> FIRE RAS, Fryazino

+79152271815, k.polevov@yandex.ru

The main problem of obtaining YAG ceramics of laser quality is eliminating residual pores.

An original method for determining the residual pore concentration is proposed by measuring the threshold for laser generation of ceramics with longitudinal diode pumping in conditions of transverse modes synchronization. This method was detailed in works [1-3].

The threshold value spectra of pumping Nd:YAG (1at%) FIRE RAS ceramics with different residual pore concentration was measured using ceramics samples of Konoshima Chemical Corp. as a standard. The results are presented in figure 1.

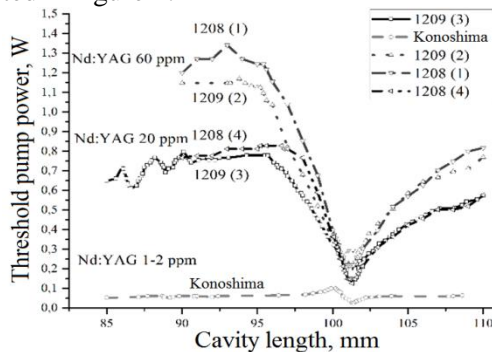


Figure 1. Dependencies of the threshold pump power on the cavity length near the semi-confocal configuration  $r/s = 1/4$  for YAG:Nd (1 at.%) Konoshima and four YAG:Nd (1 at.%) ceramic samples with a volume pore concentration (V) 20 and 60 ppm

## Доклады на английском языке

In conditions of transverse modes synchronization, for example, in a semi-confocal cavity configuration, a large number of transverse Laguerre-Gaussian modes with high spatial index are generated. Whereas, with increasing transverse mode index ( $n$ ), the distance between modes decreases as the square root of the value of index ( $n$ ), the spatial frequency of the modes increases as the square root of the index value. We used such a radiation structure as a concentric mire with a variable step to estimate the transfer function of the active medium based on ceramics. In order to increase the accuracy of measurements, the procedure of accumulation of 100 changes were used. The results are presented in figure 2.

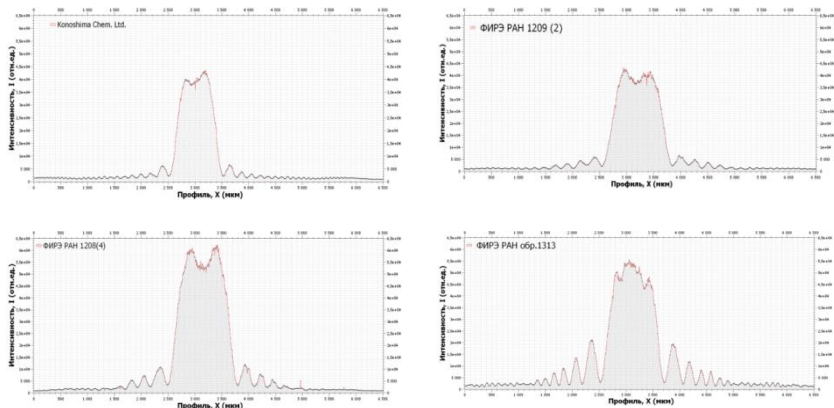


Figure 2. Spatial distribution of radiation in YAG:Nd lasers. Sample 1209 – 60 ppm pores, 1208 (4) - 20 ppm pores, 1313– 3 ppm pores (estimate)

It can be seen that as the concentration of residual pores in the active medium increases, the number of recorded transverse modes decreases significantly, and their contrast decreases more rapidly.

The work was supported by the Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences No. P25.

## References

1. Bezotosnyi V V, Cheshev E A, Gorbunkov M V, Koromyslov A L, Kostyukov P V, Krivonos M S, Popov Y M, Tunkin V G Laser Phys. Lett. 12 ( 2), 025001. (2015).

2. Bezotosnyi V V, Krokhin O N, Koromyslov A L Cheshev E A, Kopylov Y L, Kravchenko V B, Lopukhin K V, Tupizin I M Proceedings of V symposium on coherent optical radiation of semiconductor compounds and structures. Moscow-Zvenigorod, 23-26 November. (2015).

3. Kaminskii A A, Balashov V V, Demianova L, Kopylov Y L, Kravchenko V B, Lopukhin K V, Lyapin A A, Lysenko S L, Ryabochkina P A, Shemet V V, Optical Properties, Problems and Prospects. Proceedings of 11-th laser ceramics symposium LCS-2015 – International symposium on transparent ceramics for photonics applications, 30 Nov.- 4 Dec. Xuzhou, China pp 63-64. (2015)

## INCREASE OF EFFICIENCY OF A VACUUM THERMOIONIC CONVERTER

*Prihod'ko A.A., Lazarenko G.E., Lazarenko D.G.*

*INPE NRNU MEPhI, Obninsk  
Faustsmol@gmail.com, 89208921775*

Since the discovery of the thermoemission phenomenon, attempts have been made to create a thermionic converter (TEC) with technical and economic characteristics that allow its cost-effective use in power generating units and installations. Interest is due to both the operating temperature range (the minimum value of which almost coincides with the maximum value for the Rankine cycle) and the absence of moving parts, which in principle ensures their high reliability and long operation in an unattended mode.

The present TECs working in the energy regime contain a low-temperature cesium plasma in the interelectrode space [1], which neutralizes the volumetric charge of the emitted electrons. The loss of voltage on the arc (arc losses in the low-temperature cesium plasma) is about 0.5 V. Taking into account that the generated voltage of the TEC is limited by the difference in the work of the electrode material output (1-2 eV), the transition to the vacuum operation mode of the TIC essentially increases efficiency at the same current density at the electrodes.

In vacuum mode, the current density at the electrodes sufficient for energy purposes is achieved either by decreasing the inter-electrode gap to a few microns, or by a significant increase in the operating temperature, which is technologically unacceptable.

Technical solutions using an additional mesh anode or crossed permanent magnetic and electrostatic fields, for a number of specific reasons, do not allow the creation of a TEC operating in the energy regime.

The situation can be significantly improved if one uses a cathode with a granular structure of chaotically placed and oriented magnetized domains. On the surface of such a cathode, regions with a highly inhomogeneous magnetic field are formed, with the maximum induction of the magnetic field being achieved at the surface of the electrode. The emitted electron, entering the magnetic field, moves in a complex manner-the tangent to the surface of the velocity component ensures a spiral

motion in a magnetic field with a Larmor radius. In fact, the electron participates in two motions - translational in the direction of the magnetic field lines of the magnetic field and rotational in the plane perpendicular to the direction of the lines of force, with the orbital magnetic moment  $P_m$  [2]. Under the conditions of an inhomogeneous magnetic field, the force acting on the turn with the current is expressed in terms of the orbital magnetic moment  $P_m$  and the gradient of the magnetic field induction

$$F = -P_m \cdot \text{grad}(B)$$

As follows from the conservation laws, the maximum work accomplished by this force is equal to the kinetic energy of the tangential component of the velocity of motion of the electron. Taking into account the independence of the velocity distribution along the directions, in the described conditions of a highly inhomogeneous magnetic field, on the surface of the emitting electrode, there is a double energy reserve to overcome the potential barrier created by the space charge of electrons in the interelectrode gap, and from the point of view of efficiency TEC its characteristics coincide with those for the traditional vacuum TEC with twice the temperature of the cathode.

#### Literature

1. I.P. Stakhanov, V.E. Cherkovets. Physics of thermionic conversion. (M: Energoatomizdat, 1985).
2. D.A. Frank-Kamenetsky. Plasma is the fourth state of matter. (M: Gosatomizdat, 1963).

## CALORIMETRY OF IRON BASED SUPERCONDUCTORS: THEORY AND EXPERIMENT

Prishchepa A.R.<sup>1,2</sup>, Sadakov A.V.<sup>2</sup>, Muratov A.V.<sup>2</sup>, Usoltsev A.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NRNU MEPhI, Moscow

<sup>2</sup>The P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow

89651121377, prb1@mail.ru

Discovery of iron-based high-temperature superconductors in 2008 was the most significant event in the field since cuprate superconductors and MgB<sub>2</sub>. This class of superconductors shows high values of critical parameters ( $T_c \sim 100$  K in monolayer of FeSe<sub>1-x</sub>,  $H_{c2} = 200$  T in SmO<sub>1-x</sub>FeAs,  $J_c \cong 1 \times 10^7$  A/cm<sup>2</sup> in BaFe<sub>1.9</sub>Ni<sub>0.1</sub>As<sub>2</sub>). Iron-based superconductors have multiband electronic structure much like MgB<sub>2</sub>. In order to describe superconducting properties of those materials we need the multiband model, because BCS theory doesn't give reasonable explanation of the gap temperature behavior. For simplicity we use the phenomenological multiband  $\alpha$ -model [1],[2]. In this model superconductor condensate is divided into several non-interacting parts with corresponding weights.

Main purpose of this work is to study temperature dependence of electronic specific heat (SH) in applied magnetic field and also modeling of electronic SH.

Two different experimental methods are utilized for measurements of SH: relaxation calorimetry and AC-calorimetry [3].

In relaxation calorimetry sample is located on calorimeter between heater and thermometer with good thermal contact. Constant power from heater is applied until thermal equilibrium between sample and calorimeter is achieved. After that power is switched off and temperature relaxes to temperature of thermal bath. Relaxation curve from thermometer gives information about combined SH of sample and addenda (calorimeter without sample) from one temperature point. After this procedure is repeated at another temperature point. Thus, main disadvantage of relaxation calorimetry is very long time for experiment.

AC-calorimetry doesn't have this problem, because it deals with measurements on alternative current. Temperature oscillation is measur-

ed by heater itself on third harmonic. In order to suitably detect the third harmonic we use a bridge schema. One half of bridge consists of two heater-sensors, sample is located on one of them. Another half of bridge consists of constant resistor and alternative resistor, the latter balances the bridge.

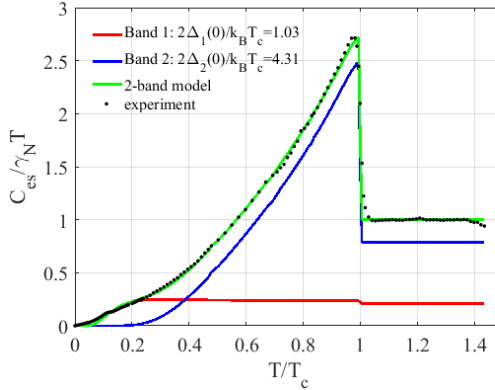


FIG 1. Temperature dependence of electronic specific heat for single crystal of  $\text{FeSe}_{1-x}$  ( $T_c=8.44$  K).

Temperature dependence of electronic SH without magnetic field and its  $\alpha$ -model approximation with partial contribution of each gap are presented on Fig. 1. Experimental graph (from relaxation calorimetry) was built by using the approximation from [4] to full SH data.

References:

1. H. Padamsee, J. E. Neighbor, and C. A. Shifman, J. Low. Quasiparticle phenomenology for thermodynamics of strong-coupling superconductors. *Temp. Phys.* 12, 387 (1973).
2. F. Bouquet, Y. Wang, R. A. Fisher, D. G. Hinks, J. D. Jorgensen, A. Junod, N. E. Phillips., Phenomenological two-gap model for the specific heat of  $\text{MgB}_2$ . *Europhys. Lett.*, 56(6), pp. 856–862 (2001).
3. Ventura. *Thermal Properties of Solids at Room and Cryogenic Temperatures* (2014).
4. J.-Y. Lin, Y. S. Hsieh, D. A. Chareev, A. N. Vasiliev, Y. Parsons, and H. D. Yang *Phys. Coexistence of isotropic and extended s -wave order parameters in FeSe as revealed by low-temperature specific heat. Rev. B* 84, 220507(R) (2011).

## ROLLING SHUTTER ELIMINATION

*Rudanov M.V.<sup>1</sup>, Voronin V.S.<sup>1</sup>, Kostarev V.A.<sup>2</sup>, Koshelev Y.S.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*NRNU MEPhI, Moscow*

<sup>2</sup>*MIPT, Dolgoprudny*

<sup>3</sup>*MSU, Moscow*

+7 (999) 988-12-09, [misha.rudanov@yandex.ru](mailto:misha.rudanov@yandex.ru)

Amount of video content is growing constantly due to video-tube services extension and overall gadget development. Most of this nowadays is being shot with CMOS type sensor cameras, such as DSLR, mirrorless cameras, action cameras and smartphones. According to CIPA research, around 1 million of DSLR cameras were sold only in Russia in 2015.

These cameras gained popularity due to compact sizes, high resolution and frame rates capability and affording price. But all of them have one major drawback – a Rolling Shutter defect<sup>[1]</sup>.

Rolling Shutter is in image defect, which is caused by camera sensor read approach. Sensor lines or arrays are scanned one-by-one, so a filmed object can move relative to camera during the scan period, which causes different image distortions, such as vertical line shear.

Our team have developed a simple-in-use device to eliminate Rolling Shutter. It mounts in front of the camera lens and filters the photon stream, that reaches the camera sensor. A special approach to filtration causes overall camera shear reducing. This method uses no post-processing workflow and doesn't require any additional time or CPU/GPU recourses.

Nowadays the most common approach to cope with Rolling Shutter is program post-processing workflow. It is based on geometrical frame correction to retain vertical lines shape.

This method can be used only with editing camera footage, instead of influencing the entire footage correcting. It can only remove vertical lines shear and can do nothing with spinning distortion and flash light separation. Moreover, this approach causes some image crop and resolution drop.

We have tested these two methods of Rolling Shutter elimination on real camera footage. We used Panasonic GH4 camera with following



Доклады на английском языке  
settings: 24 FPS, 1/50 shutter speed, 4K resolution. Experiments were held in two scenarios: high speed horizontally moving objects and high speed spinning propellers shooting.

Both methods coped with first scenario, but program approach showed around 10% image crop, when Global filter device did not show any crop or resolution drop.

Only first method was able to cope with second scenario experiment. Global filter showed complete spinning distortion elimination, when program algorithms were unable to do something with this type of distortion.

This means that the first method has strong advantages on other approach. We believe that global filter device will help filmmakers avoid any Rolling Shutter and make a new level of video quality.

## References

[1] D. Bradley, T. Popa, A. Sheffer, W. Heidrich, and T. Boubekeur. Markerless garment capture. *ACM Trans. Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 27(3):99, 2008.

**Sagitova A.M.<sup>1</sup> Ionin A.A.<sup>2</sup>, Kinyaevsky I.O.<sup>2</sup>, Klimachev Yu.M.<sup>2</sup>,  
Kryuchkov D.S.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> National Research Nuclear University MEPhI, Moscow

<sup>2</sup> P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>3</sup> Moscow Institute of Physics and Technology (State University),

Dolgoprudny, Moscow Region

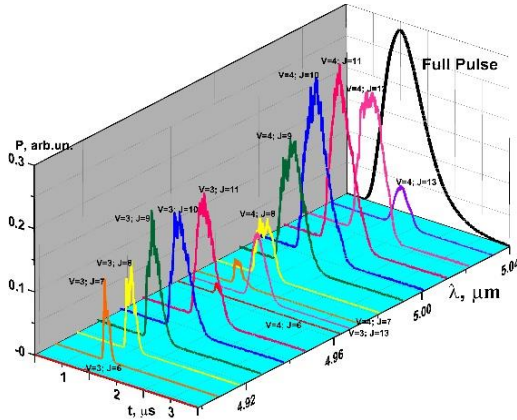
+7(903)730-15-02, adilya5@mail.ru

The carbon monoxide (CO) laser has an extremely broad emission spectrum consisting of about a thousand spectral lines in fundamental (wavelength range is 4.7-8.2  $\mu\text{m}$ ) and first overtone (2.5-4.2  $\mu\text{m}$ ) vibration bands. CO laser can run on selected single line and in a multiline mode [1]. Spectral range of broadband CO laser is very attractive for laser remote gas analysis, because, firstly, it is within the window of atmosphere transparency in the wavelength range from 3 to 5  $\mu\text{m}$ , and secondly, coincides with the absorption bands of a number of pollutant and natural component of the atmosphere. Due to rich emission spectrum and narrow lines, the CO laser can successfully be applied in remote laser sensing, spectroscopic gas analysis, isotope separation etc. But spectral gap, in which CO laser does not emit, is required for a certain of application. Thus, the current state of spectroscopic gas analysis requires the search and introduction of new laser IR sources, which can lase a large number of narrow spectral lines in the widest possible frequency range and with a small step of frequency tuning. Emission spectrum of the CO laser can be significantly enriched and expanded from near- to far-IR by frequency conversion in nonlinear crystals  $\text{ZnGeP}_2$  [2] and  $\text{AgGaSe}_2$  [3]. Conversion capabilities of broadband radiation CO laser depend on the characteristics of the used nonlinear crystals and the characteristics of a CO laser.

During one of the first experiments with Q-switched CO lasers, 210 spectral lines were obtained [4]. However, the output mirror of this laser was a totally reflected mirror with a hole of 1 mm. The pulse duration was 10  $\mu\text{s}$ , and the peak power was sufficiently low. In our work, we study the spectral and energy characteristics of Q-switch mode CO-

laser, the possibility of increasing the peak power of the laser at the highest possible number of spectral lines.

We used low-pressure cryogenic cooling CO laser tube, which was pumped by DC glow discharge. The laser was operated in Q-switch mode by a rotating mirror. The working gas mixture consisted of He:N<sub>2</sub>:CO:Air=70:5:1:1. Tube voltage was 9 kV and a current was 6 mA. The radiation peak power reached up to 3 kW at modulation frequency of 70 Hz and a pulse duration of about 0.5 μs. CO laser spectrum consists of 115 spectral lines in the wavelength range from 4.89 ÷ 6.54 μm.



The example of CO emitting dynamics at the two lowest vibrational bands is shown in Figure. We can see that the powerful rotational components of these bands are  $J = 9\div 12$  and highest rotational component  $J = 13$  begins to emit in the second half of the full pulse.

For obtaining wider spectrum of generation we increase proportion of CO in mixture by 5 times. It was obtained ~150 spectral lines in the wavelength range 5,0÷7,5 μm with a peak power reached up to 4 kW.

Work was supported by Russian Science Foundation (16-19-10619).

#### References

1. Ionin A.A. “Electric discharge CO laser” in Gas Lasers, M. Endo and R. Walter eds. (CRC Press - Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida) P. 201-238 (2007).
2. Andreev Yu.M., Ionin A.A., Kinyaevskiy I.O. et al. Quantum Electronics. 2013. Vol. 43. Issue 2. P.139-143 (2013).
3. Budilova O.V., Ionin A.A., Kinyaevskiy I.O. et al. Optics Lett. 2016. V. 41. Issue 4. P.777-780.

**SPECTRAL-LUMINESCENT PROPERTIES OF  
BACTERIOCHLORIN AND ALUMINUM PHTHALOCYANINE  
NANOPARTICLES AS A SURFACE COATING OF  
OSTEOPLASTIC HYDROXYAPATITE BASED MATERIALS  
“COLLAPAN”**

***Sharova A.S.<sup>1</sup>, Maklygina Yu.S.<sup>2</sup>, Loschenov V.B.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow*

<sup>2</sup> *A. M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow*

*+7(915)339-14-59, alina.s.sharova@gmail.com*

**Aim of the study**

The research of bacteriochlorin (Bch) and aluminum phthalocyanine (AlPc) nanoparticles spectral-luminescent properties as "Collapan" osteoplastic materials surface coating.

**Introduction**

Implantation techniques of tissue defects regeneration and replacement have found application in different areas of experimental and clinical medicine. Surgical intervention with subsequent implantation generates a macrophage inflammatory-reparative response of connective tissue, leading to the implant rejection. Antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) method is a promising way for solving such a problem due to the anti-inflammatory coating of implants with photosensitizer nanoparticles (PS). Previously, it was found that initially non-phototoxic PS nanoparticles acquire the ability to luminesce in interaction conditions with hydroxyapatite implant molecules [1]. This unique PS nanoparticles property makes it possible to consider such a complex perspective in terms of achieving aPDT effect. However, there is a risk of the anatomical tissues structure damage due to the solid porous structure of the hydroxyapatite implant.

**Materials and methods**

Thus, the osteoplastic, soft and biocompatible material based on hydroxyapatite and collagen "Collapan" (LLC "Intermedapatit") was chosen for the study. The luminescence spectra registration was carried out using a fiber spectrometer LESA-01-BIOSPEC [2]. The PS nanoparticles excitation was realized by laser radiation at a power density of  $\sim 100$  mW/cm<sup>2</sup> and wavelengths of  $\lambda = 532$  nm and 632.8 nm

which were selected in accordance with the PS' spectral absorption maximums.

### **Results and conclusion**

The luminescence spectra analysis showed the possibility of nanoparticles photoactivation on the surface of the bone-plastic material. It was concluded that AlPc nanoparticles possess better photoactivity than Bch. The strong interaction between the surface PS nanocrystals molecules and "Collapan" structure was proved during the study that in future will exclude the possibility of washing out the surface layer of nanoparticles. That circumstance will allow excluding the possibility of washing out the surface layer of nanoparticles.

### **References**

1. Maklygina Yu.S., Sharova A.S., Kundu B., Balla V.K., Steiner R., Loschenov V.B. Spectral luminescent properties of bacteriochlorin and aluminum phthalocyanine nanoparticles as hydroxyapatite implant surface coating. Biomedical photonics. Vol. 5. N2. P. 4–12 (2016).
2. Loschenov VB, Konov VI, Prokhorov AM. Photodynamic therapy and fluorescence diagnostics. Laser Phys. Vol.10 (6). P. 1188–207 (2000).

**INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE PHASE STABILITY AND OXIDATION RESISTANCE OF COATINGS WITH ZIRCONIUM DIOXIDE ON CARBON-CARBON COMPOSITE (CCC)**

*Sinitsyn D.Y.<sup>1</sup>, Anikin V.N.<sup>1</sup>, Chuprunov K.O.<sup>1</sup>*

*1 National University of Science and Technology «Moscow Institute of Steel and Alloys» (NUST MISiS), Moscow  
89153095075, sindime@list.ru*

Every year in connection with aviation development, demonstrating the level of country's development, exploitation demands to aerospace and rocket vehicles are increasing. As separate elements it is increasingly widespread carbon fibers and made from them CCC, representing itself an 2D reinforced by carbon fibers composite with pirocarbonaceous matrix having high specific strength and rigidity with low density that reduce final vehicle's weight and fuel costs. However, above 370 – 400 0C they are easily oxidized by atmosphere oxygen and burns out [1].

There is a need for protective coating being able to work at high temperatures and having low coefficient of thermal expansion (CTE) and elastic modulus with high strength limit and relatively high thermal conductivity [2].

This is the coating on the base of stabilized zirconium dioxide and molybdenum disilicide working out on the base of stabilization of high temperature modification of ZrO<sub>2</sub> and self-healing effect [3].

This compositional heat-resistant coating is proposed to spray by way of atmospheric plasma spraying method with preliminary spraying of NiCrAlY sub layer for reducing of CTE differences between substrate and outer layer. This spraying method is chosen on the base of the performed literature analysis of publications on coating spraying and with accounting of substrate material properties.

During the work it is performed investigation of elemental composition of coatings and their phase composition, held Raman analysis and three-point bending. Thickness of layer, sub layer and overall thickness are selected. It is tested relatively long term heat-resistance at 1700 0C during 400 c and short term during 20 c at 2100 0C.

The work is carried out within the framework of the project of the Ministry of Science and Education RF № RFMEFI57814X0044

#### References

1. Shulga A.V. Composites. Fundamentals of Materials Science of Composite. (M: NNIU MEPhi, 2013).
2. S. Gogta, F. Cem. Development of Nano-  $ZrO_2$  reinforced self flowing low and ultra low cement refractory castables. Theses and dissertations. Vol.51. P.80-84 (2012).
3. F. Nozahic, D. Monceau, C. Estournès. Thermal cycling and reactivity of a  $MoSi_2/ZrO_2$  composite designed for self-healing thermal barrier coatings. Materials Design. Vol. 94. P.444-448 (2016).

## OBTAINING THIN FILMS OF GALLIUM NITRIDE BY MOLECULAR BEAM EPITAXY

Tariverdiyev S.C.<sup>1</sup>, Gusev A.S.<sup>1</sup>, Kargin N.I.<sup>1</sup>, Ryndya S.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Nuclear University MEPhI, Moscow

e-mail: [tariverdiyev91@mail.ru](mailto:tariverdiyev91@mail.ru)

**Key words:** molecular beam epitaxy, thin film, gallium nitride.

**Abstract:** Gallium nitride (GaN) is a compound semiconductor that belongs to the nitride subset of III-V compound semiconductors. GaN has become the second most important semiconductor after silicon (Si) [1]. The electrical and physical properties, such as the direct and wide band gap in addition to good thermal and chemical stability, make GaN a highly interesting material [2]. The wide band gap of GaN also results in a high breakdown field. This combined with good thermal stability, heat conductivity and high electron mobility make GaN an excellent candidate for high performance electrical applications.

The direct band gap allows efficient optoelectronic applications. GaN based blue light emitting diodes (LED) have received attention [3]. Blue LEDs can be, in turn, used to create white LEDs. This is done by converting some of the emission to longer wavelengths, usually by using different phosphorous coatings [3]. The result is a LED whose emission resembles white light. An efficient white light source can reduce the energy consumption of lighting tremendously. In fact, the GaN based white LEDs have seen increasing deployment for this application [3].

Molecular beam epitaxy (MBE) is an important method of growth of thin crystalline films. In this thesis, I study MBE of GaN on Si(100) substrates and sapphire substrates.



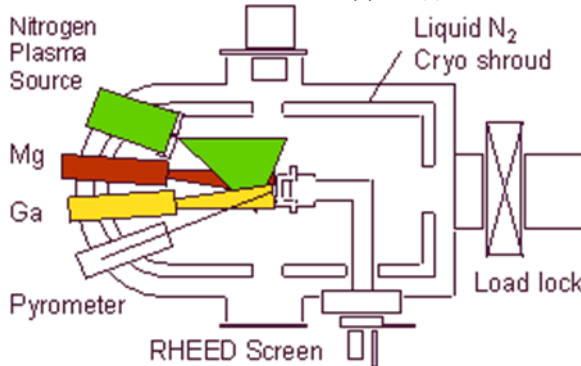


Fig. 1. The MBE growth chamber.

GaN molecular beam epitaxy (MBE) growth is a non-equilibrium process where a Ga vapor beam from an effusion cell and an activated nitrogen beam from a plasma source are directed toward a heated substrate. Under suitable conditions, layer-by-layer deposition of Ga and N atomic planes is possible. The MBE procedure is performed in an ultra-high vacuum chamber, minimizing film contamination. Other advantages of MBE are its capability to create heterostructures with sharp interfaces, and to form metastable phases such as zincblende-structure GaN.[4]

#### Literature:

[1] A. Dadgar, “Sixteen years GaN on Si,” *physica status solidi (b)*, vol. 252, no. 5, pp. 1063–1068, 2015.

[2] H. Morkoç, “General properties of nitrides,” *Handbook of Nitride Semiconductors and Devices: Materials Properties, Physics and Growth*, vol. 1, pp. 1–129, 2008.

[3] T.-Y. Seong, J. Han, H. Amano, and H. Morkoc, *III-Nitride based light emitting diodes and applications*. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 126.

[4] [www.mse.berkeley.edu/groups/weber/research/ganmbe.html](http://www.mse.berkeley.edu/groups/weber/research/ganmbe.html)

## TUBULAR MEMBRANES BASED ON POROUS ANODIC ALUMINA FILMS

Terleckaya M.A., *Vasiliev S.G.*, *Kokatev A.N.*, *Yakovleva N.M.*

*PetrSU, Petrozavodsk*  
+79114286478, [mas4079@ya.ru](mailto:mas4079@ya.ru)

Since 1995 nanoporous aluminium oxide (i.e. alumina) films, produced by anodizing of aluminium, have become more and more popular. These nanoporous films have been widely used in various applications such as filters, catalyst supports, and templates as well as electronic, magnetic, and optical devices.

Traditional technique of alumina membranes production, based on two-step anodizing, was studied. Besides, some disadvantages, such as fragility, time-consuming technique of obtaining membranes and necessity of using a special holder, were also stated.

Since their main disadvantage is high fragility, it is necessary, firstly, to create more flexible flat membranes, and, secondly, to form cylindrical nanomembranes, called “tubular”.

Samples were made from aluminium foil of 50 and 100  $\mu\text{m}$  thick, both flat and in the form of a tube with a diameter of 6-7 mm. Before anodization samples were annealed at the temperature of 450 $^{\circ}\text{C}$  for 30 minutes and chemically cleaned in diluted NaOH. Studying of samples structure was done by AFM on Scanning Probe Microscope “Solver-Next”. We used a two-step anodizing technique. For the 1<sup>st</sup> group of samples at both stages we used water solution of oxalic acid as an electrolyte; and for the 2<sup>d</sup> group at the 2<sup>d</sup> stage we used a special multi-component [1,2] (mixture of oxalic, citric, and boric acid as well as isopropyl alcohol) electrolyte to prepare flexible films. As a result we managed to fabricate permeable alumina membrane.

From AFM image of porous layer surface (Fig. 1.) we got an approximate size of cells (250nm) and pores (80nm). It is found that the resulting anodic oxide film had increased elasticity and ability to withstand bending angle of 120 $^{\circ}$  (Fig. 2). However, it is important to say, that thickness of films' barrier layer is about 60-70nm. For its removal we used a method of barrier layer thinning “from above”. For that, sequential decrease in voltage was carried out, which led to stepwise reduction

of the current. Reaching the zero (or close to zero) value meant appearing of barrier layer permeability.

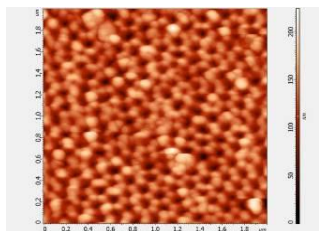


Fig. 1. AFM image: porous layer surface of detached porous anodic alumina films (PAAF), formed in 3%  $C_2H_2O_4$  by one-step anodizing.

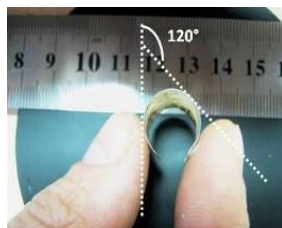


Fig. 2. Illustration of flexibility of porous anodic oxide films.

The last stage of fabrication of nanomembrane was removal of metal in a solution based on  $CuCl_2$ . After that we got partly permeable membranes with holes of about 20 nm, as is shown in figure 3.

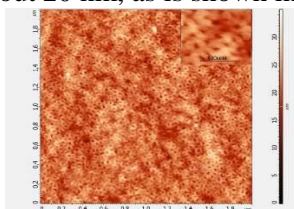


Fig. 3. AFM image of barrier layer of PAAF 1<sup>st</sup> group of samples.

Further we made the tubular samples anodizing. As a result we developed a technique for getting detached tubular nanoporous oxide film. And now we are going to get a permeable tubular membrane.

#### Conclusions:

1. It has been shown that the developed two-step anodizing technique using special multicomponent electrolyte at the 2nd stage allows to form nanoporous alumina films of high flexibility.

2. Flexible flat and tubular porous anodic aluminas detached from substrate with thickness of 5  $\mu m$  and cell size about 200 nm, were experimentally fabricated.

3. We found that a method of barrier layer thinning “from above” in combination with chemical removal of metal enables permeable alumina membranes fabrication.

**Literature**

1. A. Belwalkar et al./Journal of Membrane Science. Vol. 319. P.192-198(2008).
2. S. Yue et al. /Materials Chemistry and Physics. Vol.128. P.187–190 (2011).

**BACKGROUND-FREE, HIGHLY SENSITIVE  
SURFACE-ENHANCED IR ABSORPTION OF RHODAMINE 6G  
MOLECULES DEPOSITED ONTO AN ARRAY OF  
MICROHOLES IN THIN SILVER FILM**

*Trang T H Nguyen<sup>1,4,\*</sup>, Pavel N Danilov<sup>1</sup>, Sergey A Gonchukov<sup>2</sup>,  
Andrey A Ionin<sup>1</sup>, Roman A Khmel'nitskii<sup>1</sup>, Sergey I Kudryashov<sup>1,2,3</sup>,  
Andrey A Rudenko<sup>1</sup>, Irina N Saraeva<sup>1</sup> and Dmitry A Zayarny<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Leninsky prospect 53, 119991 Moscow, Russia*

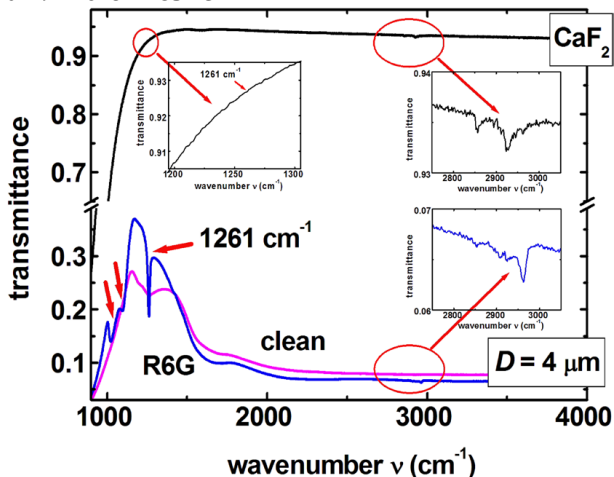
<sup>2</sup>*National Research Nuclear University MPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Kashirskoe shosse 31, 115409 Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*ITMO University, Kronverkskiy prospect 49, 197101 St. Peterburg, Russia*

<sup>4</sup>*Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy Pereulok,  
141701 Dolgoprudny, Moscow Region, Russia*

*Tel. 8 (967) 132-83-39; \*e-mail: [trang.nguven@htu.edu.vn](mailto:trang.nguven@htu.edu.vn)*

Selective IR absorption at  $1261\text{ cm}^{-1}$  enhanced by 455 times (Fig. 1), was demonstrated for rhodamine 6G molecules, covering a 2D-photon crystal, represented by a regular array of 4-micron wide holes in a 30 nm thick silver film on a  $\text{CaF}_2$  substrate. The reference absorption lines were taken near  $2900\text{ cm}^{-1}$ , where the IR radiation is freely channeling through the microholes, indicating the reference substrate coverage by the dye molecules for its relative internal calibration. The limit of background-free detection for the analyte was determined at the level  $\sim 10^{-2}$  monolayer.



**Figure 1.** IR transmission spectra of the  $\text{CaF}_2$  substrate with the R6G monolayer (black curve), and the large-hole sensor with (blue ‘R6G’ curve) and without (purple ‘clean’ curve) such monolayer. The insets with the related highlighting red circles indicate minor R6G absorbance bands used for the near-IR internal calibration and evaluation of enhancement. The red arrows point to the SEIRA-enhanced R6G absorption bands in the mid-IR range (the strongest one at  $1261 \text{ cm}^{-1}$ ).

## REFERENCES

- [1] Pavel N Danilov, Sergey A Gonchukov, Andrey A Ionin, Roman A Khmel'nitskii, Sergey I Kudryashov, Trang T H Nguyen, Andrey A Rudenko, Irina N Saraeva and Dmitry A Zayarny, *Laser Phys. Lett.* 13 (2016) 055602 (5pp).
- [2] Tatiana V Baikova, Pavel A Danilov, Sergey A Gonchukov, Valery M Yermachenko, Andrey A Ionin, Roman A Khmel'nitskii, Sergey I Kudryashov, Trang T H Nguyen, Andrey A Rudenko, Irina N Saraeva, Tatiana S Svistunova and Dmitry A Zayarny, *Laser Phys. Lett.* 13 (2016) 075602 (4pp).

**METHODS OF RECONSTRUCTION OF MULTIPARTICLE  
EVENTS IN THE NEW COORDINATE-TRACKING SETUP**

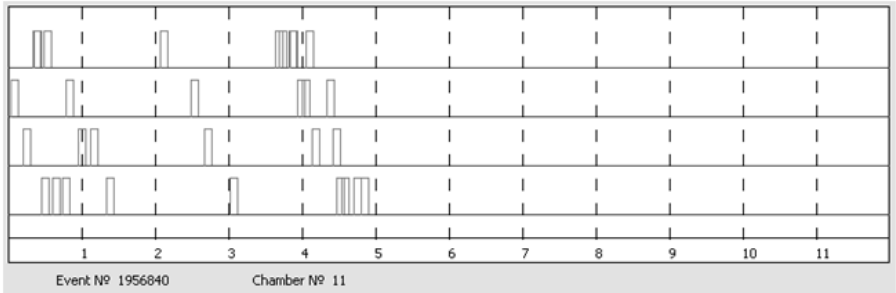
**Vorobyev V.S.<sup>1</sup>, Zadeba E.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*National Research Nuclear University MEPHI*

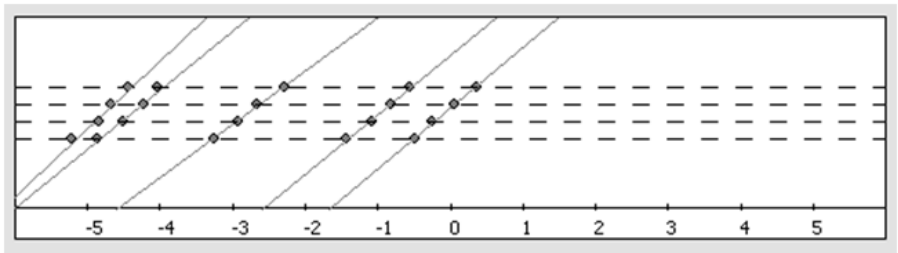
*Phone number: 8(963)756-07-69, e-mail: VSVorobev@mephi.ru*

At the Scientific and Educational Center NEVOD (MEPHI), a large coordinate-tracking detector based on drift chambers for research of muon bundles generated by ultrahigh energy primary cosmic rays is developed [1,2]. One of the main characteristics of the bundle is muon multiplicity.

Three methods of reconstruction of multiple events were developed: the enumeration method, method of a straight line and method of histograms. The last method determines the number of tracks with the same Zenith angle in the event. It is most suitable for the determination of muon multiplicity: because of a large distance to the point of generation of muons, their trajectories are quasiparallel. This work contains results of application of three reconstruction methods to data from the simulation and the experiment, and also first results of the detector operation.



(a)



(b)

Fig.1. Example of the TDC output of the event (a) and the reconstruction (b).

### Literature

1. E.A. Zadeba et al. The coordinate-tracking detector based on the drift chambers for ultrahigh-energy cosmic ray investigations. *Journal of Instrumentation*, 9 (2014) C08018.
2. N.I. Bozhko et al. Drift chamber for the Serpukhov neutrino detector. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, 243 (1986) 388.



## LEUKOCYTES ALLOCATION ON IMAGES OF BONE MARROW BIOPSY IN ACUTE LEUKEMIA

*Zakharenko Y.V., Polyakov E.V., Nikitaev V.G., Pronichev A.N.*

*National nuclear research university «МЭФТИ», Moscow  
phone.: + 7-977-618-51-01, e-mail: Styler-sp@mail.ru*

At this moment, diagnosing of acute leukemia beginning with complete blood count and studying of differential. If there is a deviation then comes biopsy. The smear analysis of bone marrow and blood is making for confirming the presence of blast cells. In view of subjectivity, the complexity and possible errors microscopic studies conducted in the field of automation systems based on the use of digital image processing.

One of the main stages is to separate leukocytes from preparations of peripheral blood and bone marrow images, as it determines the result of the other stages. In the literature review some methods of leukocytes allocation were found. There are methods, based on histogram, thresholds, edges detection, adaptive binarization, k-means method. An analysis of these approaches has been identified several limitations of these methods because of complication of implementing and requiring a lot of resources. Analyzed algorithms showed accuracy near 99% on allocation of leukocytes of peripheral blood. But when there is too much cells in bone marrow, the accuracy falls to 77%. Because of that, development of new algorithm is actual.

The main objective of research work is development of method of leukocytes allocation on bone marrow biopsy images.

The proposed method is based on finding the minimum between the two peaks in the histogram image according to one of the channels. RGB and HSV color models are considered to construct a histogram. As a result, 6 histograms are constructed and threshold automatically calculated for each histogram, which is held on the segmentation of white blood cells. The program was written for the experiment to realize the proposed method. During the experiment, the most effective was the green channel «G» of RGB color model as a result of separation of leukocytes from the bone marrow preparations. Less informative channels were saturation «S» and tone «H» of HSV color model.

Доклады на английском языке

As a result of allocation by automatically calculated thresholds are some false objects. To eliminate false objects used median filtering.

An experimental study was conducted on 2000 images from 10 patients. During experiment their nuclei were allocated. According to the results of the experiment, it was found that the automatic segmentation of the proposed algorithm is sensitive to artifacts in the images. In some cases, incorrectly allocated contacting leukocytes.

Further development of the proposed method is the better searching of correct thresholds in cases when image is dirty or has some artifacts and the allocation of contacting leukocytes.

### **References**

1. Nazlibilek S. et al. Automatic segmentation, counting, size determination and classification of white blood cells //Measurement. – 2014. – T. 55. – C. 58-65.

2. Korde M. et al. A Review on Segmentation and Optimization Of WBC Based on Digital Microscopic Images //National Conference “CONVERGENCE. – 2015. – T. 2015. – C. 28.

3. Review of leukocyte classification techniques for microscopic blood images. 2015 2Nd International Conference On Computing For Sustainable Global Development (Indiacom) [serial online]. January 2015;:1948. Available from: Publisher Provided Full Text Searching File, Ipswich, MA. Accessed October 3, 2015.

**DEVELOPMENT OF THE PROGRAM SYSTEM FOR  
DETECTING GLOMERULOID STRUCTURES ON THE  
PICTURES OF THE HISTOLOGICAL PREPARATIONS OF  
THE PROSTATE**

***Zavarzin A.A.<sup>1</sup>, Rodionova O.V.<sup>1</sup>, Pronichev A.N.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics  
Institute), Moscow  
+7-962-933-57-43., zavarzin.mephi@gmail.com*

In the global structure of oncological morbidity, prostate cancer ranks sixth, and among men - the third. It is remarkable that at least 75% of men aged 85 years and older have histological changes in the prostate that correspond to the diagnosis of cancer. Nevertheless, in the overwhelming majority of cases (90-97%), the presence of malignant growth islands in the prostate does not lead to a pronounced clinical manifestation. A critical problem of oncological urology seems to be the inability to allocate that small proportion of men in whom the presence of malignant islets in prostate tissue is a threat to health [1].

To date, the development and implementation of automated software systems for diagnosing pancreatic cancer are urgent tasks, the solution of which will automate the diagnosis of cancer, increase its accuracy and, therefore, accelerate the decision-making process about methods of medical intervention.

The aim of the work is the development of a software system whose function is the detection of glomeruloid structures, the presence of which on the images of histological preparations of the prostate indicates pathology.

Glomeruloid carcinoma of the prostate is represented by rounded or oval epithelial complexes resembling the glomeruli of the kidney [2]. The presence of glomeruloid structures on the photographs of histological preparations of the prostate gland indicates the presence of a cancer tumor corresponding to four points according to Glysson.

The software system has an intuitive interface (Fig. 1). The result of the algorithm for detecting glomeruloid structures can be observed in the appeared window "Original" (Figure 2). Green areas are allocated to

Доклады на английском языке

areas corresponding to glomeruloid structures, blue - areas that are not sufficiently appropriate for them.

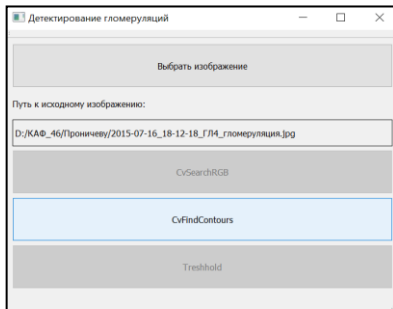


Fig.1. The launch of the algorithm for detecting glomeruloid structures

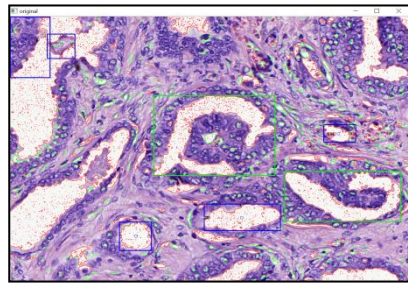


Fig.2. The result is the detection of glomeruloid structures

According to the test results, it can be concluded that the present system can be useful in the diagnosis of prostate cancer because the presence of glomeruloid structures detected by the system on histological specimens shows the presence of a cancer with a fourth degree of Glisson differentiation.

## References

1. Khvastunov R. A. Cancer of the prostate // Bulletin of the Volgograd State Medical University. - 2008. - No. 3 (27).
2. Stratsky A. V., Yushko E. I. Cancer of the prostate. - 2015.
3. Forsythe D., Pons G. Computer vision. Modern approach. - M.: ID Williams, 2004.

**IT – технологии,  
интеллектуальные системы,  
кибербезопасность**

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА  
ГЕКСАПОДА**

***Анкудинов В.Х.<sup>1</sup>, Максимов А.В.<sup>1</sup>, Старков С.О.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга,*

<sup>2</sup> *ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск*

Для работы в зонах недоступных или опасных для человека необходима разработка новых типов роботов умеющих автономно или по команде оператора обходить препятствия, преодолевать завалы, подниматься по ступенькам и т.п. Одним из возможных направлений решения указанной проблемы представляется применение шестиногого шагающего робота–гексапода (Рис.1.)

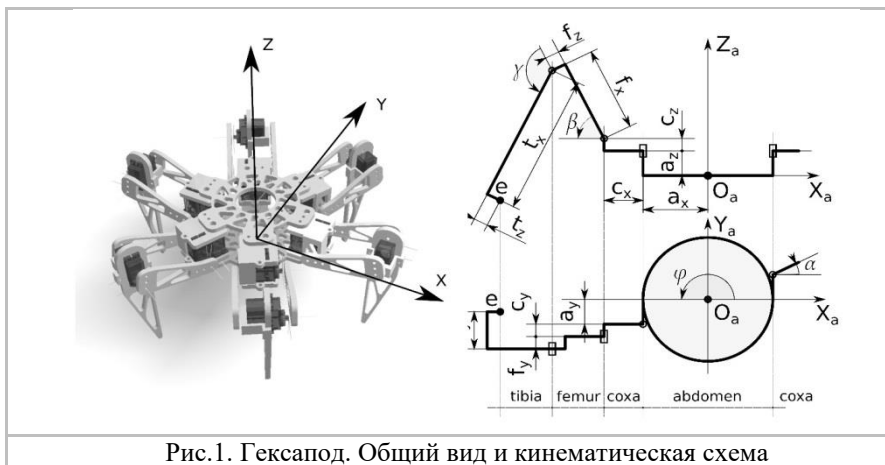


Рис.1. Гексапод. Общий вид и кинематическая схема

Поскольку для статической устойчивости робота достаточно постоянной опоры на три ноги, у шестиногих машин имеется возможность синтеза статически устойчивой походки в любой ее фазе и способность сохранять эту устойчивость даже при частичном отказе одной из ног. Важной особенностью гексаподов является возможность произвольным образом задавать ориентацию корпуса робота в пространстве и сохранять эту ориентацию в процессе

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность движения и преодоления препятствий независимо от направления движения. Это может быть полезно при мониторинге (видеоинспекции) окружающей обстановки или при транспортировке грузов чувствительных к ударам и/или поворотам в пространстве.

Анализ доступных публикаций [1-3] показывает, что в настоящее время нет приемлемых для практического применения методик проектирования таких роботов и проектирования систем управления их движением.

Целью представляемой работы является разработка основных положений инженерной методики управления движением гексапода. На данном этапе решена прямая кинематическая задача в трех основных математических базисах: в направляющих косинусах, на базе гомогенных матриц и на базе дуальных кватернионов. Спроектирован и изготовлен макет гексапода. Разработан и отлажен программный симулятор, позволяющий тестировать алгоритмы управления имитируя различные препятствия, например: кочки, трубы, ступеньки.

В настоящее время проводится работа по созданию алгоритма перестановки ног при движении гексапода через подвижные препятствия произвольной формы.

#### Литература

1. García-López, M.C., Gorrostieta-Hurtado, E., Vargas-Soto, E., Ramos-Arreguín, J.M., Sotomayor-Olmedo, A., Moya Morales, J.C. Kinematic analysis for trajectory generation in one leg of a hexapod robot. The 2012 Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science (2012)
2. Mahdi M. Analytical Workspace, Kinematics, and Foot Force Based Stability of Hexapod Walking Robots. Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, USA (2013)
3. Marcus Hörger. Real-Time Stabilisation for Hexapod Robots Using Task-Space Constraints. Institute of Parallel and Distributed Systems Department of Machine Learning and Robotics University of Stuttgart (2014)

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**АППРОКСИМАЦИЯ ЗАПАСА КРИТИЧНОСТИ РЕАКТОРА  
ВВР-Ц С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ  
НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

***Беляцев И.П.<sup>1</sup>, Лезчиков Д.К.<sup>1</sup>, Старков С.О.<sup>1</sup>, Колесов В.В.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Обнинский филиал НИЯУ МИФИ ИАТЭ, г. Обнинск  
+7-953-323-38-72, djbelyak@gmail.com*

С 1964 г. в городе Обнинске находится в эксплуатации исследовательский реактор ВВР-ц. С 1980 г. на базе реактора ВВР-ц запущено производство радионуклидов медицинского назначения и радиофармпрепаратов на их основе. В связи с успешностью данного направления и выгодным географическим расположением реактора принята долгосрочная программа по реконструкции реактора для увеличения эффективности наработки радионуклеидов[1].

В 2011 году была создана прецизионная модель реактора ВВР-ц. Данная прецизионная модель имеет достаточную точность для расчета запаса критичности реактора. Таким образом, обеспечивается расчеты по модернизации реактора для производства радионуклидов[2].

К существенным недостаткам данной модели относится низкая скорость работы. Расчет запаса критичность для одного состояния реактора занимает примерно 8 часов. С учетом длительности кампании реактора в 100 часов и необходимости расчетов по радиационной безопасности предстоящей кампании, исследователи сильно ограничены при расчетах модернизации реактора.

Таким образом, актуальной является задача создания упрощенной модели, которая позволит исследователям проводить больше вычислительных экспериментов по модернизации реактора. Целью данной работы является создание аппроксимации запаса критичности реактора с использованием искусственной нейронной сети по данным прецизионной модели, а также по измеренным данным прошедших кампаний.

Согласно обобщённой аппроксимационной теореме, можно получить сколь угодно точное приближение любой непрерывной функции многих переменных, используя операции сложения и умножения на число, суперпозицию функций, линейные функции,



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность а также одну произвольную непрерывную нелинейную функцию одной переменной[3]. Таким образом, искусственная нейронная сеть с одним нелинейным слоем может аппроксимировать запас критичности реактора.

Для построения нейросетевой аппроксимации было проведено моделирование 34 кампаний с помощью прецизионной модели, а также использованы данные 24 реальных кампаний. Исходными данными для модели является процент выгорания топлива в каждой тепловыделяющей сборке (ТВС) реактора, а также положения стержней средств управления и защиты (СУЗ) реактора. Результатом работы прецизионной модели является относительное значение запаса критичности.

С помощью библиотеки TensorFlow была создана нейросетевая аппроксимация. После обучения искусственная нейронная сеть показала максимальную ошибку аппроксимации в 3.13%. Средняя ошибка аппроксимации – 1.11%. Время расчета запаса критичности составляет примерно 100 мс. Таким образом, нейросетевая аппроксимация обладает достаточной точностью и скоростью работы для ускорения предварительных расчётов запаса критичности

#### Литература

1. Кочнов О.Ю., Лукин Н.Д. ВВР-ц – этапы реконструкции реактора. Тезисы доклада на XI Российское совещание «Безопасность исследовательских ядерных установок» (Димитровград, 25-30 мая 2009 г.). – С. 35-36.

2. Колесов В.В., Кочнов О.Ю., Волков Ю.В., Украинцев В.Ф., Фомин Р.В. Создание прецизионной модели реактора ВВР-ц для последующей оптимизации его конструкции и наработки  $^{99}\text{Mo}$  и других радионуклидов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – №.4. – С. 129-133.

3. Горбань А. Н. Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей // Сибирский журнал вычислительной математики, 1998, т. 1, № 1. — С. 12—24.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АНАЛИЗА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

**Беляев А.И.**

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск  
+7 915 898 01 98, 861680@rambler.ru*

Программно-аппаратный комплекс предназначен для анализа психофизиологического состояния человека с помощью основных психофизиологических тестов[1], позволяет выявить и объективно оценить скорость реакции и переключения внимания, сообразительность, утомляемость, выносливость, умственную работоспособность, уровень тревожного состояния.

Комплекс предназначен для использования в реабилитационных центрах,

лечебно-профилактических, дошкольных, школьных, в том числе коррекционных и санаторных учреждениях.

Комплекс может быть использован педагогами и психологами, инструкторами по физической культуре и другими специалистами с целью:

- 1) изучения психомоторных, сенсорно-перцептивных особенностей;
- 2) разработки индивидуальных программ обучения и коррекции нарушения развития.

Позволяет выявить и объективно оценить скорость реакции и переключения внимания, сообразительность, утомляемость, выносливость, умственную работоспособность, уровень тревожного состояния и прочего.

Целью проекта является:

Разработать программно-аппаратный комплекс, который состоит из устройства - пульта, а так же программного обеспечения для персонального компьютера, которое будет предоставлять испытуемому тесты и подводить итоги после завершения тестирования.

Ключевыми моментами являются:

1. Анализ продуктов-конкурентов дал возможности реализации более дешевого, точного, простого и понятного устройства.

- IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность
2. Разработка и реализация на практике проекта;
  3. Разработка программного обеспечения для устройства, приложения для компьютера, а так же подбор специальных методик для тестирования.

На данный момент завершено проектирование платы устройства - пульта, состоящий из процессора LPC-1111, из нескольких кнопок на основе транзистора IRLML2060TRPBF, а так же радиомодуля NFR24L01 для связи с компьютером по Wi-Fi. Разводка платы происходит в среде разработки P-CAD[2]. Программное обеспечение для платы устройства написан в программе IAR[3] с использованием языка C#.

Так же завершена написание и отладка программного обеспечения для персонального компьютера на языке C#, добавлены тесты для анализа психофизиологического состояния испытуемого.

Далее предстоит систематизировать анализ по полученным результатам теста и предоставить методику восстановления психофизиологического состояния испытуемого.

В планах увеличение тестов и категорий для тестирования, написание ПО на мобильные устройства и их подключение к пулту.

#### Литература

1. В.А.Таймазов, Я.В.Голуб Психофизиологическое состояние спортсмена (Методы оценки и коррекции) / СПб.: Издательство «Олимп СПб», 2004. – 400с.
2. Инструкция к среде разработки P-CAD [Электронный ресурс].-Режим доступа:[http://www.eurointech.ru/education/selftraining/self\\_pcad/](http://www.eurointech.ru/education/selftraining/self_pcad/) (дата обращения 20.03.2017)
3. Мамаева Т. IAR: программные и аппаратные средства поддержки разработок // Компоненты и технологии. 2008. № 4.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПУЛЬТ СИСТЕМЫ  
ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ**

***Богачев Г. В.<sup>1,2</sup>, Подвысоцкий Р. Г.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

<sup>2</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

конт. тел.: 919-037-00-67, e-mail: [stimul95@yandex.ru](mailto:stimul95@yandex.ru)

Пульт пожарной охраны предназначен для управления противопожарным оборудованием. Он может выполнять функции блочно-модульного прибора приемно-контрольного охранного и пожарного прибора управления световым, звуковым и речевым оповещением, газовым, порошковым аэрозольным и водяным пожаротушением, противодымной защиты, инженерными системами[2].

Таблица 1. Технические характеристики пульта пожарной охраны

Наименование	Характеристики
Проводные шлейфы/разделы	8/16 проводных шлейфов; 32 раздела.
Каналы связи	Встроенный GSM-коммуникатор (GPRS/CSD/Voice/SMS). Две sim-карты. Ethernet. RS-485. [1]
Протокол передачи информации	AdemcoContactID / SurGuard.
Программирование устройства	Через встроенный USB-порт. Удаленно через Ethernet / CSD.
Дополнительные выходы	Питание датчиков. 4 дискретных выхода (открытый коллектор).

Пульт выставляется в рабочий режим, то есть под охрану, при помощи ввода числовой комбинации, либо посредством ключа Touch Memory. Прибор поддерживает до 32 пользователей, при этом возможно взятие/снятие нескольких рабочих разделов одним кодом пользователя. В устройстве имеется выход для подключения сирены с характеристиками 12В, 300мА. Напряжение питания 12В. Ток потребления в дежурном режиме порядка 250-650мА. Ток потребления в тревоге при передаче событий до 1А. Так же пульт оснащен резервным источником питания, а именно аккумуляторной батареей с напряжением в 12В.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Внешний вид разрабатываемого устройства был создан с учетом единого государственного стандарта ГОСТ[3]. Корпус представлен коробом прямоугольной формы, на передней части которого расположена клавиатура ввода информации (Рис.1). Пульт имеет возможность ввода порядка 255 кодов пользователей, а так же реализует подключение дополнительных проводных клавиатур.



Рис.1. Клавиатура ввода информации пульта пожарной охраны.

Данный прибор разработан по заказу предприятия IVS-сигналспецавтоматика и прошел испытания весной 2017 года.

#### Литература

1. В. Sklar. Digital Communications: Fundamentals and Applications. Second Edition (2003)
2. С. В. Соруб. Установка пожарной сигнализации. Пожарная безопасность предприятия. (Москва,2012)
3. ГОСТ Р 53325-2012. Национальный Стандарт Российской Федерации. Техника пожарная. Технические Средства Пожарной Автоматики. Общие Технические Требования и Методы Испытаний. (2014)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СУСПЕНЗИЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ**

***Бурмистрова И.В., Ефремова Т.А.***

*Балаковский инженерно-технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного университета*

*«МИФИ», г. Балаково.*

*тел.89518826943; [irina.burmistrova.1996@mail.ru](mailto:irina.burmistrova.1996@mail.ru)*

Магнитные суспензии благодаря своим уникальным свойствам с каждым днем все больше находят свое применение в промышленности, технике, медицине, приборостроении и других отраслях. Электроимпульсное диспергирование происходит за счет электрогидравлических ударов, являющихся следствием электрогидравлического эффекта (ЭГЭ). Явления, происходящие при ЭГЭ, представляют большой интерес, так как процессы являются быстротекущими, то их регистрация и визуализация затруднена или невозможна. Поэтому моделирование процесса перемешивания при воздействии на дисперсную среду электрогидравлического воздействия является актуальной задачей. Модель разработана в Autodesk 3ds Max [2] на базе электрогидравлического преобразователя импульсного действия, конструкция и принцип работы которого описан в [1]. В основе электрогидравлического эффекта лежит явление резкого увеличения гидравлического и гидродинамического эффектов и амплитуды ударного действия при осуществлении импульсного электрического разряда в ионопроводящей жидкости при условии максимального укорочения длительности импульса, максимально крутом фронте импульса и форме импульса, близкой к аperiodической [3]. Смоделирован процесс образования разряда в межэлектродном промежутке (рис.1), процесс образования, развития и схлопывания кавитационной полости (рис. 2), процесс образования магнитной суспензии, путем добавление в дисперсную среду частиц феррита с использованием олеиновой кислоты в качестве поверхностно-активного вещества (рис.3).



Рис.1. Прорастание стримеров в межэлектродном пространстве

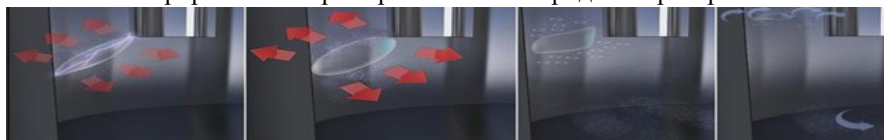


Рис.2. Образование кавитационной полости



Рис.3. Процесс образования магнитной суспензии

Виртуальная модель процесса приготовления магнитных суспензий позволяет наглядно изучать физические процессы, которые происходят в жидкости при высоковольтных разрядах. Также возможно изучение процесса диспергирования и адсорбции жидкостей с применением поверхностно-активных веществ, процессов кавитации в жидкости при гидравлических ударах в ней.

#### Литература

1. Т.А. Ефремова. Экспериментальные исследования влияния емкости конденсаторной батареи на параметры эмульсий, приготовленных в ЭГПВД. (Саратов: 2007).
2. Ш.Бонни, С. Анзовин. Внутренний мир 3ds Max 9. (М: Вильямс. 2009).
3. Л.А. Юткин. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. (М: Машиностроение. 1986).

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИНФРАКРАСНЫХ СПЕКТРОВ  
МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

***Гачковский Д.А.<sup>1,2</sup>, Скоморохов А.О.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Utech-NN, Москва*

<sup>2</sup> *ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск*

+7-966-125-35-70, [dmitrygach@gmail.com](mailto:dmitrygach@gmail.com)

Подавляющее большинство техники в процессе своей эксплуатации нуждается в смазочных материалах. Масла создают разделяющую пленку между трущимися частями, предотвращая их разрушение. Со временем масло деградирует и начинает терять смазывающие свойства и становится скорее абразивом, ускоряющим износ системы [1].

Современный взгляд на эксплуатацию предполагает осознанный подход к замене смазочных материалов и техническому обслуживанию техники посредством мониторинга состояния масла. Анализ масла позволяет по ряду параметров (около 40 для моторного масла) оценить состояние системы [2].

Одним из таких параметров является спектр масла в инфракрасном диапазоне, который содержит массу информации о составе масла. По ИК спектру масла можно определять содержание присадок и загрязнителей, таких как вода, топливо, сажа, гликоли, продуктов нитрования, сульфирования и т.д.

Современные методы анализа данных позволили создать компактный и значительно более дешевый по сравнению с классическим спектрометр (за счет сужения рабочего диапазона), работающий на побочных пиках спектра. Математические модели для работы такого спектрометра на данный момент находятся в стадии активной разработки.

Целью данного исследования является создание хемометрических моделей, которые могли бы позволить диагностировать состояние масла при помощи вышеупомянутого типа спектрометров.

В начале исследования были получены 25 инфракрасных спектров проб моторного масла из различных машин. Для проб также были получены значения всех параметров в независимой специализированной лаборатории, а результаты анализа проинтерпрети-



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность ваны экспертом. Для оценки группирования полученные спектры были дискретизированы (128 длин волн), и помещены в качестве точек в 128-мерное пространство. Для визуальной оценки размерность пространства была понижена с помощью нелинейного отображения Сэммона (рис. 1).

Группы, обнаруженные в результате применения алгоритмов кластеризации можно описать следующим образом: 1 – группа свежего масла, пакет присадок и ресурс масла значительные (70%-90%); 2 – группа масла, отобранного из аварийной техники; 3 – масла, отобранные перед наступлением срока замены масла из техники, находящейся в исправном состоянии. Таким образом, было подтверждено, что разделение спектров полученной выборки масел на группы имеет под собой физический смысл.

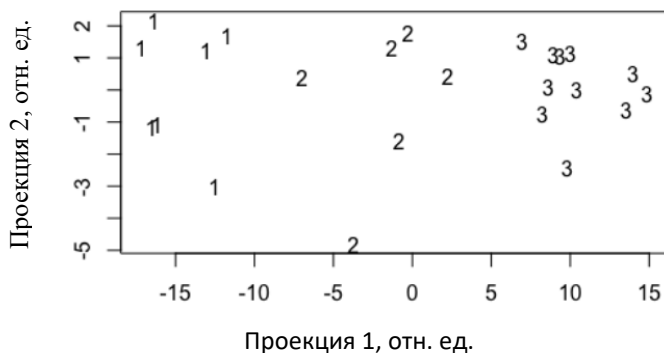


Рис.1. Разделение спектров на группы

#### Литература

1. Е. Новиков, к.х.н., М.Кирюхин, Анализ масла в процессе эксплуатации. Аналитика. 2015. Вып. 22.
2. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел. Основы и применение. Пер. с англ.; под ред. Е.А.Новикова, М.В.Кирюхина. – СПб.: ЦОП "Профессия", 2014.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

***А.А. Горбунов<sup>1</sup>, Е.А. Исаев<sup>1,2</sup>, В. А. Самодуров<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Москва*

*<sup>2</sup>Пуцинская Радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пуцино  
+7 (962) 365 7394, [agorbunov@hse.ru](mailto:agorbunov@hse.ru)*

В процессе астрономических наблюдений собираются огромные объемы данных. БСА (Большая Сканирующая Антенна) ФИАН, используемая при исследовании импульсных явлений [1], ежедневно регистрирует 87.5 Гбайт данных (32 Тб в год). Эти данные имеют большое значение как для краткосрочного, так и для долгосрочного мониторинга различных классов радиоисточников (в том числе радиотранзиентов различной природы), мониторинга ионосферы Земли, межпланетной и межзвездной плазмы, поиска и мониторинга различных классов радиоисточников [1]. В рамках проведенного исследования обнаружены 83096 индивидуальных импульсных событий (на отрезке исследования выделено июль 2012 - октябрь 2013), которые могут соответствовать пульсарам, мерцающим источникам и быстрым радиотранзиентам. [1].

Обнаруженные импульсные события предполагается использовать для фильтрации последующих наблюдений. Поскольку на текущий момент не разработано средств автоматической фильтрации предполагается использовать для этой цели методы статистического анализа. Альтернативным вариантом является создание многослойной искусственной нейронной сети (ИНС), которая будет обрабатывать, поданные на вход первичные данные, и после обработки скрытым слоем, посредством выходного слоя выдавать класс импульсного явления.

Для интеллектуальной классификации 83096 импульсных явлений необходимо использовать многослойную ИНС, состоящую из нескольких тысяч элементов. Проведение практических экспериментов по обучению классических искусственных нейронных сетей с тысячами элементов показывает, что требуется несколько десят-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность ков часов, чтобы сеть начала проявлять признаки осмысленного поведения.

Обучение квантовых нейронных сетей (КНС) происходит с экспоненциальной скоростью [2]. Модель КНС, использующая оптическую интерференцию, впервые приводится в работе А. Власова [3]. В 2000 г. Д.Вентура и Т.Мартинец предложили квантовую реализацию модели ассоциативной памяти основанную на алгоритме Гровера, а Е.Берман с соавторами - идею физической реализации квантовой нейронной сети в виде массива квантовых точек. Большинство предложенных квантовых нейронных сетей [3,4] представляет собой самоорганизующиеся сети (работающие без учителя). В этих сетях весовые коэффициенты определяются параметрами решаемой задачи. В 2001 г. М.Алтайским [5] была предложена модель квантового перцептрона – сеть, обучение которой производится с учителем.

В исследованиях последних лет приводятся результаты экспериментов, проведенных с использованием КНС для моделирования сложных экономических и физических процессов. Задача автоматической классификации астрономических явлений пока еще не решена. В качестве перспективного метода решения может быть использована модель квантовой нейронной сети.

#### Литература

1. Samodurov V. A., Dumsky D. V., Isaev E., Rodin A. E., Kazancev A. N., Fedorova V. A., Belyatskij Y. A. The daily 110 Mhz radio wave sky survey: statistical analysis of impulse phenomena from observation in 2012-2013 // Odessa Astronomical Publications. 2016. Vol. 29. P. 167-170.
2. Булавин Д.А. Анализ организации, обучения и применения квантовых нейронных сетей // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики, 2013, №163
3. Vlasov A. Yu. “Quantum Computations and Images Recognition,” Conference QCM’96, Full paper: Report No. quant-ph/9703010
4. Nobuyuki Matsui, Haruhiko Nishimura, Teijiro Isokawa Qubit Neural Network: Its Performance and Applications // Complex-Valued Neural Networks: Utilizing High-Dimensional Parameters, 2009
5. Altaisky M.V. Quantum neural network. Technical report, 2001.

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ

***Горенков Е.С., Скоморохов А.О.***

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*

*конт. тел. 89805116128, e-mail: gorenkovegor@gmail.com*

В настоящее время информация является одним из важнейших ресурсов в мире, а информационные системы стали необходимым инструментом практически во всех сферах деятельности организаций, в том числе и диагностике. Прикладные программы и инструменты диагностических информационных систем позволяют модернизировать рабочий процесс и совершенствовать методы диагностирования. Ключевыми задачами интеллектуального анализа являются задачи: классификации, регрессии, предсказания и т.д. В работе использовался метод логистической регрессии.

Логистическая регрессия – инструмент для решения задачи регрессии и классификации, также разновидность множественной регрессии, назначение которой состоит в анализе связи между несколькими независимыми переменными и зависимой переменной [1]. Для решения задач регрессии использовалась следующая логическая (регрессионная) функция (1):

$$P = \frac{1}{1 - e^{-y}} \quad (1)$$

где,

$P$  – вероятность того, что произойдет интересующее событие;

$e$  – основание натуральных логарифмов  $2,71 \dots$ ;

$y$  – стандартное уравнение регрессии.

Без логистической регрессии и ROC- анализа – аппарата для анализа качества моделей – немыслимо построение моделей в медицине и проведение клинических исследований. В последние годы логистическая регрессия получила распространение в скоринге для расчета рейтинга заемщиков и управления кредитными риска-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность ми [2]. Поэтому, логистическую регрессию и ROC-анализ почти всегда можно увидеть в наборе Data Mining алгоритмов.

Из сказанного выше целью работы является изучение программного обеспечения и современных методов решения задач диагностики на примере работы с фактическими данными.

В данной работе идет работа с набором данных, содержащим информацию о случаях сахарного диабета среди индейцев Пима.[3] В массиве данных присутствовали следующие признаки: Количество глюкозы в крови, кровеносное давление, толщина кожи, индекс массы тела, возраст. Все данные являются числовыми, а задача представляет собой двух классовую классификацию (1 и 0, больные и здоровые). При расчете логистической регрессии были найдены значимые параметры (Glucose, Body Mass Index, Diabetes Pedigree Function), в большей мере влияющие на конечный результат. Были оценены ошибки первого и второго рода, и рассчитана точность используемой модели.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что результаты полученные в ходе изучения методов классификации, в частности логистической регрессии, на примере фактических данных получили результаты, которые наглядно показывают перспективность использования данных методов в задачах диагностики объектов, а также возможность расширения области их применения.

#### Литература

1. Барсегян, А.А. Степаненко В.В. Технологии анализа данных: Data Mining 2-е издание, (БХВ-Петербург, 2007.);

2. Владимир Р. Data Mining, или Интеллектуальный анализ данных для занятых.

3.Pima Indians Diabetes Data Set [сайт]. Режим доступа: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Pima+Indians+Diabetes>

(Дата обращения 04.03.17)

4.Случай сахарного диабета индейцев Пима [сайт]. Режим доступа: <https://www.kaggle.com/uciml/pima-indians-diabetes>

(Дата обращения 04.03.2017).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗНАНИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ**

**Горкун О.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Балаковский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ  
МИФИ, Балаково  
8-937-972-20-72, [olja\\_gorkun@mail.ru](mailto:olja_gorkun@mail.ru)

Одной из проблем использования компьютерных обучающих систем (КОС) является объективная оценка знаний на основе полученных в процессе обучения сведений, которые, как правило, не являются достаточно точными для применения традиционных методов принятия решений.

В таких случаях для оценки знаний могут применяться нечеткие модели. Такие модели обладают гибким математическим аппаратом, позволяющим адекватно описать зависимости, не подлежащие строгой формализации [1].

Тогда модель оценки знаний за пройденный курс обучения строится в виде нечеткого взвешенного графа, вершинами которого являются:  $D$  – значение в баллах итоговой оценки по дисциплине,  $M_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) – значение оценок за модуль (раздел) дисциплины,  $K_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) – уровень сформированности компетенций.

Для определения весов в данном графе введем лингвистическую переменную «Степень влияния», которая задается множеством значений «низкий уровень», «уровень ниже среднего», «средний уровень», «уровень выше среднего», «высокий уровень» [2].

В качестве семейства функций принадлежности создаем пяти-уровневый классификатор на 01-носителе и определяем соответствующие функции принадлежности:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 0,15 \\ 10(0,25 - x), & 0,15 \leq x \leq 0,25 \\ 0, & 0,25 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

$$\mu_2 = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,15 \\ 10(x - 0,25), & 0,15 \leq x \leq 0,25 \\ 1, & 0,25 \leq x \leq 0,35 \\ 10(0,45 - x), & 0,35 \leq x \leq 0,45 \\ 0, & 0,45 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (2) \quad \mu_3 = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,35 \\ 10(x - 0,35), & 0,35 \leq x \leq 0,45 \\ 1, & 0,45 \leq x \leq 0,55 \\ 10(0,65 - x), & 0,35 \leq x \leq 0,65 \\ 0, & 0,65 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,55 \\ 10(x - 0,55), & 0,55 \leq x \leq 0,65 \\ 1, & 0,65 \leq x \leq 0,75 \\ 10(0,75 - x), & 0,75 \leq x \leq 0,85 \\ 0, & 0,85 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4) \quad \mu_5 = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,75 \\ 10(x - 0,75), & 0,75 \leq x \leq 0,85 \\ 1, & 0,85 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

Далее определяем нормализованный вектор локальных приоритетов, со следующими компонентами:

$$b_i = \frac{a_i}{\sum_i a_i}, \text{ где } a_i = n \sqrt{\prod_j a_{ij}}. \quad (6)$$

Таким образом, модель оценки знаний в КОС на основе нечетких множеств позволит обеспечить учет слабо структурированных критериев оценки деятельности обучаемых.

### Литература

1. А.А. Большаков, О.В. Виштак, Д.А. Фролов. Методика и алгоритмы управления интерактивной компьютерной обучающей системой для подготовки персонала атомной станции. Современные наукоемкие технологии. № 6-2. С. 234-240 (2016)
2. И. А. Штырова. Методы мониторинга качества образовательного процесса. Психолого-педагогический журнал Гаудеамус. Материалы XVII международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы информатики и информационных технологий». № 2 (22). С. 230-233 (2013)

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

## **МНОГОЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

*Далевич С.Д.*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Обнинский институт атомной энергетики, Обнинск  
+7(903)917-89-11, [poopkiss@mail.ru](mailto:poopkiss@mail.ru)*

Многоцелевой программно-аппаратный комплекс на основе беспроводных технологий передачи данных – это устройство, предназначенное для осуществления процессов мониторинга и сбора информации.

Актуальность данной работы заключается в создании мобильного устройства, которое может осуществлять мониторинг территории, осуществлять аэрографическую съемку для составления плана местности, производить осмотр магистралей и прочих объектов инфраструктуры (в режиме ручного управления), доставку мелкогабаритных грузов (при содействии оборудования и создании правовых норм в РФ), участвовать при проведении спасательно-поисковых операций и т.д. При оснащении комплекса фотокамерой высокого изображения можно создавать: фотосхемы, планы местности, модели высот рельефа. Камера инфракрасного диапазона позволяет осуществлять контроль и поиск неисправностей на энергетических объектах (котельные, теплотрассы, электростанции и отдельные ЛЭП). При установке мультиспектральной камеры можно производить анализ лесопарковых территорий.

Новизна работы заключается в использовании беспроводного канала передачи данных и организации беспроводной локальной сети для управления устройством. Управление осуществляется при помощи выделенного канала связи в диапазоне частот 2.4 ГГц. Следующей особенностью является модульность комплекса и возможность установить на него разнообразное оборудование для получения необходимой информации в зависимости от требуемых задач. Прием и передача данных осуществляется в режиме реального времени. Так же есть возможность привязки полученных ре-



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность результатов к координатам и возможность прокладки маршрута по заданным заранее координатам (работа по летному заданию). Целями данной работы являются:

1. Автоматизация процессов мониторинга;
2. Автоматизация процессов контроля показателей и получения данных;
3. Поддержка и развитие данного направления в РФ.

Низкоуровневая часть устройства состоит из микрокомпьютера Raspberry Pi и полетного контроллера, на котором расположены периферийные устройства: барометр, гироскоп, GPS-модуль и прочее. За питание комплекса отвечает литий-ионный полимерный аккумулятор с рабочим напряжением 14.8В. Для питания плат был изготовлен специальный силовой модуль, понижающий напряжение до 5В.

Для приема и передачи команд управления и телеметрии используется связка из приемник-передатчика. Блок приемника размещается на раме устройства и подключается к управляющей плате. Управление комплексом осуществляется с наземной станции управления (Ground Control Station) или с пульта оператора. Наземной станцией управления может являться любой персональный компьютер или ноутбук, планшет, смартфон. Для передачи видеопотока в режиме реального времени используются новейшие сети четвертого поколения со скоростью передачи данных до 25 Мбит/с. При этом максимальная задержка не должна превышать 250-350 мс.

#### Литература

1. Лопаткин А.В., P-CAD 2004. (СПб.: БХВ - Петербург, 2006. – 560 с., 2012);
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. (СПб.: Питер, 2010. – 944 с., 2015);
3. Стивенс У.Р., Раго С., UNIX. Профессиональное программирование, 2-е изд. (СПб.: Символ-Плюс. – 1040 с., 2011).

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**ИНТЕРПРЕТАТОР ЯЗЫКА ОПЕРАЦИЙ НАД  
СЛУЧАЙНЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ**

*Дукина А.Е.*

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск  
8 (961) 006-48-57, aliena08dukina@gmail.com*

Традиционный способ получения характеристик случайных величин, являющихся результатом алгебраических операций над другими случайными величинами, - моделирование методом Монте-Карло. Однако данный способ вычисления занимает много времени и его результаты не всегда точны, а повышение точности требует больших вычислительных ресурсов. В то же время вычисление, например, функции плотности распределения суммы двух случайных величин сводится к вычислению свертки плотностей слагаемых. Так можно выразить и другие алгебраические операции.

Примером реализации такого подхода является PaCAL. Это библиотека, написанная на языке программирования Python, которая позволяет проводить операции над случайными величинами. Операции выполняются численно и их результаты позволяют интерполировать произвольные арифметические операции над случайными величинами для практически любого распределения вероятности, встречающегося на практике [1].

JRandom – аналогичная библиотека на языке программирования Java, которая позволяет настраивать параметры непрерывных распределений случайных величин и выполнять алгебраические операции над ними [2].

Целью работы является создание интерпретатора для библиотеки JRandom. Для этого используется ANTLR. Это генератор парсеров, позволяющий автоматически создавать программу-парсер (как и лексический анализатор) на одном из целевых языков программирования (C++, Java, C#, Python, Ruby) по описанию грамматики. Библиотека позволяет конструировать компиляторы, интерпретаторы и трансляторы с различных формальных языков. Также ANTLR предоставляет удобные средства для восстановления после ошибок и сообщения о них. [3].

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Работу над интерпретатором языка операций можно разбить на 2 этапа: разработка грамматики и модификация классов, созданных ANTLR по структуре разработанной грамматики.

Грамматика JRandom.g4 включает в себя формальное определение выражений, арифметических операций над случайными величинами (сложение, вычитание, умножение, деление), а также возможность создания случайных величин, подчиняющихся нормальному, логнормальному или равномерному распределению.

ANTLR согласно разработанной грамматике создает следующие java-классы и интерфейсы: JRandomBaseListener (базовый класс слушателя с пустыми методами), JRandomBaseVisitor (базовый класс посетителя с пустыми методами), JRandomLexer (содержит определение класса лексера в указанном порядке), JRandomListener (интерфейс слушателя для прохода через синтаксическое дерево и его обработки), JRandomParser (содержит определение класса парсера в соответствии с разработанной грамматикой) и JRandomVisitor (интерфейс посетителя для прохода через синтаксическое дерево с использованием шаблона проектирования посетителя) [3]. Для реализации интерпретатора пустые методы заменяются содержательными, которые используют алгоритмы из библиотеки JRandom для выполнения требуемых операций.

В главном классе сначала считывается входной поток данных, который с помощью лексера разбивается на токены, необходимые для построения дерева разбора.

#### Литература

1. S. Jaroszewicz and M. Korzen. PaCAL: A Python package for arithmetic computations with random variables. Journal of Statistical Software. Vol.57. Issue 10. P.1-34 (2014).

2. О.А. Мирзеабасов. Компьютерное моделирование последствий ядерной аварии и результатов применения защитных мероприятий: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.16 (Обнинск, 1999).

3. T. Parr. The Definitive ANTLR 4 Reference. Pragmatic Bookshelf (2013).

*Егоров А.Д.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ФАГОУ ВО НИЯУ «МИФИ», Москва  
89152949176, egorovalexeyd@gmail.com*

Распознавание образов при анализе видеопотока или отдельных изображений называется компьютерным зрением. Компьютерное зрение используется во многих современных технологических решениях по обеспечению безопасности объектов и дорожного движения, анализу и распознаванию личности, построения дополненной реальности. Важным элементом в работе алгоритмов компьютерного зрения является механизм обнаружения конкретного объекта на изображении.

Одним из самых распространенных механизмов [1] является метод Виолы-Джонса [2]. Его использование состоит из нескольких этапов: создание интегрального изображения, подбор (при необходимости с обучением) каскада, выбор параметров для работы конкретной реализации алгоритма (подбор параметров без учета времени рассмотрен в [3]).

Большинство работ в исследовании алгоритма посвящены улучшению качества обучения каскада или повышению точности и скорости работы алгоритмов сравнения предполагаемого объекта. В данной работе рассматриваются параметры конкретной реализации алгоритма, а также методы их оптимизации с целью получения наибольшей точности при наименьшем среднем времени работы при работе с инфракрасными изображениями для конкретного заднего фона и освещенности.

В первой части работы предлагается для каждой конкретной базы изображений проводить серию экспериментов, выявляя точность и время работы. Итоговая функция оптимизации выглядит следующим образом:

$$Q = a * (1 - F) + bT \quad (1)$$

Коэффициенты можно подобрать любым способом, в данной работе предлагается вариант нормализации значений  $a = 1, b = \max(T)$ .

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Используя (1) возможно подобрать такие параметры работы системы, которые позволяют добиться точности работы на 3% меньшей, чем максимально возможная для имеющийся выборки, получая почти 10-ти кратный выигрыш по времени работы. Такой результат приемлем в случае работы с маломощными системы (что означает, что они значительно более дешевы).

Во второй части работы на таких же принципах рассматривается база инфракрасных изображений тех же объектов, что и в первой части работы.

Проводится подбор параметров для алгоритма с использованием базовых обученных каскадов.

Для проведения сравнений в рамках работы были разработаны собственные алгоритмы, а также система, позволяющая в автоматизированном режиме получить возможность проводить сравнение алгоритмов между собой.

Исследование выполнено в рамках темы 00-2-026-4209 «Апробация технологии снижения риска возникновения и уменьшения последствий катастроф техногенного происхождения за счет минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов» в соответствии с конкурсной частью госзадания НИЯУ МИФИ на 2017-2019г.г.

#### Литература

1. Casas D. Real time face tracking methods: Master's Thesis. / Universitat Autònoma de Barcelona, 2009. 90 p.

2. P. Viola, M.J. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001

3.A.D. Egorov, A.N. Shtanko, P.E. Minin. Selection of Viola-Jones Algorithm Parameters for Specific Conditions. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2015, Vol 42, No 8, pp 244-248.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС  
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦВЕТОМ  
НА ЗРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ЧЕЛОВЕКА С ЦЕЛЬЮ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАПОМИНАНИЯ  
СТИМУЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

**Жучков М.М.<sup>1,2</sup>, Подвысоцкий Р.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г.Обнинск

<sup>2</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г.Обнинск

конт. тел.: 910-529-77-73, e-mail: [zuchkovmikhail@gmail.com](mailto:zuchkovmikhail@gmail.com)

Комплекс предназначен для изменения функционального состояния человека. Устройство представляет собой очки с 46 светодиодами. Каждый отдельный светодиод может быть запрограммирован на определенный режим работы, что обеспечивает возможность настройки прибора индивидуально под каждого человека для обеспечения максимальной эффективности.

Таблица 1. Технические характеристики комплекса.

Наименование	Характеристики
Светодиоды	46 светодиодов. 24-RGB, 16-RB, 6-В
Каналы связи	Wi-Fi, Bluetooth, USB
Программирование устройства	Через встроенный USB-порт. CSD.
Дополнительные выходы	Выходы для подключения звукового устройства и наушников.

Целью проекта является:

Разработать устройство, позволяющее изменять функциональное состояние человека на необходимое благодаря физиологическому воздействию цвета на организм человека через зрительные анализаторы. Разработать методики, обеспечивающие максимальную эффективность сеансов использования устройства.

Ключевыми моментами являются:

1. Анализ продуктов-конкурентов дал возможность реализации более дешевого и более функционального устройства.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

2. Разработка и реализация на практике проекта;

3. Разработка методик воздействия цвета, программного обеспечения для устройства и приложения для компьютера.

Алгоритм работы устройства будет составляться посредством разработки методик, которые в своем основании содержат психофизиологический эффект воздействия цвета на человека. Первоначальная проверка работоспособности устройства будет производиться с помощью следующих методик[1]:

1. Испытуемый из семи цветов радуги выбирает 4 приоритетных цвета, после этого устройство настраивается таким образом, что цвет, которым будет загораться светодиод, зависит от приоритета. В центре загораются наиболее приоритетные цвета, по краям - наименее приоритетные.

2. Устройство воспроизводит заранее настроенный алгоритм, в данном случае приоритет цветов испытуемого не учитывается. Проверка функционального состояния человека будет производиться с помощью теста Люшера[2] и САН(Самочувствие-активность-настроение). Качество запоминания будет оцениваться на основании тестов запоминания: логически не связанного материала, чисел, лиц с именами и фамилиями, логически связанного материала[3].

Внешний вид устройства был разработан с учетом аналогичных устройств на рынке и личных предпочтений. Корпус представляет собой изогнутый короб, прямоугольной формы. На внутренней части устройства располагаются светодиоды. На боковой части корпуса находятся кнопки управления и различные разъемы.

В дальнейшем предполагается доработка существующих методик, разработка новых, добавление к цветовому воздействию звукового.

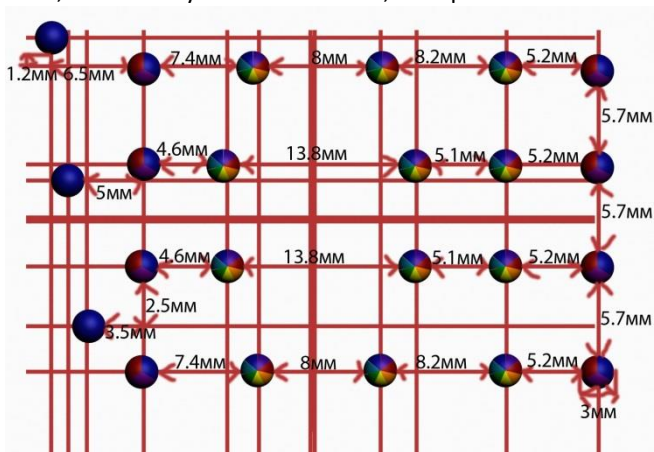


Рис. 1. Расположение светодиодов на корпусе устройства для одного глаза.

#### Литература

1. Урванцев Л.П. Психология восприятия цвета. Методическое пособие. - Ярославль, 1981. 65 с.
2. Luscher M. The Luscher color test. — L., 1970.
3. Ф. Лезер. Тренировка памяти. Стр. 22-30 (М: Эйдос. 1995)



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ  
КОНФИГУРАЦИОННЫХ ДАННЫХ КАНАЛА К-500  
НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

**Ильина М.А., Чеблаков П.Б.**

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
8-953-773-2213, ilyina.mariam@gmail.com*

Одной из важнейших частей любой физической установки или комплекса является система управления, которая обеспечивает полный контроль над всеми компонентами установки. Для корректной работы системы управления установки программным компонентам требуются конфигурационные данные, которые достигают значительных объемов и высокой разнородности в больших экспериментальных комплексах [1]. В настоящее время в мире нет единого подхода к хранению настроек. Цель работы состояла в реализации хранилища настроек, которое позволит обеспечивать непротиворечивость данных и автоматизировать их обработку.

#### **Анализ возможных подходов к хранению настроек**

В процессе исследования предметной области было выявлено, что хранение настроек непосредственно на локальных машинах, в специальных файлах, усложняет процесс контроля над системой в целом. Использование реляционных баз данных также оказывается неэффективным при выполнении сложных запросов, относящихся к большому количеству объектов системы. В качестве альтернативного варианта были изучены *NoSQL* системы – агрегатно-ориентированные и графовые модели данных.

В итоге выбор был сделан в пользу онтологической модели данных в качестве хранилища настроек и вспомогательной информации о системе. *Онтологией* называется схема понятий и связей между объектами некоторой предметной области, в совокупности с принятыми в этой области правилами [2]. Формирование базы знаний конфигурационных данных предоставляет более широкие возможности для описания и семантического анализа структуры установки.

#### **Разработка хранилища конфигурационных данных**

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Разработка онтологической модели хранилища данных для канала К-500 (ИЯФ СО РАН), транспортирующего пучок из инжекторного комплекса в коллайдер, шла в два этапа. С одной стороны, были описаны базовые классы и объекты, используемые системой контроля (СХ-сервером) для управления устройствами канала К-500. Онтология содержит такие классы, как тип устройства, устройство, канал системы управления, точка контроля. В результате, конфигурационный файл, необходимый системе контроля может быть сгенерирован из содержащихся в онтологии утверждений.

С другой стороны, после изучения устройства электрических соединений управляющей электроники, в базу знаний были внесены её характеристики, структура и все обслуживающие устройства. В совокупности эти две онтологии, после установления взаимосвязей между реальными устройствами и их прототипами в системе управления, дают полную информацию об управлении установкой К-500.

Для создания онтологии на языке *OWL* использована платформа *Protégé* [3]. К сформированной базе знаний можно совершать запросы на языке *SPARQL* программным образом, а также с помощью созданного пользовательского интерфейса. В перспективе в базу знаний может быть внесена любая дополнительная информация об устройстве установки помимо конфигурационной.

#### Литература

1. P. Cheblakov et. al. Configuration system of the NSLS-II Booster Control System electronics. Proceedings of International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, ICALEPCS 2013, San Francisco, USA. P.100-102 (2013).
2. N. Guarino et. al. What is an ontology? Handbook on ontologies. 2nd edition. Springer-Verlag. P.19-25 (2009).
3. M. Horridge. A practical guide to building OWL ontologies using Protege 4 and CO-ODE Tools. 1.3 ed. The University of Manchester, USA. P.13-75 (2011).

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**2D-МОДЕЛИ ТИПОВЫХ ЗВЕНЬЕВ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

***Климанова Е.В.<sup>1</sup>, Максимов А.В.<sup>1</sup>, Старков С.О.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга

<sup>2</sup> ИАТЭ НИЯ МИФИ, Обнинск

конт. тел. +79805119109, e-mail, [e.v.klimanova@yandex.ru](mailto:e.v.klimanova@yandex.ru)

В настоящее время внимание исследователей и проектировщиков систем управления привлекают разработки с привлечением аппарата комплексных и гиперкомплексных чисел [1]. Это связано с необходимостью получать больше информации о состоянии сложной системы при одинаковых затрачиваемых ресурсах. Целью настоящей работы является определение области возможного применения комплекснозначных функций для моделирования систем автоматического управления.

Рассмотрим линейную стационарную систему управления, математическая модель которой представляется линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами с нулевыми начальными условиями [2]:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x(t) = b_m \frac{d^m y}{dt^m} + \dots + b_0 y(t), \quad (1)$$

Пусть входное воздействие  $y(t)$  будет комплекснозначной функцией времени  $t$ , то есть  $y(t) = y_1(t) + iy_2(t)$ .

Тогда, в общем случае, выходной сигнал систему управления будет представляться комплекснозначной функцией вида:

$$x(t) = x_1(t) + ix_2(t)$$

Матричная форма записи комплексных чисел  $z = a + ib$  имеет вид [1]:

$$z = a * E + b * I = a \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + b \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix}$$

Для решения задачи моделирования звеньев систем управления во множестве комплексных чисел  $C$  преобразуем уравнение (1), введя дифференциальные операторы [2]:

$$A_1(p)x_1(t) + iA_2(p)x_2(t) = B_1(p)y_1(t) + iB_2(p)y_2(t). \quad (2)$$

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Преобразуем алгебраическую форму записи дифференциального уравнения (2) в матричную:

$$\begin{bmatrix} A_1(p) & A_2(p) \\ -A_1(p) & A_1(p) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1(p) & B_2(p) \\ -B_1(p) & B_1(p) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Разрешая последнее матричное уравнение относительно выходных сигналов, получим:

$$X(t) = A(p)^{-1} \cdot B(p)Y(t) = W(p)Y(t), \quad (4)$$

здесь

$$W(p) = A(p)^{-1} \cdot B(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

-матричная передаточная функция системы управления.

Схема обобщенной системы управления, построенная на основании (4), представлена на рисунке 1. Эту схему назовем «матрично-комплекснозначная».

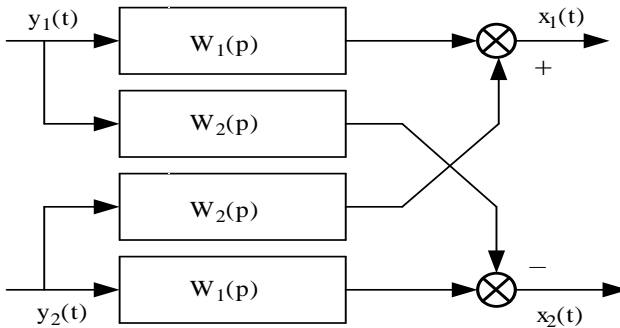


Рис.1. Схема матрично-комплекснозначной системы управления.

Как видно из рисунка новая система является *полностью связанной*. Это означает, что от таких систем, следует ожидать расширения функций при их конкретных технических реализациях.

Вывод: предлагаемый математический метод может быть применен для разработки и исследования особенностей двумерных передаточных функций типовых звеньев систем управления. Кроме

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность того, он может быть развит для построения и исследования особенностей передаточных функций многомерных систем управления в классе гиперкомплексных функций (кватернионов).

#### Литература

1. Я.А. Фурманов. Комплекснозначные и гиперкомплексные системы в задачах обработки цифровых сигналов. (М: ФИЗМАТЛИТ. 2004).

2. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. Теория систем автоматического регулирования. (М: Наука. 1970).

3. К.А. Пупков, Н.Д. Егупов. Матричные методы расчета и проектирования сложных систем автоматического управления для инженеров. (М: МГТУ им.Н.Э. Баумана. 2007).

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСНО-РЕСУРСНОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Колышницына М.А.<sup>1</sup>, Исаев Е.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Высшая школа экономики, Москва*

<sup>2</sup> *Высшая школа экономики, Москва  
89153055022, maria.kolysh@mail.ru*

Консолидация информационных технологий и вычислительных мощностей в одном пространстве осуществляется в целях повышения надежности и эффективности бизнеса. На сегодняшний день в единственном экземпляре существует стандарт, описывающий структуру центра обработки данных с точки зрения проектирования и строительства. Отсутствуют сервисно-ресурсные модели, унифицирующие операционную деятельность ЦОД в соответствие с лучшими практиками управления ИТ, что обозначает необходимость разработки системного подхода к анализу работы data-центров. Целью работы являлось проектирование операционной сервисно-ресурсной модели центра обработки данных с применением рекомендаций и «лучших практик» в области управления ИТ.

На сегодняшний день структура ЦОД описана в единственном официальном международном документе, стандарте на построение - ANSI/TIA/EIA-942 лишь с точки зрения проектирования [1]. Авторами работы предложена сервисно-ресурсная модель ЦОД в контексте управления и контроля на основании требований «лучших практик» в области управления ИТ. Разработана операционная модель, предназначенная для представления элементов, являющихся ключевыми при создании ценности для бизнеса. Ресурсы ЦОД были разделены на блоки: процессы, персонал, технологии (инструменты), информация. В качестве процессов ЦОД рассмотрены проводимые работы по осмотру, ремонту оборудования и инженерных систем, освещены процессы инвентаризации оборудования, рассмотрены требования к его размещению. Освещены аспекты обучения, мониторинга, проведения инструктажей. В качестве инструментов проанализированы составляющие ЦОД и их взаимодействие в составе: серверные помещения, серверное оборудование, оборудование СХД, стойки, телекоммуникационное оборудо-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность вание, системы охлаждения, электропитания, технической безопасности, пожаротушения и управления [1]. Блок информации был рассмотрен с двух позиций: базы данных конфигурационных единиц и основной документации операционной деятельности ЦОД [2]. Роли и требования, предъявляемые к персоналу, были рассмотрены на основе данных рынка.

Основными составляющими ЦОД являются вычислительное оборудование, инженерные системы и телекоммуникационное оборудование, в силу чего сервисно-ресурсная модель была построена на основании стандартов и лучших практик в сфере управления ИТ (ITIL, Cobit, «лучшие практики» вендоров, ГОСТ) и телекоммуникациями (модель ЕТОМ). Выявлено, что ресурсы ЦОД являются ключевыми элементами в процессах управления сервисными активами и конфигурациями, управление которыми осуществляется за счет согласованных и непротиворечивых изменений [3]. Структура ЦОД является поставщиком информации для процессов управления инцидентами, мощностью, непрерывностью, доступностью услуг [4].

#### Литература:

1. Стандарт ТИА-942, редакция 7.0, февраль 2005 - Режим доступа: [http://www.ups-info.ru/etc/tia\\_russkii.pdf](http://www.ups-info.ru/etc/tia_russkii.pdf)
2. А. Дегтярев. Потребителям услуг ЦОД: Выбираем ЦОД. Журнал ЦОДы.РФ, выпуск №1 октябрь 2012 г.
3. Official ITIL Website [Электронный ресурс] / APM Group Ltd.- [2007]. - Режим доступа: <http://www.itsil-officialsite.com>.
4. Введение в ИТ-сервис менеджмент, 2003 / Ян Ван Бон, Георгес Кеммерлинг, Дик Пондман.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**НЕЧЕТКИЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА FMAVT-FMAA**

**Коробов А.В., Радаев А.В., Филимонова А.С.**

*(научный руководитель д.т.н., проф. ИИКС МИФИ, Яцало Б.И.)*

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*

*+7(920)618-52-64., alexander.korobov.1993@gmail.com*

Многокритериальный Анализ Решений (МКАР) является эффективным научным методом для решения широкого круга научно-прикладных задач выбора, ранжирования и сортировки альтернатив. Несмотря на наличие различных методов МКАР для решения указанных классов многокритериальных задач [1], разработка новых методов и компьютерных систем, в том числе и прежде всего для поддержки принятия решений в условиях *неопределенности*, является актуальной и востребованной как с научной, так и прикладной точек зрения.

Цель работы заключается в создании компьютерной системы для реализации нового метода МКАР, FMAVT-FMAA [2, 3]. Данный метод предназначен для учета и анализа неопределенностей с использованием теории нечетких множеств и представляет собой интеграцию нечеткого расширения аддитивной модели MAVT (FMAVT) [2] и концепции нечеткого многокритериального анализа приемлемости (Fuzzy Multicriteria Acceptability Analysis, FMAA) [2,3]. В рамках FMAVT-FMAA используются нечеткие значения критериев и нечеткие весовые коэффициенты с возможностью применения нечетких чисел общего вида. Для ранжирования нечетких чисел и реализации нечеткого анализа приемлемости рангов (Fuzzy Rank Acceptability Analysis, FRAA) [3] используются два нечетких отношения предпочтения (Integral and Yuan's fuzzy preference relations) [2,3]. Нечеткий метод МКАР FMAVT-FMAA основан на реализации функций от нечетких чисел на основе использования альфа-срезов и применения методов как стандартной нечеткой арифметики, так и методов трансформации [4].

Для создания модулей компьютерной системы, реализующей FMAVT-FMAA (входные формы задания нечетких значений критериев и нечетких весовых коэффициентов, вычисление функций



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность от нечетких чисел, выходные формы представления результатов) используется: язык программирования Java (JDK версии 8) и среда разработки NetBeans IDE 8.0.2.

Для демонстрации возможностей и практической применимости метода FMAVT-FMAA исследована научно-практическая задача многокритериального анализа защитных мероприятий (пять критериев и пять альтернатив) по уменьшению доз внутреннего облучения населения в сельских населенных пунктах на радиоактивно загрязненной территории Брянской области [5]. Полученные результаты сравнивались с оценками по другим методам МКАР (классическим методам MAVT, TOPSIS, PROMETHEE-I,II).

Ведется работа по интеграции разработанного модуля FMAVT-FMAA с многокритериальной системой поддержки принятия решений *DecernsMCDA* [6].

#### Литература

1. V. Belton and T. Stewart. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Kluwer. Academic Publishers: Dordrecht, 2002.

2. Boris Yatsalo, A New Approach to Fuzzy Multi-Criteria Acceptability Analysis. Proceedings of the 2015 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology. Eds. J.M.Alonso, H.Bustince, M.Reformat. **2015**, vol. 89, p.947-952.

3. B. Yatsalo, L. Martinez, A Novel Approach To Ranking Fuzzy Numbers Based On Fuzzy Acceptability Analysis. Proceedings of the 12-th International FLINS2016 Confer. On Uncertainty Modelling In Knowledge Engineering And Decision Making. Eds.X.Zeng, J.Lu, E.E.Kerre. World Scientific, **2016**, Roubaix, France. pp.75-80.

4. M. Hanss. *Applied Fuzzy Arithmetic*. Springer-Verlag, 2005.

5. B. Yatsalo, T. Sullivan, V. Didenko, S. Gritsyuk, O. Mirzeabasov, I. Pichugina, and I. Linkov. Environmental risk management with the use of multi-criteria spatial decision support system DECERNS. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 16(4):175–198, 2012.

6. B. Yatsalo, V. Didenko, S. Gritsyuk, T. Sullivan, *Decerns: a Framework for Multicriteria Decision Analysis. International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 8, No. 3 (2015) 467-489.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**СИСТЕМА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Лазарева А.И.**

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»  
Обнинский Институт Атомной Энергетики, Обнинск  
+7(920)094-68-45, [alinalazareva93@gmail.com](mailto:alinalazareva93@gmail.com)*

В настоящее время информационные технологии присутствуют почти во всех сферах деятельности. С их развитием возникает необходимость создания новых систем для различных нужд.

Все больше предприятий используют автоматизированные системы фиксации и учета рабочего времени сотрудников. Рабочее время — ключевой актив в деятельности любой компании. На сегодняшний день учет рабочего времени сотрудников многих государственных учреждений осуществляется вручную на основе информации, получаемой из бумажного журнала учета посещений или из электронной проходной системы (турникета), которая предоставляет для анализа лишь данные о входах и выходах сотрудников, что не позволяет быстро и качественно оценивать показатели рабочего времени, соблюдение трудовой дисциплины, а также получать различные справочные сведения, такие как - суммарное количество дней, проведенное в командировках, отпусках и т.п.

Существующие системы учета времени являются коммерчески-ми и дорогостоящими, а также в большинстве случаев разработаны при использовании закрытого программного обеспечения.

Целью работы является создание эффективной системы учета и анализа рабочего времени сотрудников предприятия.

Разработанная система представляет собой распределенную систему, интегрирующую исходные данные электронной проходной системы предприятия, базу данных учета рабочего времени сотрудников учреждения и веб-приложение, позволяющее осуществлять поиск, просмотр и редактирование содержащейся в ней информации, получение сводных отчетов и справок.

Система полностью строится на открытом программном обеспечении - СУБД PostgreSQL, сервер приложений WildFly, JDK 1.8

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность [1, 2]. Веб-интерфейс системы разработан с использованием фреймворка JavaServer Faces и библиотеки компонентов PrimeFaces, расширяющей функциональность JSF. Созданный веб-интерфейс системы является полностью эргономичным и поддерживается всеми современными браузерами.

Система учитывает плановые и фактические показатели сотрудников согласно штатному расписанию и персональному графику работы, осуществляет контроль рабочего времени (за день, месяц, квартал), анализ недоработок, а также фиксирует факты сбоев в работе проходной системы. Также в системе предусмотрена возможность добавления служебной информации о командировках и других причинах отсутствия, а также корректировки учета рабочих дней при переносе выходных дней и государственных праздников.

Система обеспечивает разделение прав пользователей согласно привилегиям и ролям (администратор, оператор, пользователь-сотрудник), которые определяются при регистрации сотрудника в системе. Администратор управляет логинами и паролями пользователей и имеет доступ к информации, непосредственно хранящейся в базе данных. Оператор имеет возможность добавлять необходимую информацию о сотрудниках, отсутствиях, изменениях в рабочем графике, анализировать сбои в работе пропускной системы, вносить поправки в расчеты отработанного времени и осуществлять пересчет отдельных данных об отработанном времени при необходимости. Оператору-сотруднику, в зависимости от привилегий, предоставляется информация о нем самом, а также о подчиненных (если таковые имеются). Информация представляется в табличном и графическом виде, также имеется возможность сохранения интересующих данных в различные форматы.

На данный момент система внедрена в одном из предприятий города. Поддержка и совершенствование системы продолжается.

#### Литература

1. Н. Schildt. Java: The Complete Reference, Ninth Edition (Oracle Press, 2014).
2. К. Sierra, В. Bates. Head First Java, 2nd Edition. (O'Reilly, 2015)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ SEMANTIC WEB ДЛЯ РАБОТЫ СО СЛОВАРЁМ ПАРАМЕТРОВ РОСГИДРОМЕТА**

**Масленникова А.В.**

*ФБГУ ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск  
+79106043276, АВМКІВ2013@yandex.ru*

21 век – век инноваций. Тенденции постоянно меняются - одна технология в спешке замещает другую, появляются новые возможности. Они ускоряют процесс обмена данными, а так же улучшают способы хранения данных, предоставления доступа посторонним лицам и организуют сортировку информации.

Одна из таких актуальных технологий – Semantic Web – технология создания ссылок таким образом, чтобы человек или машина могли исследовать сеть данных. Коллекция Semantic Web технологий (RDF, OWL, SKOS, SPARQL и т.д.) обеспечивает среду, в которой приложение может запрашивать данные, делать интерфейсы, используя словари и т.д.

ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД» участвует в ряде международных проектов, в числе которых – проект ODIP (Ocean Data Interoperability Project), призванный интегрировать между собой системы данных об океане Европейского союза, США и Австралии, обладающих собственными распределенными системами сбора, обработки и предоставления данных. В рамках проекта используется Semantic Web. А вклад ВНИИГМИ-МЦД в данный проект – предоставление своего рода «площадки» для представления метаданных и данных для сети обмена океанографическими данными (МООД), а также в предоставлении доступа к данным словаря параметров Росгидромета, который содержит сведения о метеорологических, океанографических и геофизических параметрах (данный словарь создан и ведется во ВНИИГМИ-МЦД).

Поэтому целью настоящей работы является создание онтологической модели словаря параметров с применением технологии Semantic Web, которая позволит обеспечить совместимость данного словаря параметров с реализацией Британского словаря параметров (BODC), а также создать модель связей между отдельными пара-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность метрами, группами параметров, явлениями и процессами для оценки их полноты и качества.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение языка W3C Web Ontology Language (OWL) - для понимания синтаксиса будущей модели, а также обследование и выбор инструментария для работы с OWL.

2. Реализация базовой версии онтологической модели словаря параметров Росгидромета – в редакторе онтологий.

3. Создание программных модулей на языке Java для получения информации и автоматического пополнения модели данной информацией.

В качестве исходного материала использовались база данных словаря параметров Росгидромета (ВНИИГМИ-МЦД, СУБД Oracle 11g), открытый фреймворк Apache Jena, модуль Apache Fuseki (сервер, для хранения данных в формате RDF).

На сегодняшний день поставленные задачи успешно выполнены: создана онтологическая модель словаря параметров, выявлены все связи между параметрами словаря и их описанием (к какому процессу они относятся, к какой сфере, какой код имеют), как связаны между собой различные категории параметров и т.д. Создан программный модуль на языке JAVA получения информации и автоматического пополнения модели данной информацией. Наполненная модель помещена в хранилище на сервер, реализованы методы получения из нее разнообразной информации.

В скором времени будут реализованы REST-сервисы поиска и представления информации (параметров и их связей) из онтологической модели в различных форматах с возможностью перехода между связанными данными. А также планируется реализация веб-интерфейса для доступа к методам сервисов.

Настоящая работа в дальнейшем будет использована в рамках международного проекта ODIP, в котором участвует ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». В этом состоит ее практическая значимость.

#### Литература

1. OWL – язык веб-онтологий, Руководство [Электронный ресурс]. URL: [http://sherdim.ru/pts/semantic\\_web/REC-owl-guide-20040210\\_ru.html](http://sherdim.ru/pts/semantic_web/REC-owl-guide-20040210_ru.html)

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

2. Linked Data - Connect Distributed Data across the Web [Электронный ресурс]. URL: <http://linkeddata.org/guides-and-tutorials>

3. Jena documentation overview [Электронный ресурс]. URL: <https://jena.apache.org/documentation/>

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**АНИМАЦИОННАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ УМНОЖИТЕЛЯ НА  
КОНСТАНТУ**

**Мышев П.И.**

*Обнинский институт атомной энергетики  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
Обнинск,  
8 953 339 42 80, [pavel.myshev@gmail.com](mailto:pavel.myshev@gmail.com)*

Работа посвящена перспективным исследованиям в области вычислительной техники. Цель: изучить поведение вычислительных схем устройств, построенных на основе В-принципа. Согласно В-принципу по каждой линии может передаваться только один информационный сигнал. Ему противопоставляется А-принцип, согласно которому по одной и той же линии могут передаваться различные информационные сигналы. Принцип-А имеет исторический приоритет и используется повсеместно, принцип В – нет. Между тем ничто не мешает создавать вычислительные устройства по принципу-В, особенно если учесть, что В-схемы обладают рядом положительных свойств:

1. В-схемы могут быть созданы для любой  $k$ -ичной ( $k \geq 2$ ) системы счисления, не только двоичной;
2. В-схемы обладают свойством конструктивного подобия относительно системы счисления, вследствие чего нет необходимости в специальном конструктивном изобретательстве при переходе из одной системы счисления в другую;
3. Элементная база всех В-схем максимально однородна и состоит из одного элемента;
4. Схемы обладают максимальным быстродействием;
5. В-схемы обладают максимальной надёжностью;
6. В-схемы в каждом такте поглощают минимальное количество энергии;
7. Сеть, построенная из В-схем, надёжно информационно защищена и др.

В работе создана анимационная программа, которая на примере умножителя на натуральную константу, ведущего вычисления в системе счисления с произвольным основанием, не превышающим

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
36 (существует расширение, позволяющее снять это ограничение),  
наглядно демонстрирует все перечисленные свойства.

#### Литература

1. Деев Г.Е., Ламков А.В. Два принципа построения электронных схем. Сборник научных трудов кафедры АСУ, ИАТЭ, Обнинск, 1996.

2. А.с. СССР, МКИ, G06 F7/50\_ Последовательный умножитель на константу /Деев Г.Е. №4412436/24; 1989.

3. Деев Г.Е. Абстрактные вычислительные устройства., М, Энергоатомиздат, 2007.

4. Мышев П.И. Разработка анимационной программы для умножителя на константу: диплом. работа, ИАТЭ, Обнинск, 2015.



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**МОДЕЛИ ПАМЯТИ НА БИНАРНЫХ ПОЛЯХ В  
IT–ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕДАЧИ И ХРАНЕНИЯ  
ИНФОРМАЦИИ**

***Пастушак Р.Л.<sup>1</sup>, Мышев А.В.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Обнинский институт атомной энергетики - Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск  
8-905-642-07-89., unlike05@gmail.com*

В работе рассматриваются логические схемы построения модели активной памяти для разработки и реализации IT–технологий передачи и хранения информации в каналах различных вычислительных и телекоммуникационных систем. В этом случае используются средства и способы интеллектуализации таких систем: виртуализация и когнитивные возможности. Интеллектуализация таких систем во многом предопределяет как динамику, надежность и независимость информации в каналах передачи и хранения, так и когнитивные возможности (представления и интерпретации логических построений, сложных явлений и процессов обмена информацией в каналах таких систем). Интеллектуализация информационных систем в прикладном аспекте – это и актуальность и жизненная необходимость, а модели активной памяти являются одним из эффективных и возможных способов практической реализации технологических цепочек таких систем в каналах передачи и хранения. В рамках рассматриваемого подхода информационные объекты (*IO*) компьютерных систем и сетей, например, файловые структуры любой природы и более сложные системные и программные объекты, рассматриваются и описываются посредством виртуальных моделей активной памяти на бинарных информационных множествах физической памяти, на которых определяются информационные пространства различной природы. Тогда любой носитель информации таких систем можно рассматривать двояко, с одной стороны, это физическая среда памяти реальных компьютерных систем и сетей, а с другой – это система виртуальной реальности, в которой протекают процессы виртуализации на разных уровнях иерархии памяти и каналов передачи, а также реализуется независимая виртуализация физического пространства памяти ка-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
налов хранения и передачи. Интеллектуализация реальных компьютерных систем и сетей в этом случае будет проявляться в том, что логическая организация, хранение и динамика информации в каналах хранения и передачи определяются процессами виртуализации, а аппаратные и программные средства являются физической средой протекания таких процессов.

В классической чисто дедуктивной математической постановке выше обозначенная задача для информационных каналов передачи и хранения в узком смысле рассматривается, как задача построения кодера и декодера. Но в практической реализации и разработке моделей алгоритмов и процедур программных компонент информационных технологий для каналов передачи и хранения дедуктивный подход мало применим и неэффективен. Здесь необходимо использовать другие подходы, учитывать процессы виртуализации и динамику информации на логическом уровне. В связи с этим рассматривается индуктивный подход как в формулировке, так и в способах решения исходной задачи, который можно описать в виде следующей логической схемы. Содержание и смысл основной посылки парадигмы моделей активной памяти в различных способах ее реализации состоит в том, что она позволяет реализовать такие IT–технологии, которые обеспечивают пространственно–временную локальность и гетерогенность **IO** в каналах передачи и хранения информации реальных информационных и вычислительных систем и сетей. Локальность в этом случае проявляется в том, что **IO** в каналах передачи и хранения имеют высокий уровень защиты и конфиденциальности в локальной пространственно–временной области информационного пространства памяти каналов систем и сетей, не используя предлагаемые и “навязываемые” на рынке информационных технологий программные продукты защиты и архивации информации. Гетерогенность или неоднородность **IO** проявляется в том, что **IO** в каналах передачи имеет свои механизмы кибербезопасности

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**ГИБРИДНЫЙ ДАТЧИК ПРИСУТСТВИЯ ДЛЯ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Подвысоцкий Р.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г.Обнинск  
конт. тел.: 905-643-38-39, e-mail: foruse@inbox.ru

Датчики присутствия как высокотехнологичные устройства в первую очередь обеспечивают человеку дополнительный комфорт в жизненном пространстве. Это удобство эксплуатации и дополнительная безопасность. Также привлекательным бонусом является автоматическая экономия электроэнергии. При растущих постоянно тарифах это становится все актуальней как в пределах одной семьи или небольшой фирмы, так и для крупных предприятий и организаций. Экономия может составлять от 40-50%, в некоторых случаях до 80%. В соответствии с последним подсчетами срок окупаемости установки датчиков составляет от 1 года до 2.5 лет в зависимости от мощности и режима эксплуатации осветительных приборов. По прогнозам специалистов, сроки окупаемости в дальнейшем будут только снижаться.

Но на ряду с достоинствами, современные датчики имеют и ряд недостатков:

-большинство датчиков присутствия на рынке построено на инфракрасных сенсорах, и не могут точно определять наличие в помещении неподвижного человека

-правильная настройка - самая сложная часть установки. Количество настраиваемых параметров зависит от типа датчика, его устройства.

-довольно высокая цена от 10 до 20 тысяч рублей.

-сложность интеграции датчиков в системы сторонних производителей.

Основной отличительной особенностью разрабатываемого датчика является использование источников информации (сенсоров) разных типов - гибридность, что позволяет более широко использовать математические модели обработки информации, проводить более точную калибровку устройства, деление на зоны, и получать новые свойства датчика. Использование видео сенсора, позволяет

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность осуществлять мониторинг естественной освещенности (в зависимости от уровня освещенности регулирует работу систем управления и мониторинга);

Возможности гибридного датчика присутствия для систем автоматизации:

- мониторинг параметров от которых зависит работа систем автоматизации объекта, в том числе: наличие людей в зоне наблюдения на основе алгоритма распознавания образов HOG.

- настройка параметров освещения – управление яркостью освещения согласно алгоритмам, оптимизированным под каждую зону помещения.

- замена одним датчиком присутствия 10-16 датчиков

- поддержка стандартных протоколов SR, DALI[2], pt2262/pt2272, для простой интеграции с системами автоматизации сторонних производителей.

Текущее состояние разработки:

- разработан макет датчика;

- разработаны и апробированы математические модели определения присутствия человека в помещении на основе видео информации с сенсора;

- написано базовое ПО для датчика и мобильного устройства под управлением ОС Android для измерения освещенности.

#### Литература

1. S. Ioffe and D. A. Forsyth. Probabilistic methods for finding people. IJCV, 43(1):45–68, 2001.

2. NEMA 243—2004 Part 1 - [http://www.archenergy.com/lrp/lightingperf\\_standards/DALI%20V1\\_13.pdf](http://www.archenergy.com/lrp/lightingperf_standards/DALI%20V1_13.pdf)

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**РАСПОЗНАВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В  
ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ**

**Рябцева В.В., Скоморохов А.О.**

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск  
89105918767, vfrol15@email.ru*

Целью данной работы является исследование эффективности современных методов и программных средств для решения задач диагностики по акустическим шумам.

В работе использовались данные по распознаванию пола диктора на основе анализа записей речи [1]. Выборка состояла из 3168 реализаций акустического сигнала, по которым было оценено 20 различных признаков. Данные были разбиты на обучающую и проверочную последовательности в соотношении 80 и 20%.

Использовался алгоритм построения деревьев классификации, опробованный, первоначально, в APL [2]. Вычисления проводились параллельно в Dyalog APL [3] и R [4] и дали совпадающие результаты. Для построения дерева классификации в R использовался пакет rpart [5].

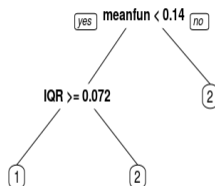


Рис.1. Дерево классификации

Результирующее дерево классификации приведено на рис.1. Видно, что получено весьма простое правило классификации, использующее только два признака из исходного набора.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Точность распознавания представлена в табл.1. Из таблицы видно, что точность распознавания составила 96.8% для первого класса и 97.5% для второго класса.

Таблица 1. Точность распознавания

Класс	1	2
1	306	10
2	8	308

Наиболее информативными признаками оказались

1. meanfun (среднее основной частоты) и
2. IQR (межквартильный размах сигнала)

Дальнейшим направлением работы является применение исследованного метода для построения алгоритмов акустической диагностики течи теплоносителя для реакторов типа ВВЭР.

Литература

1. <https://www.kaggle.com/primaryobjects/voicegender>
2. Skomorokhov, A. and Kutinsky, V., Classification Trees in APL: Implementation and Application, APL Quote Quad, vol.31, no.2, 2000
3. <https://www.dyalog.com>
4. <https://www.r-project.org>
5. <https://cran.r-project.org/web/packages/rpart/rpart.pdf>
6. Albrecht, D., Collatz, S., Endler, A., & Loth, K.H. (1983). Modern methods of technical diagnosis for nuclear power plants. International Atomic Energy Agency (IAEA): IAEA.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**МОБИЛЬНАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА  
В ОБЛАСТИ ХИМИИ**

**Сандул В.В.**

*Кафедра прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения ШЕН ДВФУ, г. Владивосток  
8(914)662-27-78, beramix5@mail.ru*

На сегодняшний день электронные обучающие системы получили широкое применение во всем мире. С помощью обучающих систем образовательный процесс становится более удобным и интересным. С развитием мобильных сетей и расширением возможностей в сфере передачи данных мобильное обучение становится одним из самых удобных и перспективных способов обучения. В данной работе рассматривается разработка мобильной обучающей системы в области химии.

Мобильное обучение (mobile learning) – новая стадия развития электронного обучения (e-learning), использующего компьютерные технологии и возможности интернета.

Преимущества мобильного обучения следующие:

- Возможность учиться всегда и везде.
- Высокий уровень концентрации внимания. Фокус внимания держится 30–40 минут – в отличие от работы на стационарном компьютере.
- Полный объем информации в любой момент. Мобильное устройство можно синхронизировать с рабочим компьютером.
- Возможности сенсорного экрана. В программе обучения можно использовать тактильные пиктограммы.

Мобильное обучение также включает в себя все преимущества электронного обучения, ярким примером которого являются электронные курсы. [1]

На данный момент опыт применения мобильного обучения в школьном образовании достаточно велик. Так, например, в систему мобильного обучения The Mobile Learning Network Project (MoLeNET) (Великобритания) вовлечено около 10000 обучающихся и 7000 преподавателей, исследующих дидактические возможности различных мобильных устройств.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Применение мобильного обучения в школьном образовании в РФ не развито. Существующие обучающие программы для мобильных устройств не интегрированы в систему российского школьного образования. [2]

В настоящее время разработаны мобильные обучающие игры и приложения, позволяющие ознакомиться с таблицей Менделеева (Elements, Elements Quiz), рассмотреть структуру ограниченного числа соединений (Molecules), построить элементарную (Chem Lab) или структурную формулу (Chemical Valence, MolPrime+) либо ознакомиться с рядом реакций (Chemist, Chemik, Химия). Разработанные системы не предполагают связь с преподавателем, анализ усвоения учебного материала или возможность изменения материала кем-либо, помимо разработчиков.

Нашей целью является создание мобильной обучающей системы по неорганической химии для учащихся 8-9 классов. Система состоит из двух подсистем: веб-приложения для преподавателей и мобильного приложения для учеников, которые объединены общей базой данных, позволяющей им получать актуальную информацию.

Создаваемая обучающая система решает следующие задачи:

- Подача учебного материала (возможность оперативного внесения изменений; адаптация по уровням сложности, реализация динамических иллюстраций).
- Возможность анализа статистических данных усвоения учебного материала;
- Проверка уровня знаний учеников.

Литература

1. M-learning: школа, которая всегда с тобой. 2013. [Электронный источник] – URL: <http://www.ecopsy.ru/publikatsii/m-learning-shkola-kotoraya-vsegda-s-toboy.html>

2. Титова С.В., Мобильное обучение сегодня: стратегии и перспективы – 2011.



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОДИРОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИИ НА БИНАРНЫХ ПОЛЯХ**

**Соловьев О.В.<sup>1</sup>, Мышев А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Обнинский институт атомной энергетики - Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск  
8-910-517-59-92., mcrain2@mail.ru*

В работе рассматривается ретроспективный анализ некоторых схем построения компьютерных технологий реализации алгоритмов упаковки информационных объектов (**IO** – файловые структуры или любые другие логические структуры данных) с целью выявления дополнительных возможностей более эффективных логических схем их реализации, но уже на бинарных полях. В связи с этим предлагается индуктивный подход как в формулировке, так и в способах решения исходной задачи, который можно описать в виде следующей логической схемы. Любой информационный объект (**IO**) (файлы и логические структуры) определить, как бинарное множество. Задать схему и алгоритм построения “оптимального” информационного пространства на этом множестве. Определить модель и логическую схему организации заголовков для загрузки исходного **IO** в информационную “гару” (логические и физические элементы) памяти каналов передачи и хранения. Рассматриваются следующие конфигурации информационных пространств для обозначенной задачи.

Первая определяется в виде кортежа  $\langle X, N \rangle$ , где  $X$  множество цепочек символов алфавита  $N$ , а  $N$  в свою очередь представляет конечное множество цепочек переменной или фиксированной длины символов булевой логики, т.е. нулей и единиц. Для описания и представления исходного **IO** в таких пространствах используются таблицы его информационной насыщенности на конечных топологиях информационных бинарных множеств, которым является любой **IO** системы или сети. Такие таблицы в первом приближении представляют собой дискретные распределения вероятностей букв алфавитов  $N$  информационных пространств для конкретного **IO** и являются основой для разработки и реализации способов (логических и алгоритмических) представления одного объекта в различ-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
ных виртуальных информационных пространствах. Они, с одной  
стороны, отражают степень насыщения  $IO$  (файл или любая другая  
логическая структура) элементами алфавита  $N$  в информационном  
пространстве  $\langle X, N \rangle$ . А с другой - позволяют построить отображе-  
ние  $\Phi$  (прототип модели кодера) исходного  $IO$ , определенного в  
 $\langle X, N \rangle$ , в любое другое информационное пространство  $\langle X_I, N_I \rangle$ ,  
где  $N_I$  также представляет собой множество бинарных цепочек по-  
стоянной или переменной длины. Тогда обратное отображение  $\Phi^{-1}$   
(прототип модели декодера) позволяет восстановить  $IO$ . В зависи-  
мости от целевой установки такие отображения исходного  $IO$  поз-  
воляют изменять его "физические размеры" в каналах хранения и  
увеличивать скорость его транспортировки в канала передачи, а  
также повышать физическую помехозащищенность и сохранять  
конфиденциальную защищенность как на уровне восприятия, так и  
перехвата информации. Совокупность алфавитов  $N$  и  $N_I$ , предст-  
авленных в виде матрицы  $A(2, L)$ , где  $L$  – размерность алфавитов,  
образуют формальный словарь. Отображение  $\Phi$  является формаль-  
ной математической моделью построения алфавита  $N_I$  на основе  
исходного  $IO$  и алфавита  $N$ , а способы ее реализации могут быть  
различными (например, для технологий сжатия – метод Хаффмана  
и др.).

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

**РАЗРАБОТКА БЛОКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА  
ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Степанов П.И.<sup>1</sup>, Закураев В.В.<sup>2</sup>**

*1Новоуральский технологический институт НИЯУ «МИФИ»,  
г. Новоуральск  
тел.: +7952-7415977, e-mail: stepanov\_pi@mail.ru*

Контроль технического состояния оборудования становится наиболее перспективным и быстро развивающимся аспектом современного машиностроения. В работах [1, 2] рассмотрены вопросы контроля технического состояния электромеханического оборудования. В данных работах предложены методы и средства повышения эффективности оценки технического состояния электромеханического оборудования за счет применения комплексного контроля на основе анализа информации разной физической природы (вибрационных и токовых сигналов). Одним из перспективных направлений развития средств контроля технического состояния оборудования является использование нейронных сетей [3].

Таким образом, в данной работе предложено решение задачи повышения эффективности процесса контроля технического состояния электромеханического оборудования при помощи интеллектуального блока принятия решений.

На основе применения основных принципов построения систем принятия решений разработана модель распознавания технических состояний электромеханического оборудования на базе 3-х-слойного нейросетевого классификатора с нелинейной функцией активации вычислительных элементов в слое (биполярный сигмоид) и алгоритмом обучения на основе обратного распространения ошибки. Предложенная модель способна вырабатывать решение о состоянии объекта на различные сочетания контролируемых параметров, которые ранее в обучающей выборке не встречались, и тем самым повышая достоверность распознавания технического состояния оборудования.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Обучение и тестирование разработанной сети проводилось на основе экспериментальных данных (имитация дефектов), полученных на лабораторном стенде, состоящем из асинхронного двигателя, муфты и зубчатой передачи. Обучающая выборка включала в себя 20 параметров (общий уровень и вейвлет-коэффициенты Добеши db-8 – средние квадратические значения и пики) по каждому информационному потоку (виброукорение, виброскорость и две фазы тока), дополненные шумовой составляющей (10-300% от среднеквадратического отклонения параметра). При такой выборке проведено обучение нейронной сети и запущено тестирование, при котором на вход сети подавались реальные значения параметров (80 значений), полученные при имитации дефектов в лабораторных условиях. Изменение шумовой составляющей обучающей выборки сильно влияет на итоговую достоверность решений сети. Выбрано оптимальное значение этой составляющей, которое привело к наилучшим результатам при тестировании (средняя достоверность около 99%).

Таким образом, в данной работе показана возможность повышения эффективности контроля технического состояния электромеханического оборудования путем использования комплексного анализа с применением интеллектуального блока принятия решений.

#### Литература

1. Степанов П.И. Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем / П.И. Степанов, С.В. Лагуткин, Ю.Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2. – С. 160-165.
2. Степанов, П.И. Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов / П.И. Степанов, С.В. Лагуткин, Ю.Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2. – С. 59-63.
3. Stepanov, P. Monitoring of technical condition of motors and bearings of woodworking equipment/P. Stepanov [et al.]//Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, Zvolen, Technick univerzita vo Zvolene. 2014. 56(2). P. 97-104.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ  
ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ**

**Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А.**

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
89502817945., roman44@yandex.ru*

Электронная цифровая подпись (ЭЦП) имеет смысл только тогда, когда компания имеет систему электронного управления документами. На первый взгляд может показаться, что ЭЦП - дополнительный атрибут документа, и вы можете настроить права доступа в электронный документооборот (ЭДО). Но это работает только в случае, если документ формируется одним человеком. Но как только количество людей при подготовке и утверждении документа увеличивается, необходимо контролировать, чтобы утверждалась последняя версия документа. Использование цифровой подписи может гарантировать неизменность документа после проставления подписи каждого члена согласовательной процедуры. Кроме того, компании с удаленными офисами и филиалами, которые используют электронную почту для отправки документов с использованием электронной цифровой подписи, исключают необходимость печати и сканирования документов. Использование цифровой подписи регулируется Федеральным законом РФ №63 «Об электронной подписи» 2011 года.

По нашему мнению, безопасность электронного банкинга сегодня может быть обеспечена. Гарантией этого выступают современные криптографические методы, которые используются для защиты электронных платежных инструментов. Первым из них является цифровая подпись, соответствующая ГОСТ 34.10-94. С 1995 года он был успешно применен в Банке России. Поначалу Банк России ввел систему межрегиональных электронных платежей только в некоторых регионах. Теперь она охватывает все регионы Российской Федерации и функционирования Банка России без ЭЦП практически невозможно. Так что какие могут быть сомнения в надежности электронной подписи, если использование проверено временем и каким-то образом касается каждого гражданина нашей страны?

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Цифровая подпись - гарантия безопасности. Согласно типовому договору между банком и клиентом при наличии электронного документа достаточное количество зарегистрированных электронной подписью уполномоченных лиц является основанием для проведения банковских операций по счетам клиента. Федеральным законом от 2011 г. №63 «Об электронной подписи» определено, что электронная подпись будет сгенерирован и уточнена программным обеспечением, сертифицированным в ФАПСИ. Сертификация ЭЦП является гарантией того, что она выполняет криптографические функции в соответствии со стандартами ГОСТ и не совершает деструктивные действия на вашем компьютере [1].

Для того, чтобы выполнить электронную подпись документа, необходимо иметь ключ, который может храниться на некоторых ключевых информантов. Современные медиа-ключи формируются как ключевые цепи, в качестве носителя ключевой информации может использоваться флэш-память.

Если клиент желает использовать ЭЦП при проведении электронных платежей с банком, необходимо заключить договор на получение банковских данных и необходимого программного обеспечения. Затем нужно настроить на своем компьютере программное обеспечение (в соответствии с документацией) и создать цифровые ключи подписи. Механизм подписания документа цифровой подписью может быть автоматически вставлен в носитель клавиатуры компьютера. ЭЦП должна храниться в сейфе (убрать в безопасное место) - без ключа личной электронной подписи, никто не сможет ее подделать. Для защиты платежных документов от просмотра информации в них, документы зашифровываются во время передачи в банк и обратно.

Каждый ключ подписи является аналогом собственноручной подписи уполномоченного лица. Если платежное поручение организации, как правило, подписывается руководителем и главным бухгалтером, в электронная система лучше обеспечивать тот же порядок действий и выделить для уполномоченных лиц разные ключа подписей. Тем не менее, при использовании цифровой подписи, этот факт должен быть отражен в договоре между банком и клиентом.

Ключ подписи состоит из двух частей - открытой и закрытой. Это формирует цифровой сертификат подписи, который должен

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность быть зарегистрирован в системе электронных платежей банка. Закрытая часть цифрового ключа подписи (секретный ключ) ни при каких обстоятельствах не может быть передана другому лицу кроме владельца ключа. Если закрытый ключ был передан, даже в течение короткого промежутка времени к другому человеку или оставлен без присмотра в любом месте, считается, что ключ "скомпрометирован" (это означает вероятность копирования или незаконного использования ключа) [2-3]. Таким образом, электронное платежное приложение в бизнесе имеет значительные преимущества по сравнению с обычным обслуживанием. Что касается безопасности, она обеспечивает стандартную цифровую подпись (ГОСТ 34.10-94), с одной стороны, и ответственность клиента за сохранение ключа подписи - с другой. Рекомендации по использованию и хранению ЭЦП клиента всегда можно получить в банке, и если ей следовать, то надежность платежей гарантируется.

#### Литература

1. R. Fediuk, A. Yushin. Modern technologies of nondestructive testing of construction materials. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 4. Сер. "IV International Conference on Modern Technologies for Non-Destructive Testing" 2016. С. 012001.

2. R. Fediuk Limitation of the single-phase grounding current. В сборнике: Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014 2014. С. 6986928.

3. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Ильинский Ю.Ю. Привлечение прямых инвестиций в Приморский край. В сборнике: Актуальные вопросы экономического развития регионов Материалы Международной научно-практической конференции. Пятигорский филиал ФГБОУ ВПО "Российский государственный торгово-экономический университет", Рекламно-информационное агентство на Кавминводах. 2013. С. 178-183.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**АНАЛИЗ ЭЭГ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ  
СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ**

**Филатов А.А., Скоморохов А.О.**

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*

*Конт. тел.: 89109195437, e-mail: [filatov030495@gmail.com](mailto:filatov030495@gmail.com)*

Информация о состоянии объектов контроля может быть получена в процессе их работы путем анализа шумовых сигналов. Примерами таких сигналов могут служить сигналы ЭЭГ в случае контроля состояния человека [1]. Одно из перспективных направлений решения этой проблемы – применение методов шумовой диагностики. На данный момент, широкое распространение в диагностике получили методы интеллектуального анализа данных [2].

Целью данной работы является – исследование эффективности современных методов и программных средств решения задач шумовой диагностики на примере работы с реальными наборами данных.

В данной работе решалась задача классификации (распознавания) сигналов ЭЭГ. Данные сигналы [3] сняты с 10-ти студентов колледжа, в тот момент, когда они смотрели 10 типов обучающих видео разноплановый характера. После просмотра видео студент оценивал уровень своего понимания темы видео по шкале 1-7. Эти метки в дальнейшем, были нормализованы на 0 и 1. Предварительно данные сигналы были разбиты на выборки к которым были приписаны соответствующие метки и вычислены признаки. Далее методами обучения с учителем, к каким относиться метод деревьев решений, строилась модель для предсказания этих меток.

Деревом решений называют представленный в виде ациклического графа план, по которому производится классификация объектов, описанных набором атрибутов, по некоему целевому атрибуту. В задаче классификации шумовых сигналов признаками являются характеристики этих сигналов (например, среднее значение), а целевым атрибутом – класс к которому относится сигнал.

Существует различные критерии выбора наилучших признаков при формировании вершины дерева. В ходе построения дерева



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность критерием являлась чистота вершины (Deviance), которая вычислялась по формуле (1):

$$D_i = -2 \sum_j n_{ij} \log_2 p_{ij} \quad (1)$$

где,  $i$  – индекс вершины,  $j$  – индекс класса,  $p_{ij}$  – доля представителей  $j$ -го класса в  $i$ -ой вершине,  $n_{ij}$  – количество представителей.

В результате, по построенной модели удалось с приемлемой точностью (70%) распознать классы просмотренных роликов.

Дальнейшим направлением работы будет применение опробованных методов в задачах технической диагностики на АЭС.

#### Литература

1. А.В. Сидоренко. Электроэнцефалографические сигналы как сложные нелинейные колебания отражающие процессы головного мозга. (С: Радиотехника и электроника. 2006).

2. А.А. Баргесян, М.С. Куприянов, И.И. Холод. Анализ данных и процессов 3-е издание. (С: БХВ-Петербург. 2009).

3. Сигналы ЭЭГ [сайт]. Режим доступа: <https://www.kaggle.com/wanghaohan/eeg-brain-wave-for-confusion> (Дата обращения 18.02.2017).

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС  
ШИФРОВАНИЯ НА БАЗЕ ПЛИС**

**Цыпунов М.П.**

*ИАТЭ НИУЯ МИФИ, г. Обнинск  
конт. тел. - 79105256645  
e-mail : maks.bundes@gmail.com*

В настоящее время проблемам безопасности и конфиденциальности обмена информацией уделяется огромное внимание. Практически любой рабочий процесс так или иначе связан с обменом зашифрованными данными, и объем этих данных только растет. Также следует отметить, что за последние годы сложность алгоритмов шифрования значительно выросла, что ведет к тому, что на шифрование данных уходит все больше процессорного времени и ОЗУ. Таким образом, ускорение этого процесса является очень важной задачей для разработчиков программного обеспечения.

Основные результаты в этой области сейчас основаны на введении в новые процессоры новых систем команд, позволяющих обработать больший объем данных за одну команду. Однако поскольку алгоритмы шифрования по своей сути являются набором четко заданных математических операций, то еще один вариант ускорения – использование четко запрограммированных под математические операции сопроцессоров. К их числу можно отнести такие устройства как Intel Phi, современные GPU и сопроцессоры на базе ПЛИС. Здесь следует отметить, что для массового использования фактор цены имеет как минимум не меньшую роль, чем фактор ускорения операций, именно с этим связано столь слабое распространение такого рода сопроцессоров. Однако устройства на основе ПЛИС могут предложить хорошее ускорение шифрования за весьма малую цену, поскольку для реализации шифрования не требуются сверхмощные ПЛИС с большим количеством логических ячеек.

В связи с этим было принято решение использовать недорогой ПЛИС с целью показать, что на базе недорого устройства можно получить значительное ускорение шифрования. Для реализации был выбран ПЛИС - Altera Cyclone II с 20000 логическими ячей-

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
ками, который производится по 90nm технологии. Основная задача,  
которая была реализована на данном этапе: работоспособность  
«круглого» сценария работы – цикл шифрование-дешифрование  
запоминающего устройства, в качестве которого используется SD-  
карта. По результатам работы было проведено сравнительное те-  
стирование производительности для подтверждения того факта,  
что использование ПЛИС позволяет ускорить процесс шифрова-  
ния. На данном этапе максимальная полученная скорость шифро-  
вания составляет около 200 Мб\с, что превышает скорость шифро-  
вания, которая была получена при тестировании процессоров Intel  
и AMD сходной с устройством ценовой категории. Также данная  
скорость значительно превышает скорость линейного чтения с за-  
поминающих устройств наподобие обычной SD-карты (SD class 10  
предполагает скорость чтения на уровне 10 Мб\с). Также получен-  
ный результат позволяет использовать устройство с небольшими  
модификациями для шифрования проходящего трафика через 100  
Мб\с Ethernet-канал «на лету», без каких либо потерь и без значи-  
тельного увеличения времени отклика в сети. Полученный резуль-  
тат превосходит результаты практически всех пользовательских  
процессоров Intel и AMD и может быть легко улучшен при ис-  
пользовании более новых семейств ПЛИС

#### Литература

1. Niels Ferguson, Bruce Schneier. Practical Cryptography (ISBN: 978-0-471-22357-3, 2003)
2. Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы “Altera”: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. (М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002.)
3. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. (СПб.: БХВ - Петербург, 2002г.)

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

## **РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРЫ КЛИЕНТ-СЕРВЕР**

**Шошин Д.А.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,*

*Москва*

*тел. 8 915 277 10 24, e-mail: [demonepsilon@gmail.com](mailto:demonepsilon@gmail.com)*

Зачастую в едином дата-центре происходит обработка данных с большого количества удаленных объектов [1-3]. Такими объектами могут быть измерительные приборы, например, осуществляющие сейсмический мониторинг или измеряющие твердость, контролирующие целостность груза и скорость его перемещения по дороге. Желательно, чтобы такие системы работали независимо от пользователя и не мешали ему осуществлять основную деятельность. При этом пользовательский интерфейс программы должен быть достаточно прост и доступен для пользователей, не имеющих специального IT образования.

Цели исследования заключаются в разработке гибкой распределенной системы сбора данных способной, например, и контролировать транспортировку грузов и производить мониторинг процессов дистанционного обучения. Основные задачи, решаемые с помощью распределенной системы, – повышение надежности и улучшение эффективности использования оборудования.

Постройка гибкой системы сбора данных, подходящей как для получения информации с распределенных датчиков, так и, к примеру, мониторинга дистанционного обучения, накладывает на систему дополнительные требования универсального протокола для получения данных, как от реального датчика, так и от веб-клиента [4]. В связи с этим необходимо определить шаблон и протокол обмена данными между клиентом и сервером распределенной системы [5]. Для этого был проведен анализ и дана характеристика современного состояния проблемы выбора протокола и шаблона обмена данными с учетом низкой мощности и малого потребления энергии распределенных датчиков и встраиваемых устройств. По

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность результатам анализа был выбран шаблон «запрос – ответ» для обмена данными, не смотря на основной недостаток этого шаблона, заключающийся в необходимости клиента опрашивать сервер для получения данных, данный шаблон используется в достаточно популярном протоколе CoAP за счет своей схожести с REST-запросами. CoAP протокол в свою очередь разработан на основе HTTP протокола с учетом низкой мощности и малого потребления энергии распределённых датчиков и встраиваемых устройств. Предложена и апробирована концептуальная модель клиент-серверной части с использованием готовой реализации CoAP протокола на базе Californium Framework. Написанное клиент-серверное приложение на языке Java с использованием готовой реализации CoAP протокола на базе Californium Framework было протестировано в среде разработки Eclipse IDE. Серверная часть успешно получала и обрабатывала запросы от клиентской части и отвечала на запросы соответствующей строкой, которую в свою очередь получила клиентская часть приложения.

### **Литература**

1. Wu He & Lida Xu (2015) A state-of-the-art survey of cloud manufacturing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28:3, 239-250, DOI: 10.1080/0951192X.2013.874595
2. Chen, F., Deng, P., Wan, J., Zhang, D., Vasilakos, A.V., Rong, X. Data mining for the internet of things: Literature review and challenges.(2015) *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015, art. no. 431047, . DOI: 10.1155/2015/431047. Document Type: Review. Source: Scopus
3. Tao, F., Zhang, L., Liu, Y., Cheng, Y., Wang, L., Xu, X. Manufacturing Service Management in Cloud Manufacturing: Overview and Future Research Directions.(2015) *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 137 (4), art. no. 040910, . DOI: 10.1115/1.4030510. Document Type: Article. Source: Scopus
4. Jin, X., Wah, B.W., Cheng, X., Wang, Y. Significance and Challenges of Big Data Research.(2015) *Big Data Research*, 2 (2), pp. 59-64. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.006. Document Type: Article. Source: Scopus
5. Фам В. Д., Юльчиева Л. О., Киричек Р. В. Исследование протоколов взаимодействия интернета вещей на базе лабораторного стенда //Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. No 1. С. 55–67.

**Лазерная физика,  
физика твердого тела,  
оптика и физика плазмы**

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЁВ  
ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ НА ИХ  
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦНЫЕ СВОЙСТВА**

***Абрамова Е.Н., Хорт А.М., Яковенко А.Г., Сорокин Т.А.,  
Корнилова Д.С., Слипченко Е.А.***

*Московский технологический университет. Институт тонких  
химических технологий, Москва  
8(916) 043-71-91, [overmind11@rambler.ru](mailto:overmind11@rambler.ru)*

Фотолюминесценция (ФЛ) пористого кремния (*por-Si*) впервые была обнаружена Л. Кенханом (L. Canham) в 1991 году. Природа этого явления до настоящего времени не нашла своего окончательного объяснения. Ряд исследователей связывают ФЛ *por-Si* с изменением зонной структуры кремния в связи с квантово-размерным эффектом в наноразмерных структурах. Другие авторы объясняют ФЛ непрямозонного полупроводника наличием на поверхности *por-Si* большого количества групп типа Si-H и Si-OH, образующихся в процессе электрохимического травления кремния.

Цель работы – изучение спектров ФЛ образцов *por-Si* после термического отжига в различных атмосферах с последующей длительной выдержкой на воздухе для получения дополнительных данных о природе ФЛ.

Слои *por-Si* были получены электрохимическим травлением образцов n- и p-типа проводимости в гальваностатическом режиме в растворах фтороводородной кислоты (HF 49 масс. %) в воде (или этиловом спирте) в объемном соотношении 15:7 и 3:7 соответственно. Плотность тока – 10 мА/см<sup>2</sup>, время травления – 30 минут. Образцы *por-Si* подвергались электрохимическому окислению в насыщенном растворе KNO<sub>3</sub> при плотности тока 5 мА/см<sup>2</sup> в течение нескольких минут. Термический отжиг осуществлялся при температурах T = 300-500 °С в течение 5-15 минут в атмосфере инертного газа (гелий, особо чистый аргон), вакууме с остаточным давлением 1.10<sup>-3</sup> мм рт. ст. и на воздухе. Спектры ФЛ сняты на модернизированном спектрофотометре СДЛ 1 (точность  $\lambda \pm 0,1$  нм), источник возбуждения – газовый лазер с  $\lambda = 334$  нм, работающий в квазинепрерывном режиме.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Спектры ФЛ *p*- и *r*-типа *por*-Si имели максимумы интенсивности излучения в интервале  $\lambda=630-660$  нм и не зависят от условий получения *por*-Si.

После отжига в любой из вышеуказанных сред ФЛ образцов практически исчезала, при том что морфология пористых слоев видимых изменений не претерпевала. Затем все образцы выдерживались более 3-х месяцев на воздухе при комнатной температуре.

После выдержки на воздухе в течение 3-3,5 месяцев на образцах отожжённых в вакууме или инертном газе наблюдалось восстановление первоначальной ФЛ, и максимум восстановленной ФЛ достигал ~80% интенсивности ФЛ образцов до отжига. При этом на образцах, отожженных на воздухе восстановление фотолюминесценции не наблюдалось вне зависимости от времени выдержки.

Установленные закономерности позволяют предположить, что за эффект ФЛ *por*-Si ответственны те или иные присутствующие на сильно развитой поверхности *por*-Si группы типа Si-H и Si-OH, образующиеся во время электрохимического травления кремния.

Результаты получены в рамках государственного задания Министерства Образования и Науки Российской Федерации и Гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-7946.2016.11.)



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**БИПОЛЯРНЫЙ ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ  
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ**

***Аверкина М.И.<sup>1</sup>, Тулина Н.А.<sup>2</sup>, Россоленко А.Н.<sup>3</sup>, Иванов А.А.<sup>1</sup>***

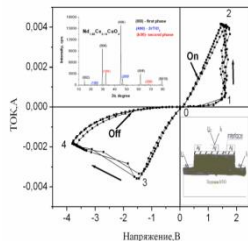
*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",  
Москва*

*<sup>2</sup>Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка*

*<sup>3</sup>Институт проблем микроэлектроники и чистых веществ РАН, Черноголовка*

Эффект биполярных резистивных переключений в сильнокоррелированных электронных системах (СКЭС) проявляется в том, что в гетероконтактах СКЭС- нормальный металл при определенной полярности электрического поля происходит изменение фазового состава поверхностного слоя СКЭС на уровне наноразмеров, в результате реализуются два метастабильных состояния: высокорезистивное (off) и низкорезистивное (on) состояния гетероконтакта [1]. Типичными представителями СКЭС являются высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП).

В представленной работе методом импульсного лазерного напыления были синтезированы тонкие эпитаксиальные пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  и  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-y}$ . Фазовый состав и кристаллическая структура полученных тонкопленочных образцов исследовались методами рентгеновской дифрактометрии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. В созданных на их основе структурах был обнаружен и исследован биполярный эффект резистивных переключений. Было выяснено, что для реализации переключений необходимо соблюдать следующие условия: базовый контакт должен иметь сопротивление значительно меньшее, чем интерфейс. Определена граничная частота переменного напряжения, при которой в гетеропереходах наблюдаются резистивные переключения. Полученные данные позволяют сделать вывод, что наблюдаемый эффект обусловлен высокой подвижностью ионов кислорода в поверхностном слое пленок. Изменение содержания кислорода в этом слое под действием высокой напряженности электрического поля приводит к фазовому переходу металл-диэлектрик.



*Рис. 1. Пример ВАХ гетероконтакта с резистивными переключениями. В верхнем углу рентгеновский спектр пленки  $Nd_{2-x}SexCuO_{4-y}$ . В нижнем углу схема гетероконтакта: темное поле - пленка  $NCCO$  на подложке титаната стронция.  $I, V$ -токовые и потенциальные подводы.  $T=300K$ .*

Исследования этого явления активно развиваются как в фундаментальном отношении, так и в свете прикладных задач: устройства на основе БЭРП рассматриваются, как альтернативная энерго-независимая электронная память. Такая концепция памяти позволяет устройствам быть терминальными и энергонезависимыми.

#### Литература

1. Тулина Н.А. Колоссальное электросопротивление и электронная неустойчивость в структурах на основе сильнокоррелированных электронных систем. УФН. 2007. Т. 177. N 11. С. 1231

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

## **ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОПОК ВТСП ЛЕНТ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Анищенко И.В., Покровский С.В., Минеев Н.А.**

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,  
Москва  
8-(977)-617-01-75, mephizic@gmail.com*

В настоящий момент одним из перспективных элементов левитационных систем различных применений на основе сверхпроводников являются стопки ВТСП лент второго поколения[1]. Для создания эффективных левитационных систем необходимо выполнение комплексных расчетов магнитных полей и конфигурации токов в сверхпроводнике с учетом влияния тепловых процессов на критические характеристики материала.

Данная работа посвящена построению расчетной модели стопок ВТСП лент второго поколения различной геометрии, помещенных во внешнее магнитное поле. Моделирование выполнено методом конечных элементов с использованием формы общих дифференциальных уравнений расчетного пакета Comsol Multiphysics. Особенность модели состоит в том, что на каждом шаге намагниченность образца рассчитывается с учетом возникающих потерь в материале и процессов охлаждения каждого слоя в стопке. В модели предполагается безжидкостное охлаждение системы с помощью криокулера.

В качестве входных параметров использованы экспериментальные данные по измерению транспортных, магнитных и тепловых характеристик составляющих элементов ВТСП лент (слой подложки, сверхпроводящий слой, стабилизирующий слой серебра). Зависимость критического тока от магнитного поля задается в рамках двухэкспоненциальной модели [2, 3].

Для различных конфигураций магнитной системы рассчитаны кривые намагниченности стопок в однородном магнитном поле с учетом тепловых процессов и проведено сравнение с экспериментом, получены кривые намагниченности и зависимости силы левитации от величины зазора в градиентном магнитном поле. Прове-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
дено сравнение с экспериментальными данными по измерению силы левитации для стопок лент различной высоты. Получено качественное и количественное совпадение результатов.

[1]. Patel A, Hopkins S.C., Glowacki B. A. Trapped fields up to 2 T in a 12 mm square stack of commercial superconducting tape using pulsed field magnetization // Superconductor Science and Technology. 2013. Vol. 26., № 3, P. 032001.

[2]. Pokrovskii S., Osipov M., Abin D., Rudnev I. Ermolaev, Y.S, Mineev N. A. Magnetic Properties of the Stack of HTSC Tapes in a Wide Temperature Range// Physics Procedia., 2015.V. 65. P. 141-144

[3]. Podlivaev A. I., Rudnev I. A., Shabanova N. P. Magnetic-Field Dependence of the Local Critical Current Density in the Second-Generation HTSC Tapes// Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2014. V. 41. №. 12. P. 351–354.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
АЛЮМИНИЕВОГО (АД31) И МЕДНОГО (М1) СПЛАВОВ С  
ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

***Антоновская В.В.<sup>1</sup>, Рзаев Р.А.<sup>2</sup>***

<sup>1,2</sup>*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г.  
Астрахань.*

*Тел.: 89064582895, e-mail: [Var3999\\_96@mail.ru](mailto:Var3999_96@mail.ru)*

В последние годы все большее промышленное применение при изготовлении сварных конструкций из алюминиевых сплавов находит процесс сварки трением с перемешиванием, обеспечивающий получение соединения со свойствами, во многом превосходящими свойства соединения, полученного дуговыми способами сварки.[1]

Целью данного проекта является получение полного провара и взаимного проникновения алюминиевого (АД31) и медного (М1) сплавов с помощью сварки трением с перемешиванием.

Сварка производится вращающимся инструментом в форме стержня, состоящий из двух основных частей, а именно: заплечика или бурта и наконечника.

Вращающийся с высокой скоростью инструмент в месте соединения под давлением внедряется в свариваемый материал так, чтобы наконечник внедрился в заготовки на глубину, примерно равную их толщине, а заплечик коснулся их поверхности.

После этого инструмент перемещается по линии шва со скоростью сварки. В результате работы сил трения происходит нагрев металла - он становится пластичным и равномерно деформируется. Происходит его перемешивание вращающимся инструментом, образуя прочное соединение между двумя деталями. Объем, в котором формируется шов, ограничивается сверху заплечиком инструмента. [4]

На данных снимках нахлесточное соединение (LAP) (а) и стыковое соединение (б). Эти соединения были получены на вертикальном фрезерном станке. Скорость вращения  $\omega=900$  об\мин, скорость сварки  $v=25$  мм\мин, угол наклона  $\alpha=3^\circ$ . На данных макро-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
шлифах произошло полное проникновение алюминиевого сплава в медном.



а)



б)

Для получения качественных неразъемных соединений меди с алюминием использовали хорошо зарекомендовавшую себя технологию сварки трением с перемешиванием. Использование данного способа сварки, который протекает в твердой фазе, должен исключить проблемы, присущие традиционным способам сварки плавлением. [2]

Преимуществами данного способа сварки перед сваркой плавлением являются:

- температура соединяемых металлов не достигает температуры плавления;
- упрощение процесса получения соединения.

Преимуществами перед болтовыми соединениями являются:

- более плотное прилегание соединяемых деталей;
- отсутствие сквозных отверстий, приводящих к уменьшению сечения соединяемых деталей. [3]

#### Литература

1. Журнал «Сварочное производство», №4, 2012 г.
2. Влияние параметров процесса сварки трением с перемешиванием на формирование швов соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,8...2,5 мм/ Покляцкий А.Г., Ищенко А.Я., Подбельников С.В.// Автоматическая сварка. – 2008. - №10. – С.
3. Моисеенко, В. П. Материалы и их поведение при сварке / В. П. Моисеенко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 300 с.
4. Журнал «ПромСварка».

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МОДЕЛЬ КРОНИГА-ПЕННИ ДЛЯ РАСЧЁТА  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Арутинов Н.Э.<sup>1</sup>, Шевченко А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физико-технический институт ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, +79787200069, kintiri1997@gmail.com

В настоящее время нанокристаллические материалы активно используются в электронике. Для изучения их зонного спектра необходимы точные и в то же время быстрые в подсчётах и несложные модели. Для нахождения зависимостей энергии от волнового числа было рассмотрено два модельных подхода. Первый из них – введение неоднородности в конце структуры. Неоднородность являет собой дефект (или примесь). В данном случае уравнение Шрёдингера представляется системой [1]:

$$\begin{cases} \hat{H}_c \psi_1 = E_1 \psi_1; \\ \hat{H}_a \psi_2 = E_2 \psi_2. \end{cases} \quad (1)$$

Первое уравнение системы (1) может быть решено как уравнение для периодической одномерной цепочки атомов с блоховской волновой функцией [2]:

$$\psi(x) = U(x) \exp(ikx) \quad (2)$$

с решениями:

$$U_1(x) = A e^{i(\alpha-k)x} + B e^{-i(\alpha+k)x} \quad (3)$$

и

$$U_2(x) = C e^{(\beta-ik)x} + D e^{-(\beta+ik)x}. \quad (4)$$

Так объясняется смещение фундаментального края поглощения в микрокристаллических и аморфных полупроводниках. Учитывая, что именно вариации структуры решётки ведут к изменению её характеристик, в модели Кронига-Пенни изменения параметров атомной периодичности  $a$ ,  $b$  и  $U$  позволяют понять, какие модификации структуры происходят в случае такой решётки [3,4].

Рассматривая микро- / нанокристаллическую структуру как периодически расположенные кристаллиты, введём волновую функцию, изменя-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 ющуюся по гармоническому (косинусоидальному) закону. Тогда  
 она примет следующий вид:

$$\psi = U(x) \exp(ikx) \cos(nkx). \quad (5)$$

В этом случае также предполагается, что потенциал периодичен  
 и имеет прямоугольную форму.

Подставляя данную функцию в уравнение Шредингера (1), по-  
 лучаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\cos(nkx) \frac{d^2 U(x)}{dx^2} + 2k[i \cos(nkx) - n \sin(nkx)] \cdot \frac{dU(x)}{dx} - [k^2 (\cos(nkx) + \quad (6)$$

$$+ 2i n \sin(nkx) + n^2 \cos(nkx)) - \alpha^2 \cos(nkx)] U(x) = 0$$

Решая уравнение (6) для электрона, находящегося в яме и по-  
 добное для находящегося в барьере, получим функции, после опера-  
 ции «сшивки» которых и нахождения определителя матрицы вы-  
 ведем трансцендентное уравнение, показывающее зависимость  
 E(k).

#### Литература

1. A.C. Mazinov, V.A. Bahov, E.A. Nazderkin. The localized condi-  
 tions of nanodimensional semiconductor structures. 2009 19th Int. Cri-  
 mean Conf. “Microwave & Telecommunication Technology”  
 (CriMiCo’2009). Sevastopol. P. 623-624 (2009).

2. R. de L. Kronig and W.G. Penney. Quantum mechanics of elec-  
 trons in crystal lattices. Proceedings of the Royal Society A. Mathemati-  
 cal, Physical and Engineering Sciences. Vol.130. Issue 814. P. 499-513  
 (1931).

3. A. Mazinov, A. Shevchenko. The offset of the quantum interband  
 transitions in non-crystalline semiconductors. Optical and Quantum  
 Electronics. Vol. 47, No 7. P. 1659-1669 (2015).

4. A.S. Mazinov, A.I. Shevchenko, E.I. Terukov. The influence of  
 defects on the energetic spectrum of noncrystalline semiconductors.  
 Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics. Vol.9, No 6. P. 778-  
 782 (2015).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**О ВЛИЯНИИ ГРАНИЦЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ  
НА ЕЕ КРИТИЧЕСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ**

**Безотосный П.И., Гаврилкин С.Ю., Лыков А.Н., Цветков А.Ю.**

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва  
+ 7 (499) 132-67-67, bezpi@sci.lebedev.ru*

В работе представлены результаты экспериментального и теоретического исследования влияния границы сверхпроводящей пленки на параллельное ее поверхности критическое магнитное поле. Изучались сверхпроводящие пленки толщиной порядка длины когерентности  $\xi$ , для которых это влияние существенно.

Ранее в рамках теории Гинзбурга-Ландау было проведено численное моделирование свойств тонких сверхпроводящих пластин из абстрактного материала [1] с использованием для параметра порядка граничных условий общего вида [2].

С учетом подхода, предложенного в [1], осуществлен расчет температурных зависимостей параллельного поверхности пленки критического магнитного поля для параметров сверхпроводящего материала соответствующих ниобию. Проведено сравнение результатов, полученных при численном расчете и экспериментальных результатов, полученных на пленках Nb. Сделан вывод о соответствии расчетных и экспериментальных данных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-32-00586).

#### Литература

1. П.И. Безотосный, С.Ю. Гаврилкин, А.Н. Лыков, А.Ю. Цветков. Исследование свойств сверхпроводящих пластин толщиной порядка длины когерентности  $\xi$  в рамках теории Гинзбурга-Ландау. ФТТ. 57. С.1277 (2015).

2. Е.А. Андрюшин, В.Л. Гинзбург, А.П. Силин. О граничных условиях в макроскопической теории сверхпроводимости. УФН. Т. 163. №9. С. 105 (1993).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**УГЛЕРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СО СЛОЕВОЙ  
СТРУКТУРОЙ ИЗ АТОМОВ ДВУХ- И  
ТРЕХКООРДИНИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЯХ**

***Беленкова Т.Е.<sup>1</sup>, Чернов В.М.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Челябинский государственный университет, Челябинск  
+7(351)7997117, belenkova.te@gmail.com*

Из различных гибридных углеродных соединений особый интерес представляют слоевые структуры, состоящие из двух- и трехкоординированных углеродных атомов (состояния  $sp$ - и  $sp^2$ -гибридизации), так называемые графиты (graphyne) [1]. Экспериментально пока получена только одна структурная разновидность графитов – графидиин. Графитовые соединения могут найти широкое практическое применение в электронике, водородной энергетике и в устройствах сепарации газовых смесей. В данной работе теоретически исследована структура и свойства основных полиморфных разновидностей графитов, которые могут быть модельно построены на основе слоев гексагонального графена.

Теоретический анализ, выполненный ранее, показал возможность существования семи основных структурных разновидностей таких соединений [2]. Расчеты геометрически оптимизированной структуры этих графитовых полиморфов были выполнены методом теории функционала плотности в градиентном приближении.

В результате выполненных расчетов была найдена геометрически оптимизированная структура шести графитовых слоев:  $\alpha$ - $L_6$ ,  $\beta 1$ - $L_6$ ,  $\beta 2$ - $L_6$ ,  $\beta 3$ - $L_6$ ,  $\gamma 1$ - $L_6$ ,  $\gamma 2$ - $L_6$  (рис.1). Седьмой графитовый слой  $\gamma 3$ - $L_6$  оказался не устойчивым и в результате оптимизации его структура трансформировалась в структуру гексагонального графена  $L_6$ . В элементарных ячейках графитовых слоев содержится от 4 до 18 атомов. Разница полных энергий приходящихся на один атом по сравнению со слоем  $L_6$  составляет от 0.73 до 1.08 эВ/ат. Энергий сублимации графитовых слоев на 10 – 16 % меньше чем для слоя гексагонального графена. Максимальная энергия сублимации для  $\gamma$ -графитов, минимальная для  $\alpha$ -графитов. Ширины запрещенных зон  $\Delta$  для пяти графитовых слоев оказались в диапа-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 зоне от 0.28 до 0.65 эВ. Плотность электронных состояний графенового слоя  $\gamma 2-L_6$  на уровне  $E_F$  оказалась отличной от нуля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

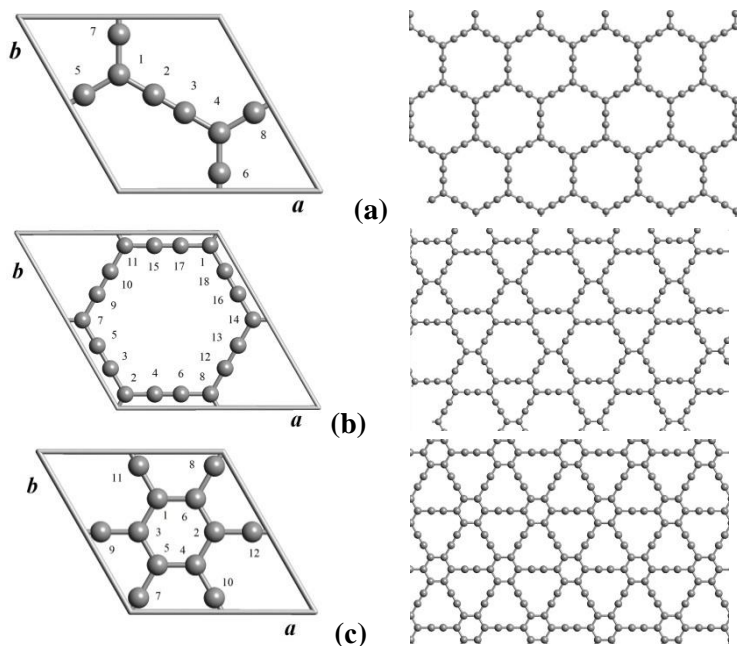


Рис.1 Слои графина и их элементарные ячейки: (а)  $\alpha-L_6$ ; (б)  $\beta 1-L_6$ ; (с)  $\gamma 1-L_6$ .

### Литература

1. R.H. Baughman, H. Eckhardt, M. Kertesz Structure-property predictions for new planar forms of carbon: Layered phases containing  $sp^2$  and  $sp$  atoms. The Journal of Chemical Physics. Vol.87. P. 6687-6699 (1987).

2. E.A. Belenkov, V.V. Mavrinskii, T.E. Belenkova, V.M. Chernov Structural modifications of graphyne layers consistin of carbon ctoms in the  $sp$  and  $sp^2$  hybridized states // Journal of Experimental and Theoretical Physics. Vol. 120(5). P. 820–830 (2015).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ДВУХФОТОННАЯ КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ АТОМОВ ЛИТИЯ**

***Бобров А.А.<sup>1</sup>, Зеленер Б.Б.<sup>1</sup>, Саакян С.А.<sup>1</sup>, Саутенков В.А.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), Москва  
+7(916)7688332, abobrov@inbox.ru*

Работа посвящена теоретическому исследованию двухфотонной когерентной спектроскопии атомов Li, охлаждаемых в магнито-оптической ловушке (МОЛ) [1] в непрерывном режиме на переходе 2S-2P. Облако атомов в МОЛ облучается красным лазером, отстроенным на -600 МГц от перехода 2S-2P и УФ лазером, отстройка которого изменяется в окрестности +600 МГц от перехода 2P-nS(D). При этом сигнал флюоресценции на переходе 2P-2S позволяет получить спектр двухфотонного поглощения.

Система атом-поле рассматривается в простом трехуровневом приближении 2S-2P-nS(D) с привлечением формализма матрицы плотности. Рассматривается поле излучения 2 лазеров - красного и УФ лазера. Показано, что влияние пучков МОЛ на форму линии двухфотонного поглощения в этом простом приближении можно учесть, подставив в соответствующем уравнении в качестве скорости распада когерентности 2S-nS(D) скорость возбуждения на переходе 2S-2P за счет пучков МОЛ. При этом для пучков МОЛ можно оценить эффективную частоту Раби. Кроме того, в системе уравнений на компоненты матрицы плотности феноменологически учтены скорости прихода атомов в систему, ухода атомов за счет столкновений и вылета из системы ридберговских атомов.

Литература

1. Б.Б. Зеленер, С.А. Саакян, В.А. Саутенков, Э.А. Манькин, Б.В. Зеленер, В.Е. Фортов. Эффективное возбуждение ридберговских состояний ультрахолодных атомов лития-7. Письма в ЖЭТФ. Vol.100. P.408 (2014).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИЗЛУЧЕНИЕ СИГНАЛА ПЛАЗМЕННОЙ  
НЕСИММЕТРИЧНОЙ ВИБРАТОРНОЙ АНТЕННОЙ**

**Богачев Н.Н.<sup>1,2,3</sup>, Андреев С.Е.<sup>1,2</sup>, Богданкевич И.Л.<sup>1,2,3</sup>,  
Гусейн-заде Н.Г.<sup>1,2,3</sup>, Нефёдов В.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН), Москва*

<sup>2</sup>*Московский технологический университет (МИРЭА), Москва*

<sup>3</sup>*Российский национальный исследовательский медицинский университет  
им. Н.И. Пирогова, Москва*

8-906-039-7922, bgniknik@yandex.ru

Плазменные антенны – класс антенн, в котором в качестве волно-ведущих, излучающих и управляющих элементов используется плазма [1-4]. Актуальность исследований плазменных антенн связана с необходимостью поиска новых решений задач современной радиотехники: создание интеллектуальных антенн с безынерционным управлением характеристиками (диаграммой направленности, частотным диапазоном и др.) для систем нового поколения; снижение радиолокационной заметности антенных устройств объектов вооружения и военной техники; повышение защищенности радиотехнических систем от воздействий средств радиоэлектронной борьбы и поражения атмосферными электрическими разрядами.

В развитии плазменных технологий в антенной технике можно выделить несколько направлений. Самое обширное и перспективное направление – плазменные антенны из газоразрядных трубок. Оно включает в себя работы над различными типами антенн. В данной работе исследуется плазменная несимметричная вибраторная антенна (ПНВА). Такая антенна представляет собой аналог металлической несимметричной вибраторной антенны (МНВА). Вибраторная антенна состоит из штыря (плеча вибратора), соединённого с центральным проводником коаксиального кабеля, и проводящего диска, соединённого с внешним проводником коаксиально кабеля. В случае плазменной антенны металлический штырь заменён на газоразрядную трубку с плазмой. Оптимальной длиной плеча вибратора считается  $l_a = \lambda/4$ .

Актуальная проблема разработки плазменных антенн – поиск оптимального режима работы. Под оптимальным режимом работы плазменной антенны понимается режим, с характеристиками излу-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы чения не уступающими характеристикам аналогичной металлической. В поиске такого режима важную роль играет выявление и снижение шумов и нелинейных искажений, возникающих при взаимодействии плазмы и СВЧ-волны в плазменной антенне.

В данной работе представлены результаты численных и экспериментальных исследований излучения сигнала плазменной несимметричной вибраторной антенной. С помощью численного моделирования в электромагнитном коде КАРАТ [5] исследовано излучение ПНВА импульса гауссовой формы для разных конструкций и параметров плазмы. Экспериментально исследовано излучение плазменной антенной немодулированного и частотно-модулированного сигналов. Аналогичные экспериментальные исследования проведены для металлической антенны. По результатам исследований обнаружено усиление плазменной антенной составляющих на частотах кратных гармоник несущей частоты излучаемого сигнала. В докладе обсуждаются возможные причины нелинейных искажений и пути оптимизации параметров ПНВА.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-08-00859 а.

#### Литература

1. G. G. Borg, J. H. Harris, D. G. Miljak and N. M. Martin. Applied physics letters. Vol. 74. P. 3272 (1999).

2. Истомин Е.Н., Карфидов Д.М., Минаев И.М., Рухадзе А.А., Тараканов В.П., Сергейчев К.Ф., Трефилов А.Ю.// Физика плазмы. Т. 32. № 4. С. 423 (2006).

3. Lv J. W. Song Li Y., Li Chen Z. WSEAS Transactions on Communications. Vol. 10. Issue. 11. P. 323-330 (2011).

4. B. A. Belyaev, A. A. Leksikov, A. A. Leksikov, A. M. Serzhantov and Y. F. Bal'va. IEEE Trans. on Plasma Science. Vol. 42. Issue. 6, P. 1552–1559 (2014).

5. V. P. Tarakanov. User's manual for code KARAT (Springfield: BRA. 1992).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**НОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР В МИКРО- И  
НАНОАЛМАЗАХ**

**Болдырев К.Н.**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*  
+7(926)5863756, [kn.boldyrev@gmail.com](mailto:kn.boldyrev@gmail.com)

Центры окраски в алмазе являются объектом очень пристального изучения в контексте их возможного использования в качестве люминесцентных маркеров в биологии, для измерения слабых магнитных полей с высоким пространственным разрешением и, самое главное, как трехуровневых  $\lambda$ -систем и эмиттеров одиночных фотонов для квантовой обработки информации и связи. В частности, была показана возможность использования центров в различных областях типа азот-вакансия (NV), кремний-вакансия (SiV), центров, связанных с Cr и Ni (NE8) как эмиттеров одиночных фотонов. Поиск и изучение новых люминесцентных центров окраски в алмазе имеет большое значение не только для расширения спектрального диапазона излучателей одиночных фотонов, но также для понимания взаимосвязи между структурой, схемой уровней энергии и люминесцентными свойствами центров окраски в алмазе.

Ранее, в работе [1] впервые проведены исследования алмазов, в которых были созданы центры германия методами ионной имплантации и CVD, и где была показана возможность использования новых германиевых центров как эмиттеров одиночных фотонов с длиной волны 602 нм. В настоящей работе были исследованы такие центры в алмазах, полученных с применением методики синтеза при высоких давлениях и температурах (НРНТ). Исследуемые кристаллы обладали хорошим оптическим качеством, что позволило обнаружить тонкую структуру люминесцентной линии при низких температурах, и определить расщепления основного и возбужденного состояний [2], что чрезвычайно важно для понимания природы центра и для применений в квантовых системах. Нами были проведены исследования с различным изотопическим замещением германия, а именно, с изотопами  $^{70}\text{Ge}$ ,  $^{72}\text{Ge}$ ,  $^{73}\text{Ge}$  и  $^{76}\text{Ge}$ . По изотопическому смещению линий мы показали, что линия люминесценции 602 нм однозначно относится к центру GeV, а линия 615 нм

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы относятся к локальной колебательной моде этого центра [2]. Была проведена оценка концентрации центров GeV в алмазе, которая позволяет утверждать о высокой квантовой эффективности данных центров. Кроме того, было установлено, что ширина линии люминесценции не зависела от размера полученных кристаллов. Таким образом, еще одним важным применением центров GeV является возможность использования их как биомаркеров в медицине.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант №15-02-07451а), программ ОФН РАН и гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых (МК-3577.2017.2).

#### Литература

1. T. Iwasaki, F. Ishibashi, Y. Miyamoto, Y. Doi, S. Kobayashi, T. Miyazaki, K. Tahara, K. D. Jahnke, L. J. Rogers, B. Naydenov, F. Jelezko, S. Yamasaki, S. Nagamachi, T. Inubushi, N. Mizuochi, M. Hatano, *Scientific Report* **5**, 12882 (2015).
2. E. A. Ekimov, S. G. Lyapin, K. N. Boldyrev, M. V. Kondrin, R. Khmel'nitskiy, V. A. Gavva, T. V. Kotereva, M. N. Popova, *Письма в ЖЭТФ*, **102** (11), 811 (2015).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ 2D**  
**ФРУСТРИРОВАННОГО МАГНЕТИКА  $\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$**

***Будкин И.В.<sup>1,2</sup>, Климин С.А.<sup>1</sup>, Кузнецова Е.С.<sup>3</sup>, Бердоносков П.С.<sup>3</sup>***

*<sup>1</sup> Институт Спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

*<sup>2</sup> МФТИ, Долгопрудный, Московская Область*

*<sup>3</sup> Кафедра неорганической химии, химфак МГУ им. Ломоносова, Москва  
89161904356, iberkut@yandex.ru*

$\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$ , представитель семейства редкоземельных (РЗ) франциситов [1,2], является двумерным фрустрированным магнетиком. Магнитные свойства его определяются взаимодействием магнитных d- и f- подсистем. С целью получения информации о природе фазовых переходов и о магнитных взаимодействиях в данном соединении, были исследованы спектры пропускания кристалла  $\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$  в области f-f переходов иона  $\text{Yb}^{3+}$ .

Для эксперимента были изготовлены таблетки из смеси поликристаллических KBr оптического качества и  $\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$ . Образец помещался в оптический гелиевый криостат замкнутого цикла CryoMech ST403. Спектры пропускания были зарегистрированы на фурье-спектрометре Bruker IFS 125HR.

Спектры пропускания, а также карта интенсивностей вблизи 0-0 перехода в ионе  $\text{Yb}^{3+}$ , показаны на рис.1. При  $T < 36.7$  К линия IA (см. схему на рис. 1в) расщепляется на две компоненты. Поскольку крамеровское вырождение снимается только магнитным полем, можно сделать вывод об установлении магнитного порядка в кристалле при  $T_N = 36.7$  К. При  $T_R = 8.7$  К наблюдается резкое по температуре изменение спектра.

Анализ температурных изменений в спектрах и литературных данных позволил сделать следующие выводы. Переход при  $T_N = 36.7$  К связан с антиферромагнитным (АФМ) упорядочением меди и является фазовым переходом второго рода. Переход при  $T_R = 8.7$  К является спин-переориентационным переходом первого рода с характерными чертами гистерезиса и сосуществования двух фаз в узкой температурной области около  $T_R$ .

Причиной спин-переориентационного перехода в  $\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$  является одноионная магнитная анизотропия РЗ

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
иона. Расщепление k-ого дублета иона  $\text{Yb}^{3+}$  может быть представлено как эффект Зеемана в эффективном магнитном поле:

$$\Delta_k = \sqrt{\sum_i (g_{ki} \mathbf{B}_{eff}^{ki})^2}$$

При  $T_N = 36.7$  не происходит расщепления основного кramerсовского дублета, т.к. компонента g-фактора вдоль эффективного магнитного поля близка к нулю. При  $T_R = 8.7$  К выигрыш за счёт понижения энергии основного состояния иттербия при расщеплении основного кramerсовского дублета становится достаточным для переориентации магнитных моментов меди вдоль максимальной компоненты g-фактора РЗ иона.

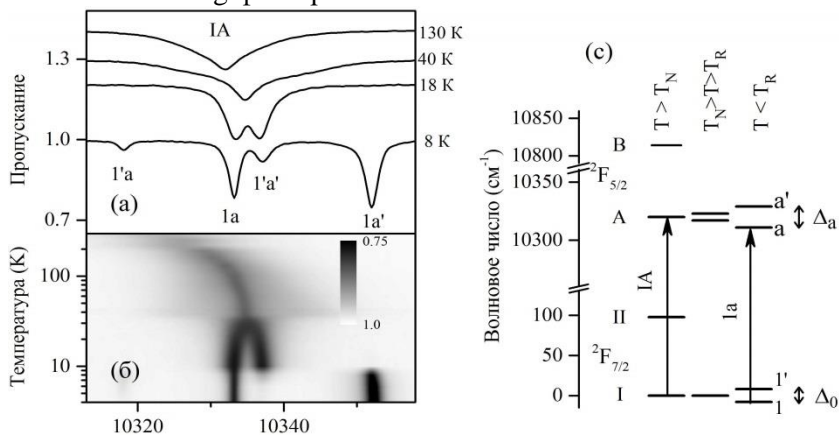


Рис.1. (а) Спектры пропускания  $\text{Cu}_3\text{Yb}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$  при различных температурах (смещены для наглядности по вертикали), и соответствующая им (б) карта интенсивностей. (в) схема уровней иона  $\text{Yb}^{3+}$  для трех магнитных фазовых состояний.

### Литература

1. Berdonosov P.S., Dolgikh V.A., Rus. J. Inorg. Chem **53** (2008) 1353.
2. K.V. Zakharov, et al.// Phys. Rev, B 94, 054401 (2016)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ФОНОННЫЙ СПЕКТР НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА**  
**BaGa<sub>2</sub>GeS<sub>6</sub>**

**Будкин И.В.<sup>1,2</sup>, Климин С.А.<sup>1</sup>, Маврин Б.Н.<sup>1</sup>,  
Бадиков В.В.<sup>3</sup>, Бадиков Д.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт Спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup> *МФТИ, Долгопрудный, Московская Область*

<sup>3</sup> *Лаборатория высоких технологий, Кубанский ГУ, Краснодар  
89161904356, iberkut@yandex.ru*

BaGa<sub>2</sub>GeS<sub>6</sub> (BGGs) – это новый нелинейный кристалл, эффективно работающий в ИК-области (2-10 мкм) [1,2]. Параметры нелинейности его такие как у известных коммерческих аналогов (например, AgGaS<sub>2</sub>), в тоже время кристалл BGGs обладает большей химической стабильностью. BGGs кристаллизуется в пространственной группе R3. Особенностью кристаллической структуры является разупорядочение в галлий-германиевой подрешетке, так как ионы Ga<sup>3+</sup> и Ge<sup>4+</sup> занимают одну и ту же позицию. В данной работе представлены результаты первого исследования фононного спектра кристалла BGGs.

Для эксперимента были вырезаны пластины, содержащие ось z в плоскости. Измерения спектров КРС были проведены на тройном спектрометре с регистрацией сигнала охлаждаемой CCD камерой и возбуждением  $\lambda_{exc} = 514.5$  нм. Спектры отражения были зарегистрированы на фурье-спектрометре BRUKER IFS66.

Проведенный теоретико-групповой анализ (ТГА) позволил определить количество, симметрию и активность оптических колебательных мод:  $\Gamma_{opt} = 9A(E||z, xx, yy, zz) + 9E(E||x, E||y, xx, yy, xy, xz, yz)$ . Измеренные в различных поляризациях спектры КРС и ИК-отражения представлены на Рис. 1. Протяженность фононного спектра невелика (чуть более 400 см<sup>-1</sup>), что обусловлено отсутствием в кристалле легких атомов. Интересно, что в спектрах присутствует энергетическая щель, несмотря на то, что в структуре отсутствуют молекулярные комплексы. Экспериментальные частоты колебательных мод приведены в Табл. 1. В целом количество мод соответствует ТГА. Следует отметить, что в неупорядоченных кристаллах колебательные спектры обладают рядом особенностей. В

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы частности, может наблюдаться уширение спектральных линий и проявление плотности фононных состояний. Действительно, некоторые экспериментальные фононные моды достаточно широкие (до  $20 \text{ см}^{-1}$ ), имеют асимметрию.

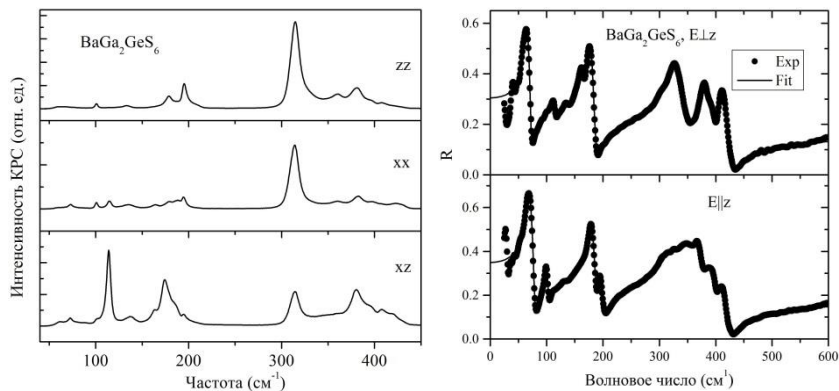


Рис.1. Спектры КРС (слева) и ИК отражения (справа) кристалла BGGs в различных поляризационных конфигурациях. Для ИК-спектров показаны экспериментальные данные (точки) и результат моделирования (кривые).

Таблица 1. Экспериментальные частоты (в  $\text{см}^{-1}$ ) колебательных мод симметрии A и E для кристалла  $\text{BaGa}_2\text{GeS}_6$ .

E	TO	63	114	136	162	173		327		379	408
	LO	73	115	138	164	174				380	424
A	TO	65	100		177	195	323	344	362	387	408
	LO		101		178	195	314	360	383	399	408

### Литература

1. X. Lin et al., J. Solid State Chemistry 195 (2012) 172.
2. V.V. Badikov, D.V. Badikov, V.B. Laptev, et al., Optical Materials Express 6 (2016) 2933.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СИНТЕЗ И СТРУКТУРА СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
ЦЕРАТА БАРИЯ**

***Е. А. Булаева<sup>1</sup>, Ю. А. Луницкая<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»*

*Тел: +7-951-116-44-75, [13735446@mail.ru](mailto:13735446@mail.ru)*

Твердые растворы  $BaCe_{1-x}Me_xO_{3-\delta}$  со структурой типа перовскита, обладающие ионопроводящими и ионообменными свойствами [1], являются перспективными материалами для создания на их основе протонпроводящих мембран в твердотельных топливных элементах, электролизеров водяного пара. Ионная и протонная проводимость в таких материалах возникает за счет образования дефектов в анионной подрешетке (кислородных вакансий [2]), при частичном замещении  $Ce^{4+}$  на  $Me^{3+}$  (Y, Pr, Sm, Gd) в катионной подрешетке структуры.

В работе определены параметры, влияющие на величину ионной проводимости, и разработан механизм ионного переноса в полученных соединениях. Синтез образцов проводили по стандартной керамической технологии в системе  $BaCO_3-CeO_2-Me_2O_3$ . Контроль химического и фазового состава осуществляли методами дериватографии и рентгеновского анализа. Кристаллическую структуру соединений уточняли методом Ритвельда.

Кроме того, в докладе обсуждаются вопросы образования и устойчивости фаз, определения концентрационных интервалов синтеза фаз со структурой типа перовскита и установления взаимосвязи между структурными особенностями и их ионопроводящими свойствами.

#### Литература

1. Medvedev, D.  $BaCeO_3$ : Materials development, properties and application / D. Medvedev, A. Murashkina et al. // Progress in Materials Science. 2013. V. 60. P. 72 – 129.

2. Amsif, M. Influence of rare-earth doping on the microstructure and conductivity of  $BaCe_{0.9}Ln_{0.1}O_{3-\delta}$  proton conductors / M. Amsif, D. Marrero-Lopez, J. C. Ruiz-Morales et al. // Journal of Power Sources. 2011. V. 196(7). P. 3461 – 3469.

**ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЕ С НАКАЧКОЙ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ЛАЗЕРАМИ**

***Бурдукова О.А.<sup>1,2</sup>, Горбунков М.В.<sup>2</sup>, Петухов В.А.<sup>1,2</sup>,  
Семёнов М.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва  
+79672837592, burdukova\_olga@mail.ru*

Перестраиваемые лазеры на красителях используются для многих приложений, таких как спектроскопия, зондирование атмосфер, разделение изотопов и т. д. Замена традиционных источников накачки лазеров на красителях полупроводниковыми лазерами позволит реализовать не только низкое энергопотребление и компактность перестраиваемых лазеров, но и значительно снизить их стоимость. Одной из основных проблемой при накачке диодами лазеров на красителях является нехватка плотности мощности для возбуждения активной среды. Первые попытки осуществить накачку лазеров на красителях полупроводниковыми лазерами были более 20 лет назад, но до недавнего времени КПД не превышал 2% [1] даже в лучших работах. В 2015 году вышла работа [2], где получен дифференциальный КПД около 11% (краситель - DCM), но с резонатором не пригодным для перестройки длины волны.

Целью данной работы являлось создание перестраиваемого лазера на красителе с импульсной накачкой мощными голубыми (445 нм) диодами. Была выбрана поперечная схема накачки с полным внутренним отражением генерируемого излучения в кювете с красителем и частичной компенсацией астигматизма в трехзеркальном резонаторе (Рис.1).

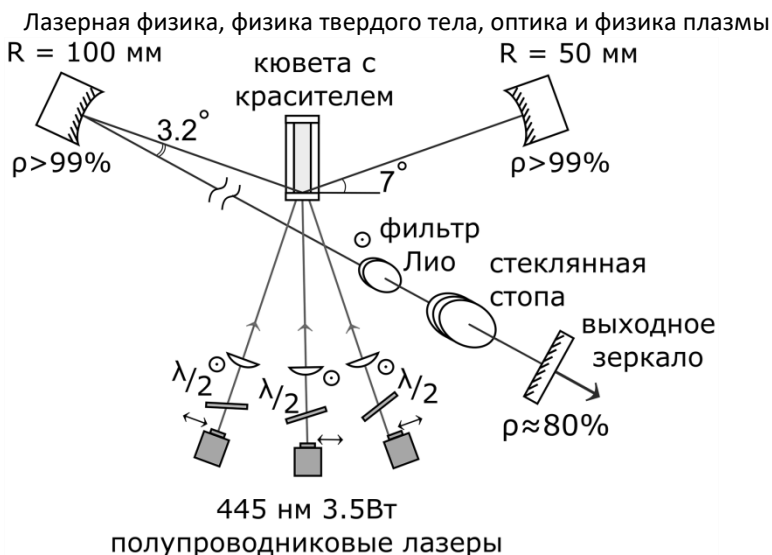


Рис.1. Схема перестраиваемого лазера на красителях с диодной накачкой

Предложенная схема позволяет увеличить число лазеров накачки, а также не требует сильной фокусировки излучения накачки в тангенциальной плоскости. Именно в такой схеме (без селективного элемента) мы получили рекордные значения дифференциальных КПД (18%) для лазерных красителей с накачкой диодами [3]. Селекция длины волны осуществлялась интерференционно-поляризационным фильтром: двулучепреломляющая пластинка из кристаллического кварца и стеклянная стопа (стекло К-8), установленные под углом Брюстера в компенсирующем плече резонатора. В качестве растворителя использовался бензиловый спирт.

Представленный перестраиваемый лазер на красителе генерирует в зеленой и красной областях. Перестроечные кривые для лучших красителей представлены на Рис.2. Получены области перестройки от 40 нм до 90 нм на одном красителе, в диапазоне длин волн от 497 нм до 696 нм. Для лучших красителей КПД в максимуме кривой перестройки превышает 5 %.

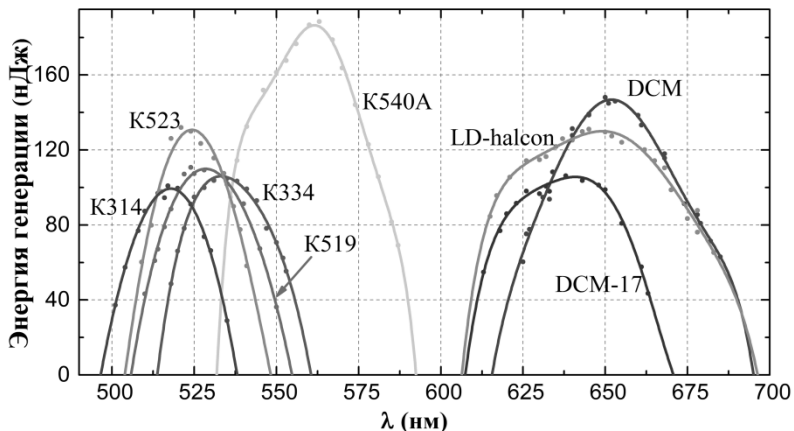


Рис.2. Зависимость энергии генерации растворов красителей от длины волны в селективном резонаторе при фиксированной энергии накачки 2.4 мкДж

В данной работе показано, что используя полупроводниковые лазеры в качестве накачки лазеров на красителях, возможно получать достаточно эффективную генерацию и осуществлять перестройку длин волн в широком диапазоне.

#### Литература

1. R. Scheps. Near-IR dye laser for diode-pumped operation. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. Vol.31. Issue 1. P.126-134 (1995).
2. Z. Zhao, O. Mhibik, M. Nafa, S. Chenais, and S. Forget. «High brightness diode-pumped organic solid-state laser». *Applied Physics Letters*. Vol.106. P.051112 (2015).
3. O. Burdukova, M. Gorbunkov, V. Petukhov, and M. Semenov. «Diode-pumped dye laser». *Laser Physics Letters*. Vol.13. P.105004 (2016).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ФОРМИРОВАНИЕ СУПЕРГАУССОВА ПУЧКА В  
ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЕ**

***Бутаев М.Р.<sup>1</sup>, Михеев Л.Д.<sup>1,2</sup>, Ставровский Д.Б.<sup>2</sup>, Москалев Т.Ю.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

<sup>2</sup>*Физический институт имени П.Н. Лебедева «ФИАН», Москва  
e-mail: [mbutayev@mail.ru](mailto:mbutayev@mail.ru)*

Под фемтосекундной гибридной системой подразумевается система, в которой фемтосекундные импульсы генерируются в твердотельном стартовом комплексе, а усиливаются в конечном усилителе с газовой активной средой. В настоящее время в таких системах видимого диапазона используются пучки с гауссовым распределением интенсивности по сечению пучка. Однако с точки зрения эффективности съема энергии в конечном каскаде усиления и негативного влияния дифракции на краях апертур транспортной оптики на качество лазерного излучения более перспективным является использование супергауссовых пучков, характеризующихся более однородным пространственным распределением интенсивности. Основная проблема, требующая решения при их формировании в гибридных системах видимого диапазона, состоит в дифракционной устойчивости супергауссовых пучков, поскольку вследствие низкого значения коэффициента усиления малого сигнала ( $\sim 2 \times 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ ) в ХеF(C-A)-усилителе длина усиливающей трассы в многопроходной схеме усилителя достигает значительной величины в 35-40 м. При такой длине трассы становятся важными дифракционные искажения пучка, в сильной степени зависящие от профиля пучка на входе в усилитель. Поэтому задача формирования супергауссовых пучков в гибридных системах видимого диапазона требует прежде всего теоретических и экспериментальных исследований дифракционных искажений на выходе ХеF(C-A)-усилителя в зависимости от исходного профиля супергауссова пучка на его входе. Эти данные необходимы для разработки аподизатора лазерного пучка с оптимальными характеристиками.

Целью данной работы была разработка аподизатора лазерного пучка на основе зубчатой диафрагмы и пространственного фильтра

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы для формирования супергауссовых пучков, распространяющихся на расстояния, эквивалентные суммарной длине усиливающей трассы в многопроходной схеме XeF(C-A)-усилителя. Для изучения свойств аподизатора мы использовали непрерывное излучение He-Ne лазера. Аподизатор позволяет формировать супергауссовый пучок, но на больших расстояниях (~40 м) пучок испытывал дифракционные искажения. Для решения этой проблемы было предложено дополнить зубчатую диафрагму фазовым корректором в виде тонкого кольца, установленного вблизи зубчатой диафрагмы [1]. На рис. 1 представлено сравнение экспериментальных и рассчитанных профилей пучка на расстоянии 40 м от аподизатора, эквивалентном суммарной длине многопроходного XeF(C-A)-усилителя. Из рисунка видно, что коррекция фазы приводит к уменьшению глубины модуляции интенсивности в пучке более чем в 3 раза.

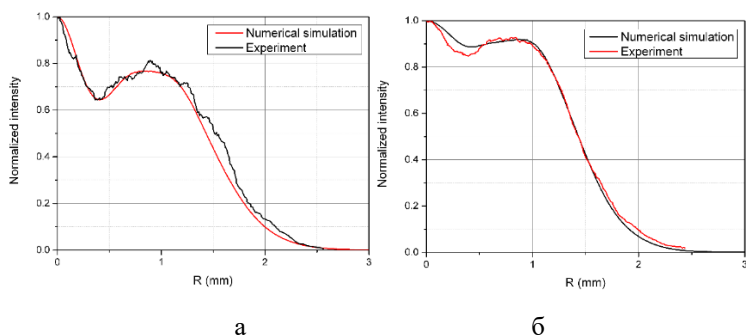


Рис.1. Сравнение экспериментальных и рассчитанных профилей пучка на расстояниях порядка 40 м без корректирующего элемента (а) и с корректирующим элементом в аподизаторе (б).

#### Литература:

1. Л.Д. Михеев, Т.Ю. Москалев. «Аподизатор лазерного пучка». Патент РФ № 2587694. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 23.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ДРАЙВЕР ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

**Важинский О.Т.**

ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники», г. Томск  
тел. +7 (913) 100-24-16, e-mail: oleg\_vazhinsky92@mail.ru

Лазерные диоды (ЛД) и линейки лазерных диодов используются в качестве элементов системы накачки в твердотельных лазерах [1, 2]. Учитывая факт, что данные полупроводниковые приборы чувствительны к качеству питания и рабочей температуре, использование драйвера для питания ЛД является важным и неотъемлемым условием для корректной и длительной работы блоков накачки твердотельных лазеров. Современные драйверы для ЛД, выпускаемые промышленными компаниями, в большинстве случаев разработаны для конкретных марок ЛД [3], имеют большие габариты [4] и не имеют интеграции с существующими системами твердотельных лазеров [5].

Таким образом, основной целью данной работы является разработка малогабаритного драйвера для ЛД с возможностью питания ЛД током до 2 А, контролем температуры и возможностью простой интеграции в существующую систему твердотельного лазера.

Принципиальная схема разработанного драйвера представлена на рис. 1. Силовой MOSFET транзистор  $VT1$  является источником тока ЛД. Управляющее напряжение затвор-сток генерируется операционным усилителем (ОУ)  $IC2$ . Напряжение на выходе ОУ эквивалентно напряжению на конденсаторе  $C1$ . Уровень напряжения на конденсаторе регулируется ШИМ сигналом с микроконтроллера (МК, на схеме не показан). Рабочая температура ЛД контролируется МК посредством NTC термистора  $R9$ . Ток ЛД контролируется МК с помощью резистивного шунта и ОУ  $IC1$  включенного в дифференциальном режиме работы.

Для исследования рабочих характеристик и стабильности драйвера ЛД в качестве нагрузки использовались полупроводниковые диоды. Экспериментальные зависимости тока и напряжения на выходе драйвера ЛД приведены на рис. 2.

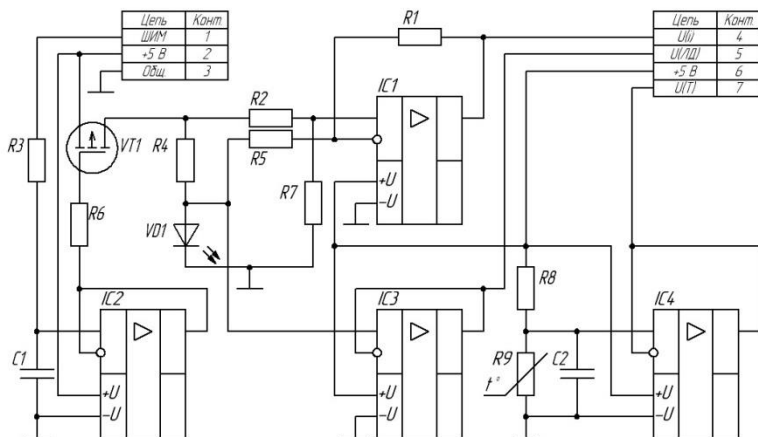


Рис. 1. Принципиальная схема драйвера ЛД

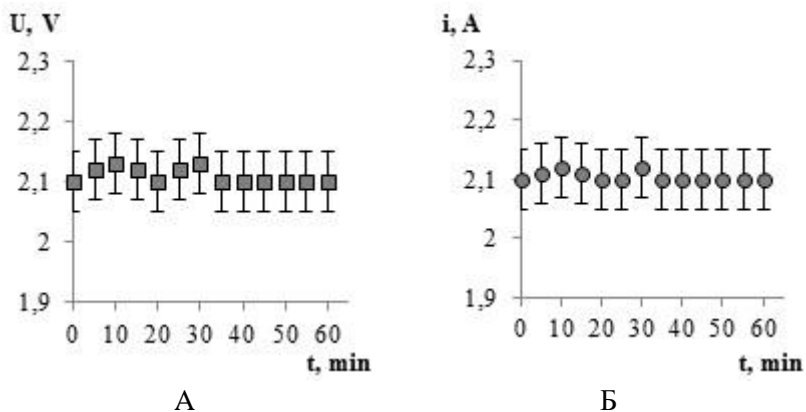


Рис. 2

- А – Временная зависимость напряжения на выходе драйвера;  
 Б – Временная зависимость выходного тока драйвера

Нестабильность выходного напряжения составила 0,03 В: от нижнего предела 2,1 В до верхнего 2,13 В. Нестабильность выходного тока составила 0,03 А и находилась в аналогичных пределах. Предположительно нестабильность тока нагрузки связана с увеличением температуры силового MOSFET транзистора.

### Литература

1. Пат. 2266594 Российская Федерация, МПК H01S03/02. Твердотельный лазер с продольной накачкой [Текст] / Стрепетов С.Ф.; заявитель и патентообладатель ФГУП Государственный Рязанский приборный завод - № 2004121700/28; заявл. 16.07.2014; опубл. 20.12.2005.

2. Пат. U 8226 Республика Беларусь, МПК H01S3/08. Твердотельный лазер с диодной накачкой [Текст] / Тепляшин Л.Л.; заявитель и патентообладатель ГНУ Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси - № u 20110921; заявл. 16.11.2011; опубл. 30.04.2012.

3. Грамаков А.А. Высокоэффективные источники накачки для импульсных полупроводниковых лазерных линеек [Текст] / А.А. Грамаков, А.П. Фефелов, А.В. Чернышев // Наука и образование. - 2012. - №04. - с.1-8.

4. Исследовательская система университета Стендфорд [Электронный ресурс] / Университет Стендфорта – Электрон. Текстовые дан. - Режим доступа: <http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/Manuals/LDC501m.pdf>, свободный. - Дата обращения 07 февраля 2017.

5. Официальный сайт компании Nolatech [Электронный ресурс] / Компания Nolatech – Электрон. Текстовые дан. - Режим доступа: <http://nolatech.ru/products/driver>, свободный. - Дата обращения 07 февраля 2017.

**Василенко А.Н.**

*Белорусско-Российский университет, г. Могилев (РБ)  
+375 29 547 57 07, andrei@livewifi.by*

Для качественной оценки поверхностных напряжений требуется предварительное измерение центрального напряжения, что к примеру, возможно на основе анализа рассеяния света на неоднородностях распределения показателя преломления в стекле. Наблюдение такого рассеяния позволяет визуализировать распространение света в анизотропном стекле. При этом, анализируя распределения интенсивности рассеянного света можно практически локально исследовать анизотропию показателя преломления и напряжения в стекле [2]. Рассмотрим процедуру измерения, используемую в этих методах. Схема измерений представлена на рисунке 1.

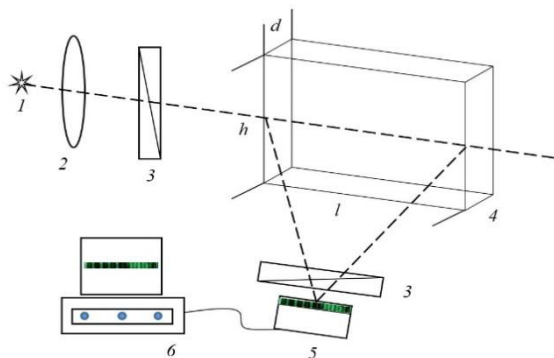


Рис.1. Схема измерений: 1 – источник света, 2 – оптическая система, 3 – поляризатор, 4 – исследуемый образец, 5 – фоторегистрирующее устройство, 6 – компьютер.

Линейно поляризованный свет нормально падает на торец стекла 4 и проходит через него. Рассеянный свет регистрируется в плоскости перпендикулярной направлению распространения фоторегистрирующим устройством 5.

На рисунке 2 представлены результаты исследования рассеяния света с длиной волны 0,533 мкм, образцом стекла толщиной 6

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы мм, ширина и длина которого соответственно равны 100 и 140 мм. Обработка полученной экспериментальной зависимости дала следующую оценку  $\sigma_{\text{н}} = 40,2$  МПа (поверхностное напряжение стекла 80,4 МПа).

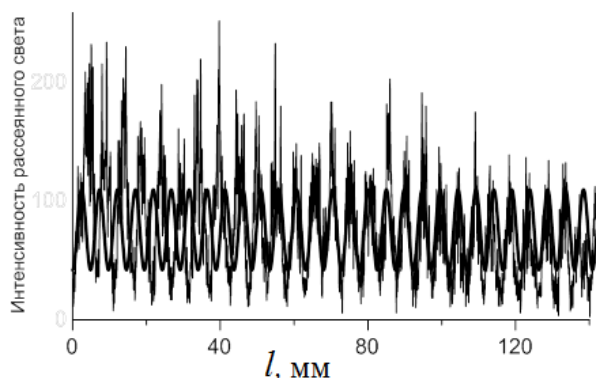


Рис.2. Регистрируемая зависимость интенсивности рассеянного света  $I(x)$  при  $z = 0$  (в качестве регистрирующего устройства 5 использовалась матрица фотоприемников)

Представленные результаты исследования оптических свойств закаленных стекол позволяют сделать вывод, что предложенный подход позволяет корректно оценивать распределение величины напряжений в анизотропных неоднородных объектах большой площади.

#### Литература

1. Измерение распределения разности фаз при линейном двулуче-преломлении в твердых телах с внутренними напряжениями / А.В. Хомченко [и др.] // Известия ГГУ им Ф.Скорины. Ест. науки. – 2016, № 3(96). - С.124-131.

2. Scattered laser light fringe patterns for stress profile measurement in tempered glass plates / S. Hödemann [et al] // Glass Technology – 2014. –Vol.55, №3. – P.90 – 95.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**КОЭФФИЦИЕНТЫ ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА  
МЕТАПОВЕРХНОСТЯМИ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ  
МИКРОСФЕРАМИ, ИЗМЕРЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ  
ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО МИКРОСКОПА**

**Васильев В.Е.<sup>1</sup>, Денисултанов А.Х.<sup>2</sup>, Ковров А.Э.<sup>2</sup>, Мухин И.С.<sup>3,4</sup>,  
Захаров В.В.<sup>1</sup>, Шалин А.С.<sup>2</sup>, Вениаминов А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Центр «Информационные оптические технологии»,  
Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Кафедра Нанопотоники и Метаматериалов, лаборатория Нанопто-  
механики, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Кафедра Нанопотоники и Метаматериалов, лаборатория Нанопото-  
ники и Метаматериалов, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>4</sup> *Центр физики и технологии наноструктур, Санкт-Петербургский  
академический университет, Санкт-Петербург, Россия  
+ 7918 081 04 24., vyach.vasilev@gmail.com*

В настоящее время ведется активное исследование метаматериалов, их свойств и методов формирования [1, 2]. Значительный интерес вызывают так называемые метаповерхности с асимметричным пропусканием света [3, 4]. Эти метаповерхности могут найти применение во многих областях, например, для окон автомобилей.

В настоящей работе проведено измерение интенсивности света, прошедшего через различные участки модельной метаповерхности, представляющей собой слой золота толщиной 300 нм с цилиндрическими отверстиями (сетку) на стеклянной подложке, покрытый микросферами из полистирола. Для измерения использован лазерный сканирующий микроскоп LSM710 (Zeiss).

Измерения выявили существенное различие участков метаповерхности с микросферами, расположенными соответственно отверстиям металлической сетки, и со сдвигом относительно отверстий. Пропускание участков с "правильно" уложенными сферами (как в области 1 на рис.1) в 2.5 раза превысило пропускание сетки без микросфер (область 2). Это отношение может также служить нижним пределом для отношения коэффициентов прямого и обратного пропускания (со стороны микросфер и подложки). Микросферы, смещенные относительно сетки (3 на рис.1), напротив, в несколько раз снизили пропускание по сравнению с незаполнен-



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 ными ячейками. Три уровня коэффициента пропускания, соответствующих трем типам участков, можно наблюдать в профиле пропускания, проведенном по ряду отверстий сетки с микросферами и без них (рис. 1в). Абсолютное пропускание света, измеренное в этом исследовании, не превосходило 60%.

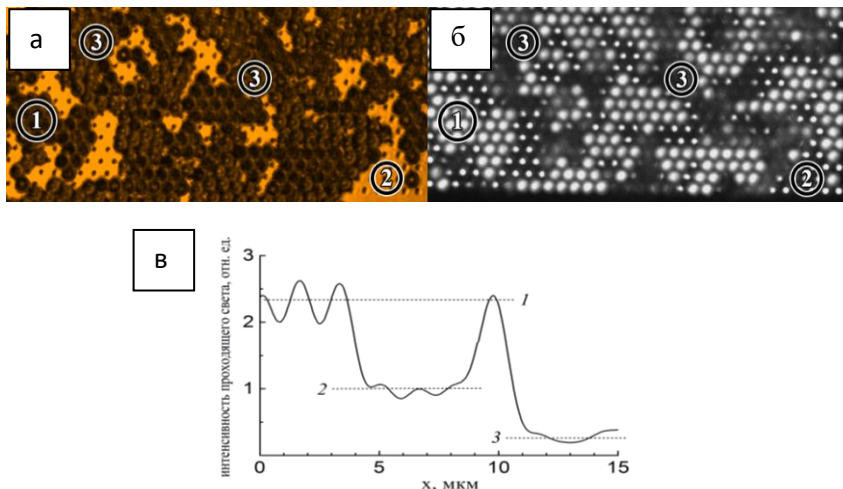


Рис.1. Изображения метаповерхности в отраженном (а) и прошедшем (б) лазерном свете 405 нм: правильно упорядоченные микросферы (1), золото с отверстиями без микросфер (2), смещенные микросферы (3).  
 (в) Профиль пропускания по ряду упорядоченных микросфер (1), отверстий без микросфер (2) и смещенных микросфер (3).

#### Литература

1. Симовский КР 2009 Оптика и спектроскопия 107 766
2. Saman J, Zubin J 2016 Nature Nanotechnology 11 p 23–36
3. Kovrov A, Baranov D, Shalin A, Mukhin I, Simovski С 2016 Days on Diffraction (DD) p. 234-236
- 4 Chen H T, Taylor A J, Yu N 2016 Reports on Progress in Physics 79 076401.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ТЕПЛОВЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА  
КВАЗИБИНАРНЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ (Lu,Gd)<sub>5</sub>Pd<sub>2</sub>**

**Ваулин А.А.<sup>1</sup>, Шишкин Д.А.<sup>1,2</sup>, Шерстобитова Е.А.<sup>2</sup>,  
Губкин А.Ф.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Уральский федеральный университет им. первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург*

<sup>2</sup>*Института Физики Металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН,  
Екатеринбург*

*конт. тел.89505533416, e-mail: artavaulin@gmail.com*

Среди редкоземельных интерметаллидов с высоким содержанием редкоземельного элемента особое внимание привлекают соединения R5Pd2 (R = Tb, Dy, Ho, Er, Lu). Данные интерметаллиды обладают кубической кристаллической структурой с пространственной группой Fd3m и демонстрируют гигантский магнитокалорический эффект с рекордным значением относительной хладопроизводительности при приложении внешнего магнитного поля [1]. Аномальное поведение магнитных и электротранспортных свойств было обнаружено для ряда соединений R5Pd2 в работе [2]. Тем не менее, к настоящему моменту в научной литературе нет данных по теплоемкости бинарных редкоземельных интерметаллидов R5Pd2. Более того, существенный интерес представляет анализ различных вкладов в теплоемкость интерметаллидов R5Pd2, выделение магнитного вклада и оценка величины магнитной энтропии. В настоящей работе были проведены измерения теплоемкости и сделана оценка решеточного, электронного и магнитного вкладов в теплоемкость поликристаллических образцов Lu<sub>3.08</sub>Gd<sub>1.89</sub>Pd<sub>1.94</sub> и Lu<sub>4.85</sub>Pd<sub>2</sub>.

На рисунке 1 представлена температурная зависимость измеренной теплоемкости и вкладов в неё: решеточного, электронного и магнитного для редкоземельного интерметаллида Lu<sub>3.08</sub>Gd<sub>1.89</sub>Pd<sub>1.94</sub>. Электронный и решёточный вклады были найдены аппроксимацией измеренной теплоёмкости Lu<sub>3.08</sub>Gd<sub>1.89</sub>Pd<sub>1.94</sub>, используя данные электронного вклада изоструктурного образца Lu<sub>4.85</sub>Pd<sub>2</sub>.и температуру Дебая, рассчитанную для соединения Lu<sub>3.08</sub>Gd<sub>1.89</sub>Pd<sub>1.94</sub>. Магнитный вклад был

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
получен путём вычитания немагнитной части теплоёмкости соеди-  
нения  $\text{Lu}_{3.08}\text{Gd}_{1.89}\text{Pd}_{1.94}$  из измеренной. Было установлено, что  
для данного образца отсутствует  $\lambda$ -аномалия, характерная для маг-  
нитных фазовых переходов 2-го рода, что согласуется с данными о  
существовании низкотемпературного магнитного состояния сте-  
ркольного типа в редкоземельных интерметаллидах типа R5Pd2 [2].

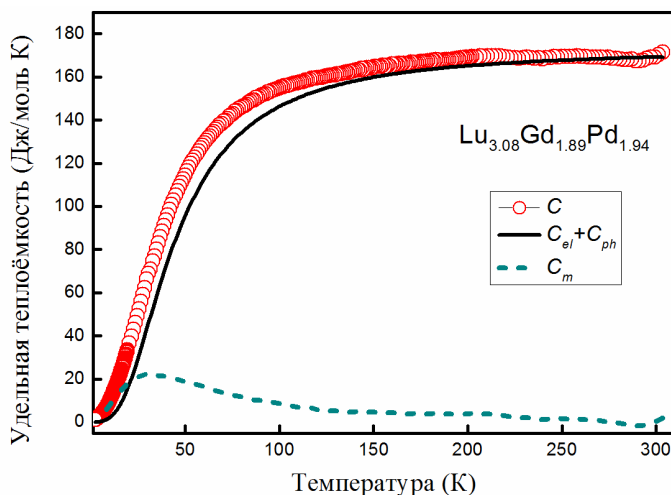


Рис. 1. Температурная зависимость теплоёмкости  $\text{Lu}_{3.08}\text{Gd}_{1.89}\text{Pd}_{1.94}$ , где  $C$  – измеренная теплоёмкость образца,  $C_{el}$ ,  $C_{ph}$  – электронный и решёточный вклады в теплоёмкость,  $C_m$  – магнитный вклад в теплоёмкость.

Нами была рассчитана магнитная энтропия для образца  $\text{Lu}_{3.08}\text{Gd}_{1.89}\text{Pd}_{1.94}$ . Было установлено, что магнитная энтропия, рассчитанная из экспериментальных данных, превышает теоретический максимум для соединения  $\text{Lu}_{3.08}\text{Gd}_{1.89}\text{Pd}_{1.94}$ . Такое аномальное поведение магнитной энтропии может быть связано с наличием небольшого магнитного момента на атомах палладия, вследствие индуцирования спиновых флуктуаций в 4d зоне палладия. Индуцирование небольшого магнитного момента на атомах 3d(4d) переходных металлов наблюдалось ранее для ряда бинарных редкоземельных интерметаллидов типа фазы Лавеса  $\text{GdNi}_2$  [3] и  $\text{Gd}_3\text{Rh}$  [4].

**Литература:**

1. T.Samanta, I. Das, S. Banerjee//J. Appl. Phys. Lett. – 2007. - V. 91, P. 082511
2. A.F. Gubkin, E. A. Sherstobitova, P. B. Terentyev, A. Hoser, N. V. Baranov// J. Phys.: Condens. Matter. - 2013. - V. 25.- P. 236003.
3. N. V. Baranov, A. V. Proshkin, E. G. Gerasimov, A. Podlesnyak, J. Mesot// Physical review. – 2007. - V. 75, P. 092402
4. N.V. Baranov, K. Inoue, H. Michor, G. Hilscher, A. A. Yermakov // J. Phys.: Condens. Matter. – 2003. –V.15. - P. 1–8.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ПОСЛЕ  
ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

***Вишератин Р.К.<sup>1</sup>, Антошина И.А.<sup>1</sup>, Степанов В.А.<sup>1</sup>,  
Хаймович П.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Обнинск*

<sup>2</sup> *Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков*

*конт. тел. 79108636343, e-mail visher@mail.ru*

Методами дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгенодифракционного анализа, атомно-силовой и электронной микроскопии исследована кинетика кристаллизации аморфных сплавов на основе кобальта после интенсивной пластической деформации. Интенсивная пластическая деформация создавалась ионным облучением (двуосное растяжение) и методом барокриодеформирования (всестороннее сжатие) [1, 2].

Аморфные сплавы были получены методом спиннингования и представляли собой ленту шириной 13 мм и толщиной 30 мкм. Все исходные образцы находились в рентгеноаморфном состоянии.

Облучение ионами  $Ag^+$  с энергией 30 кэВ и плотностью тока 50 мкА/см<sup>2</sup> до дозы  $1.5 \cdot 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> при температуре 200°C приводит к наноструктурированию металлических стекол. Наноструктура состоит из кластеров размером 20-40 нм, которые объединяются в зерна размером 100-150 нм. Радиационно-индуцированная наноструктура является структурой интенсивной пластической деформации, которая распространяется на глубину в десятки микрон (30 мкм), значительно превышающую проективный пробег ионов [3]. Образование наноструктур сопровождается выделением в объеме стекла частиц метастабильных боридов  $Co_3B$ .

На кривой ДСК наблюдается двухступенчатый процесс структурной релаксации металлических стекол. Теплота кристаллизации облученного металлического стекла увеличивается на 30% по сравнению с теплотой кристаллизации исходного необлученного стекла.

Теплота кристаллизации образца подвергнутого барокриодеформированию (всестороннее сжатие 2,5 МПа при температуре

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы 77°К) уменьшается на 35% по сравнению с теплотой кристаллизации исходного стекла.

На рентгенограммах исходного и деформированного образцов после кратковременного отжига до 600°С на фоне аморфного гало появляются линии кристаллических фаз, что говорит о частичной кристаллизации образцов. Рентгеновские максимумы соответствуют кристаллическим фазам твердого раствора кобальта и боридов кобальта CoB, Co<sub>2</sub>B. На рентгенограмме деформированного образца интенсивность линий кристаллической фазы меньше.

На кинетику кристаллизации аморфного сплава влияют внутренние напряжения. После интенсивного всестороннего сжатия возникают положительные остаточные внутренние напряжения, вследствие чего скорость кристаллизации падает. После ионного облучения (деформации растяжения) остаточные внутренние напряжения имеют отрицательное значение, и скорость кристаллизации увеличивается.

Показано, что скорость кристаллизации металлических стекол увеличивается на 30% после интенсивной пластической деформации индуцированной ионным облучением и уменьшается на 35% после интенсивной пластической деформации методом барокриодеформирования.

#### Литература

1. P.A. Khaimovich. Handbook of Mechanical Nanostructuring. Wiley-VCH ed M. Aliofkhazraei. Chapter 18. P.435-448 (2015).

2. Д.В. Гундеров. Некоторые закономерности аморфизации и нанокристаллизации при интенсивной пластической деформации кристаллических аморфных сплавов. Электронный научный журнал «Исследовано в России». С.1404-1412 (2006).

3. В.А. Степанов, В.С. Хмелевская. Радиационно-индуцированная пластическая деформация и «эффект дальнего действия». Журнал технической физики. Т.81. №9. С.52-56 (2011).

4. К. Судзуки, Х. Фудзимора, К. Хасимото. Аморфные металлы. Под ред. Я. Масумото: Пер. с япон. (М.: Металлургия. 1987).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА И ДИНАМИКА ВИХРЕЙ В  
СИСТЕМЕ 11**

**Власенко В.А.<sup>1</sup>, Садаков А.В.<sup>1</sup>, Гаврилкин С.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФИАН, г. Москва*  
*e-mail: [vlasenkovlad@gmail.com](mailto:vlasenkovlad@gmail.com)*

Вихревая динамика, характер и тип пиннинга интенсивно изучалась в купратных сверхпроводниках как экспериментально, так и теоретически [1]. Совсем недавно различные группы начали исследовать поведение и динамику магнитных вихрей в недавно обнаруженных сверхпроводниках на основе железа[2]. Железосодержащие сверхпроводники вследствие их слоистой структуры, обладают малой длинной когерентности, сильными тепловыми флуктуациями, поэтому представляют собой интересные объекты для исследования вихревой структуры.

Обобщенная фазовая диаграмма для соединения  $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$  с  $x=0.09$  показана на рис.1, где обозначены области существования фазы вихревого стекла, второго пика намагничивания(SMP), пик эффекта (PE) и верхнего критического магнитного поля ( $H_{c2}$ ) на основании магнитных и транспортных измерений в полях до 19Тл. Экспериментальные данные хорошо интерполируются эмпирической функцией вида:

$$H(T) = H(0) \times \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n. (1)$$

Показатель n для линии вихревого стекла равен  $n=1.33$  для  $\text{FeSe}$ ,  $n = 1.37$  для  $\text{FeSe}_{0.96}\text{S}_{0.04}$  и  $n = 1.12$  для  $\text{FeSe}_{0.91}\text{S}_{0.09}$ . Линия на фазовой диаграмме для верхнего критического поля дает нам значения  $n = 1.19, 1.12, 1.4$  соответственно.

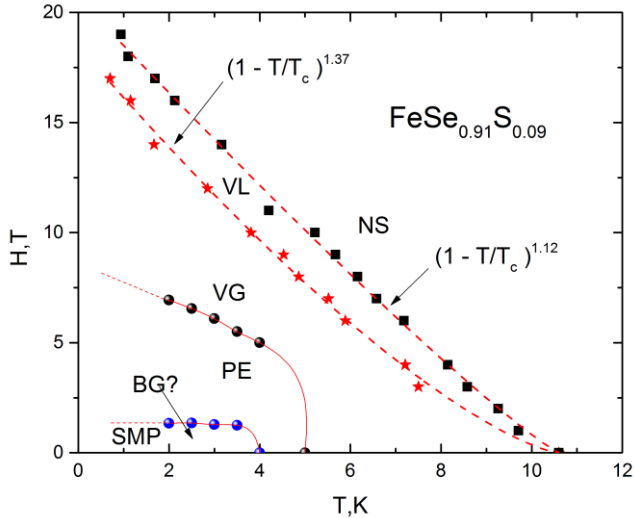


Рис.1. Обобщенная фазовая диаграмма соединения системы 11.

Полученные значения находятся в соответствии с предыдущими исследованиями[3]. Причем, не зависимо от степени легирования серой. Область вихревой жидкости довольно узкая, показатель  $n$  находится в пределах  $n = 4/3 - 3/2$ , полученные значения характерны и для купратных сверхпроводников, однако область вихревого состояния там значительно больше. Области существования пика эффекта и второго пика намагничивания объясняются взаимодействием различных центров и механизмов пиннинга в данных соединениях.

#### Литература

1. Terukazu Nishizaki et al. Phys. Rev. B 61(5),3649-3654
2. N. Haberkorn et al, PHYSICAL REVIEW B 84, 064533 (2011).
3. Mahmoud Abdel-Ha\_ез et al, Phys. Rev. B 91, 165109 (2015).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**РАЗРАБОТКА РАДИОФОТОННОГО ТРАКТА С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ЭРБИЕВОГО ВОЛОКОННОГО  
УСИЛИТЕЛЯ**

**Волков И.В.<sup>1</sup>, Григорьев В.В.<sup>1</sup>, Хатырев Н.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП ВНИИОФИ, Москва

Phone: +79858253870, e-mail: i.volkov@vniiofi.ru

В последние годы получили большое развитие технологии связанные с передачей аналоговых СВЧ сигналов по волоконно-оптическим линиям передачи (ВОЛП).

Здесь же относятся кабельное телевидение, активные фазированные решётки и др.[1]. В данной работе исследовались характеристики аналогового радиофотонного тракта АРФТ- одного из элементов ВОЛП. Их перспективно использовать в радарных установках и в приёмных трактах радиотелескопов, системах измерений параметров антенн и в других приложениях – всюду где требуется осуществлять передачу СВЧ сигнала в широкой полосе до 10 ГГц на большие расстояния без значительных потерь мощности и без искажений формы сигнала в соответствии с технологией Radio-over-Fiber[1,2]. В наших экспериментах в качестве передатчика сигнала СВЧ использовался широкополосный модулятор в сочетании с одномодовым лазером с  $\lambda=1550$  нм и мощностью излучения до 50 мВт совместно с контроллерами лазерного диода LDC 205C и температуры TED 202C(оба Thorlabs). В качестве фотоприёмников в данной работе мы использовали различные типы фотодетекторов. Хорошую чувствительность продемонстрировал п/п фотопреобразователь ФПУ-ИК-15-В (ВНИИОФИ) на основе п/п (InGaAs) с полосой пропускания >1 ГГц. Для модулирования оптической мощности был применён аналоговый электрооптический модулятор (ЭОМ) LN58S-FC(Thorlabs) с полосой пропускания 20 ГГц на основе схемы интерферометра Маха-Цандера выполненной на кристалле ниобата лития. Постоянное напряжение, задающее рабочую точку ЭОМ и входной сигнал для АРФТ- переменный электрический ВЧ сигнал (напряжение) подавались на ЭОМ через ВЧ-смеситель (Anritsu). Величина напряжения рабочей точки ЭОМ составила 1,52 В. При длительном временном исполь-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

звании было выявлено уменьшение коэффициента передачи АРФТ и значительный дрейф рабочей точки ЭОМ, а также её зависимость от температуры. Многие ЭОМ имеют небольшую входную оптическую мощность. Поэтому в данной работе исследовался аналоговый радио-фотонный тракт АРФТ, включающий в себя коммерчески доступный оптический эрбиевый волоконный усилитель EDFA (ОЭУ) EAU-60-C2-220/60 (IPG). Изучалось влияние ОЭУ на АЧХ АРФТ. Длина одномодового волокна SMF между ОЭУ и фотодиодом составила 5 метров. Схему такого АРФТ можно посмотреть в работе[3]. Были определены минимально-возможная мощность входного СВЧ-сигнала и соответствующий ей минимальный размах функции передачи на выходе фотодетектора. Минимальная мощность составила на ВЧ входе смесителя +2дБм. Рабочая +4дБм. Амплитудно-частотная характеристика АЧХ (рис.1) была измерена с помощью векторного анализатора цепей ZVB 8 (Rohde&Schwarz) и из неё определён коэффициент передачи. При уровне выходной мощности лазера 1мВт коэффициент передачи АРФТ на частоте 111 МГц (это частота радионаблюдений на РТ БСА в Пущино) составил -27 дБ. Уровень нелинейности АЧХ в диапазоне от 0 до 100 МГц составил не более 2,5 дБ. Данные полученные результаты по коэффициенту передачи в децибелах приблизительно вдвое меньше, чем требуется для применения в протяжённых аналоговых радиофотонных системах. Сейчас наша цель - получение АРФТ с положительным коэффициентом передачи, улучшенным отношением сигнала к шуму, и с увеличенным динамическим диапазоном. Для этого мы предполагаем использовать систему термостатирования лазера, фотодиоды с более высоким (до 10 В) допустимым напряжением смещения - а также использовать многокаскадные ОЭУ с увеличенной выходной мощностью для улучшения АЧХ и повышения коэффициента усиления линии передачи АРФТ. Результаты данной работы могут быть использованы при получении АЧХ фотодиодов, проектировании ВОЛП с АРФТ для радиоастрономических и радарных приложений.



Рис.1. Измеренная АЧХ радиофотонного тракта.

## Литература

1. Белоусов А.А. и др. “О применении методов и средств радиофотоники для обработки сигналов дециметрового сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн”, Прикладная фотоника, номер 1,(2014).
2. Иванов С.И. Лавров А.П. Саенко И.И. “ Характеристики сверхширокополосных радиофотонных линий передачи СВЧ сигналов”, Электроника и микроэлектроника СВЧ, том 2, номер 1, с. 294-298,(2015).
3. Малышев С.А, Чиж А.Л, Микитчук К.Б. “Волоконно-оптические лазерные и фотодиодные модули СВЧ – диапазона и системы на их основе”, Материалы V всероссийской научно-технической конференции “Электроника и микроэлектроника СВЧ”С-Пб, ЛЭТИ, с.10-18, (2016).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ПРЕЦИЗИОННАЯ РЕЗКА ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЕНКИ  
(Kapton) С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ  
ИМПУЛЬСОВ, ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ ГИБКОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ.**

***Ганин Д.В., Лапшин К.Э., Вартапетов С.К.***

*Центр физического приборостроения ИОФ РАН, Троицк  
конт. тел.: +79856955507, e-mail ganin@optosystems.ru*

Развитие гибкой электроники является одним из главных приоритетов современной полупроводниковой индустрии. Возможности создания транзисторов из аморфных оксидов на основе прочных полимерных материалов открывают широкие возможности по применению гибкой электроники. В частности, RFID меток, гибких дисплеев и интегральных схем. Наиболее перспективной технологией создания гибких полупроводниковых чипов является способ, при котором на поверхности полиимидной пленки с подложкой из оптического стекла (motherglass) формируются тонкопленочные IGZO (indium–gallium–zinc oxide) транзисторы [1].

Одной из технологических задач при разработке устройств на основе гибкой электроники является резка полиимидной пленки-носителя на отдельные чипы после их формирования (рис. 2). Важной особенностью является требование отсутствия повреждений стеклянной основы, так как она используется повторно.

Использование традиционных методов невозможно из-за ряда технических проблем и недостатков. Так механическая резка может приводить к созданию заусенцев, повреждению стеклянной основы, невозможности вырезания сложных фигур.

В работе представлены результаты экспериментов по резке полиимидной пленки на подложке из оптического стекла, с помощью фемтосекундных лазеров. Определены два режима лазерной резки данной пленки без повреждения стеклянной основы. Первый – фотохимический (лазерный пиролиз), при использовании высокочастотного фемтосекундного лазера с энергией лазерных импульсов менее 150 нДж. В данном случае в области воздействия лазерного излучения происходит графитизация пленки, удельная проводи-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
мость слоя полученного графита составляет  $10^4$  См/м. Второй – абляционный, при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов с энергией более 1 мкДж. Успешно продемонстрирована резка полупроводниковых чипов, сформированных по технологии IGZO на поверхности полиимидной пленки.

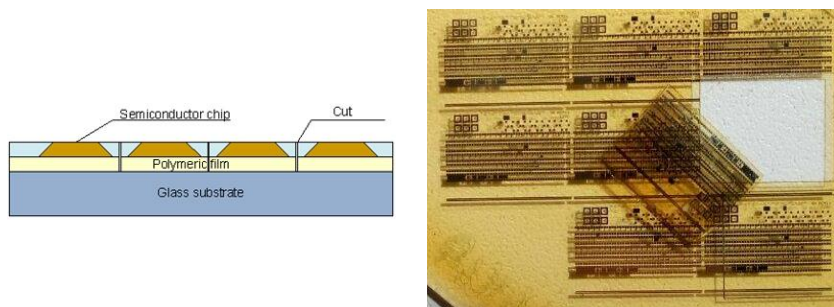


Рис. 2. Схема ламинированных слоев на стеклянной основе и фотография вырезанного и отделённого от подложки чипа.

Работа поддержана грантом «УМНИК» фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере 10624ГУ/2016.

#### Литература

1. M. Nag, et al Single-source dual-layer amorphous IGZO thin-film transistors for display and circuit applications. *Journal of the Society for Information Display*, 21(3), 129-136, (2013).

2. D. V. Ganin, et al. Specific features of direct formation of graphite-like microstructures in polycarbonate samples by single femtosecond laser pulses. *Quantum Electronics*, 45(11), 1029. (2015).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С  
ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

***Гасилин С.Г., Рзаев Р.А.***

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г.  
Астрахань.*

*Тел.: 89272845268, e-mail: [Sergei\\_22\\_96@mail.ru](mailto:Sergei_22_96@mail.ru)*

С момента запатентования способ сварки трением с перемешиванием (СТП) стал широко использоваться в разных областях промышленности для соединения сплавов, плохо свариваемых традиционными способами (алюминиевые сплавы, содержащие цинк, медь, литейные сплавы магния); металлов и сплавов, не образующих эвтектик и твердых растворов, а также вследствие его преимуществ в сравнении с другими способами соединения деталей путем сварки [1, 2].

Целью данного проекта является разработка математической модели температурных полей при сварке трением с перемешиванием.

Сварка трением с перемешиванием производится вращающимся инструментом в форме стержня, состоящий из двух основных частей, а именно: заплечика или бурта (утолщенная часть) и наконечника (выступающая часть). Размеры этих конструктивных элементов выбирают в зависимости от толщины и материала свариваемых деталей. Длину наконечника устанавливают приблизительно равной толщине детали, подлежащей сварке.

Вращающийся с высокой скоростью инструмент в месте соединения под давлением внедряется в свариваемый материал так, чтобы наконечник внедрился в заготовки на глубину, примерно равную их толщине, а заплечик коснулся их поверхности.

После этого инструмент перемещается по линии шва со скоростью сварки. В результате работы сил трения происходит нагрев металла - он становится пластичным и равномерно деформируется. Происходит его перемешивание вращающимся инструментом, образуя прочное соединение между двумя деталями. Объем, в кото-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы ром формируется шов, ограничивается сверху заплечиком инструмента.

Преимуществами данного способа сварки перед сваркой плавлением являются:

– температура соединяемых металлов не достигает температуры плавления;

– упрощение процесса получения соединения.

Преимуществами перед болтовыми соединениями являются:

– более плотное прилегание соединяемых деталей;

– отсутствие сквозных отверстий, приводящих к уменьшению сечения соединяемых деталей.

Эта математическая модель позволяет оперативно решить ряд технологических задач. В частности, при заданных мощности тепловыделения, размерах и теплофизических характеристиках деталей или образцов можно оценить скорость СТП. Возможно сравнение технологических параметров СТП для различных материалов.

Литература

1. Штрикман М.М. Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (Обзор) // Свароч. пр-во. – 2007. – № 10. – С. 25–32.

2. Восстановление плит медных кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом наплавки трением с перемешиванием / В.И. Зеленин, М.А. Полещук, Е.В. Зеленин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2010. – Вып. 13. – С. 476–479.

3. Котлышев, Р. Р. Сварка трением с перемешиванием: монография / Р. Р. Котлышев. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2012. – 135 с

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СПЕКТРЫ ФОТОННОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ  
СТРУКТУРЫ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
НАНОЧАСТИЦ**

***И.А. Глухов<sup>а</sup>, С.Г. Мусеев<sup>а,б</sup>***

*<sup>а</sup>Ульяновский государственный университет, ул. Л.Толстого 42, г.  
Ульяновск, 432017, Россия*

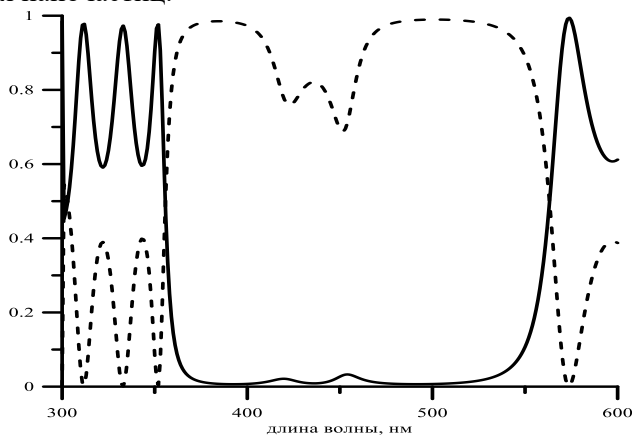
*<sup>б</sup>Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН, ул. Гончарова 48/2, г. Ульяновск, 432011, Россия  
+79656972454, glukhov91@yandex.ru*

Вследствие периодической модуляции показателя преломления спектр одномерных фотонно-кристаллических структур (ФКС) обладает запрещенной зоной, в которой падающее излучение практически полностью отражается. Это свойство важно для практического применения, поскольку позволяет управлять оптическим излучением в системах передачи информации и в лазерной технике. Путем варьирования геометрических и физических параметров можно управлять спектральными характеристиками ФКС. В качестве материала микрополости ФКС представляется перспективным использование нанокompозитных сред, у которых в области плазмонного резонанса наблюдается сильная дисперсия оптических свойств [1,2].

В настоящей работе рассматривается случай резонансной структуры, представленной монослоем металлических наночастиц, плазмонная частота которых совпадает с частотой дефектной моды ФКС. Передаточная матрица рассматриваемой структуры имеет следующий вид:  $N = I_{0,1}F_1 \cdots I_{d-1,d}F_{d1}F_sF_{d2}I_{d,d+1} \cdots F_{N-1}I_{N-1,N} = M^aDM^b$ , где  $F_s$  – передаточная матрица монослоя наночастиц,  $F_{d1}$  и  $F_{d2}$  – передаточные матрицы слоев, обрамляющих монослой,  $M^a$  и  $M^b$  – передаточные матрицы диэлектрических зеркал из  $a = b = 5$  бинарных слоев. Бинарные слои выполнены из материалов с вещественными проницаемостями  $\epsilon_1 = 6.25$  и  $\epsilon_2 = 2.25$ . В центре ФКС размещен слой толщиной, равной брэгговской длине волны. Наличие в ФКС дефектного слоя приводит к появлению в фотонной запрещенной зоне узкой области пропускания.



Местоположение монослоя наночастиц в области дефекта задано смещением от центра ФКС на величину  $\Delta$ . Из представленных на рис. 1 зависимостей видно, что в случае  $\Delta = 71$  нм, то есть при смещении монослоя в локальный максимум поля, пропускание в области дефектной моды практически полностью подавлено. В случае же расположения наночастиц в области слабого поля ( $\Delta = 0$ ) спектры пропускания и отражения практически аналогичны ФКС без наночастиц. Таким образом, показана возможность управления амплитудой дефектной моды за счет изменения местоположения монослоя наночастиц.



**Рис. 1.** Спектры пропускания (штриховая линия) и отражения (сплошная линия) ФКС  $\bar{M}^5DM^5$  при смещении монослоя от центра структуры (а)  $\Delta = 71$  нм, (б)  $\Delta = 0$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проекты №№ 3.8388.2017/ИТР, 3.5698.2017/П220) и РФФИ (проект № 17-02-01382).

#### Литература

1. С.Г. Моисеев, В.А. Остаточников. Дефектные моды одномерной фотонно-кристаллической структуры с резонансным нанокompозитным слоем. Квантовая электроника. Т. 46. № 8. С. 743–748. (2016).
2. С.Я. Ветров, А.Ю. Авдеева, И.В. Тимофеев. Особенности спектральных свойств одномерного фотонного кристалла с резонансным дефектным слоем нанокompозита. ЖЭТФ. Т. 140. № 5. С.871–878. (2011).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ПЕТРОГРАФИЯ МЕТАЛЛ-СУЛЬФИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В  
ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТАХ**

***Гонцова С.С.<sup>1</sup>, Максимова Е.М.<sup>1</sup>, Яковлев Г.А.<sup>2</sup>, Петрова Е.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь

<sup>2</sup> УрФУ им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Конт. тел. +79787146713, e-mail: sgoncova@gmail.com

Единственным источником информации о ранних процессах в газопылевой туманности и дальнейшей эволюции Солнечной системы являются хондриты. По химическому и минеральному составу хондриты делятся на три группы: обыкновенные, углистые и энстатитовые [1].

Целью данной работы является изучение микроструктуры металлических включений в обыкновенных хондритах – Челябинск и Northwest Africa 869 (NWA 869). После распила образцов поверхность аншлифов метеоритов готовилась по стандартной металлографической методике и травилась 2%-ым раствором азотной кислоты в спирте для выявления внутренней микроструктуры. Исследования проводились на оптическом микроскопе ZEISS Axiovert 40 MAT и сканирующем электронном микроскопе FE-SEM ZEISS SIGMA VP с использованием энегродисперсионной приставки.

В микроструктуре метеорита Челябинск можно выделить два типа металлических зерен с разным содержанием Ni: от 3,82 до 6,09 вес.% – камасит (К)  $\alpha$ -(Fe,Ni); до 51,30 вес.% – тэнит (Т)  $\gamma$ -(Fe,Ni). Сульфиды представлены зернами троилита FeS (Tr) в виде отдельных включений и в ассоциации с металлом, рис.1 (а). На границе камасит-троилитового соединения обнаружена металлическая медь.

В метеорите NWA 869 металлические включения имеют комплексную минеральную структуру, представленную камаситом (К)  $\alpha$ -(Fe,Ni) (от 2,83 до 7,92 вес.% Ni); троилитом (Tr) FeS и плесситом (Pl). Последний представляет собой дисперсную смесь, сформированную во время медленного непрерывного охлаждения при диффузионном и бездиффузионном механизмах превращения тэнита в камасит. Также наблюдаются включения самородной меди (Cu), рис.1 (б).

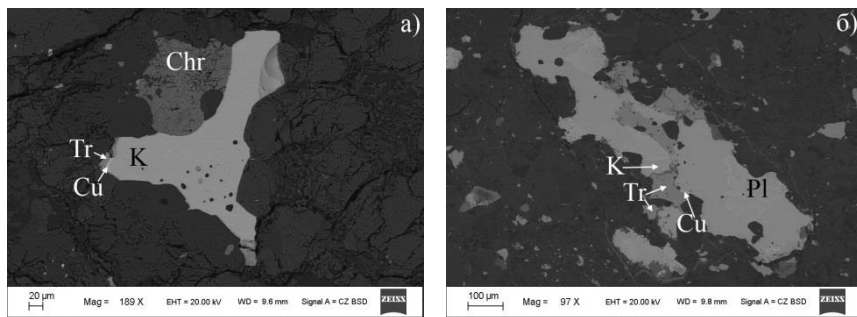


Рис.1. Микрофотографии металлических включений в метеоритах:  
а) Челябинск, б) NWA 869

В метеорите NWA 869 обнаружены металл-троилитовые эвтектики, размерами до 0,5 см. Такого рода структуры могли сформироваться при быстром неравновесном затвердевании расплава Fe-Ni-S [2].

Детальное исследование структуры металлических включений в обыкновенных хондритах, является важным для понимания эволюции вещества в космическом пространстве.

*Настоящая работа выполнена при поддержке Программы развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» на 2015-2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР» в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».*

#### Литература

1. Р.Т. Додд Метеориты: петрология и геохимия (М: Мир. 1986).
2. М. Chen, X. Xie, D. Wang, S. Wang Metal-troilite-magnetite assemblage in shock veins of Sixiangkou meteorite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 66. No. 17. P. 3143–3149 (2002).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**К ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ПОЗИТРОНОВ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРАВАТТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ  
СИСТЕМ**

***Горлова Д.А.<sup>1</sup>, Цымбалов И.Н.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Московский государственный университет имени  
М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия  
E-mail: gorlova.da14@physics.msu.ru  
Телефон: 89162964575*

Развитие фемтосекундных лазерных технологий позволило получить высокоэнергетичные пучки электронов на базе настольных лабораторных систем. Такие разработки в силу своей компактности и невысокой стоимости по сравнению с традиционными ускорителями имеют большое практическое значение для исследований в области нелинейной оптики, ядерной физики, астрофизики.

Лазерный импульс высокой интенсивности, взаимодействуя с мишенью, ионизирует ее, создавая плазму. Электроны, ускоряемые в плазме благодаря возбуждению кильватерных волн, имеют немаксвелловское распределение по энергиям, что позволяет пучки электронов с энергией до нескольких ГэВ [1].

Взаимодействие пучка электронов с высокой энергией с мишенью позволяет генерировать электрон-позитронные пары. Исследования генерации позитронов малых энергий (до 10 МэВ) активно развиваются в последние годы в том числе с использованием фемтосекундных лазеров [2]. Это связано с тем, что такие исследования важны для решения как фундаментальных, так и прикладных проблем. Например, важной прикладной задачей является метод аннигиляционной спектроскопии, позволяющий исследовать на микроскопическом уровне структуру различных материалов, включая металлы, полимеры, композиты и т.д. [3].

В лаборатории релятивистской лазерной плазмы Физического факультета МГУ используется метод получения больших энергий электронов с использованием предимпульса наносекундной длительности. Благодаря этому возможно получение пучков электронов с энергией до 10 МэВ. На основе анализа различных

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы экспериментальных схем, а также моделирования была разработана оптимальная схема эксперимента по генерации низкоэнергетичных позитронов с использованием тераваттного фемтосекундного лазерного комплекса МЛЦ МГУ. Одним из ее основных элементов является разработанный нами магнитный спектрометр, способный регистрировать как электронную, так и позитронную компоненты [4].

Также были измерены спектры гамма-излучения лазерной плазмы. На основе полученных экспериментальных спектров с помощью пакета GEANT были сделаны численные оценки ожидаемого выхода позитронов, которые составляют от  $10^4$  до  $10^6$   $e^+$ /с в зависимости от режима взаимодействия лазерного импульса с мишенью [5]. Это позволяет говорить о возможности успешного проведения эксперимента.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 16-12-10039, методики измерения спектров гамма-излучения разработаны при поддержке РФФИ (грант № 16-02-00263).

#### Литература

1. D. Umstadter. Relativistic laser-plasma interactions. J. Phys. D, 36, 151-165 (2003);
2. D. Habs, M. M. Günther, M. Jentschel, and P. G. Thirolf. AIP Conference Proceedings 1462, 177 (2012)
3. Графутин В.И., Прокопьев Е.П., УФН 172, 1 (2002).
4. Русаков А.В., Иванов К.А., Борисов Н.А., Цымбалов И.Н., Горлова Д.А., Лапик А.М., Ларькин А.С., Лисин В.П., Мордвинцев И.М., Мушкаренков А.Н., Недорезов В.Г., Полонский А.Л., Савельев-Трофимов А.Б., Туринге А.А. ПТЭ (2017) в печати.
5. Д.А.Горлова, В.Г.Недорезов, К.А.Иванов, А.Б.Савельев, А.А.Туринге, И.Н.Цымбалов. К возможности генерации позитронов низких энергий на электронных ускорителях с энергией пучка несколько МэВ и тераваттных лазерах. КЭ (2017) в печати.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ  
ПОЛИМОРФНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ АЛМАЗА**

**Грешняков В.А.<sup>1</sup>, Беленков Е.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Челябинский государственный университет, Челябинск  
+7(351)7997117, greshnyakov@csu.ru

Возможно существование различных структурных разновидностей алмаза, из которых помимо кубического наибольший интерес привлекает гексагональный политип 2H, так называемый лонсдейлит. Это обусловлено тем, что согласно теоретическим результатам из работы [1] прочность лонсдейлита превосходит прочность кубического алмаза в два раза. Закономерности формирования лонсдейлита являются недостаточно изученными, поэтому в данной работе выполнено моделирование фазового превращения графита в лонсдейлит.

Модельное исследование устойчивости и возможных путей получения лонсдейлита и других полиморфных разновидностей алмаза было выполнено по методике из работ [2]. Расчеты кристаллических структур и энергетических характеристик углеродных соединений были выполнены методом теории функционала плотности.

Расчетные зависимости разностной полной энергии от атомарного объема, характеризующие прямые и обратные фазовые переходы между полиморфными разновидностями углерода, приведены на рис. 1. Структурное преобразование графита  $Smmt$  в лонсдейлит происходит в результате преодоления энергетического барьера в 0.241 эВ/атом (рис. 1) при атомарном объеме  $6.332 \text{ \AA}^3/\text{атом}$ , когда давление достигает 61.0 ГПа. Если в качестве предшественника использовать графит  $P6/mmt$ , то величина потенциального барьера немного увеличивается до 0.275 эВ/атом (рис. 1), тогда как давление фазового перехода понижается до 56.3 ГПа. Таким образом, установлено, что лонсдейлит должен быть устойчив до температур  $\sim 1200 \text{ }^\circ\text{C}$  и может быть получен из графита в результате сжатия при давлениях 56–61 ГПа, близких к давлениям, необходимым для формирования кубического алмаза. Лонсдейлит может быть получен из структурных разновидностей графита при меньших давле-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 ниях, чем необходимы для формирования других наиболее устойчи-  
 чивых алмазоподобных фаз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в  
 рамках научного проекта № 16-33-00030 мол\_а и Фонда перспек-  
 тивных научных исследований ЧелГУ.

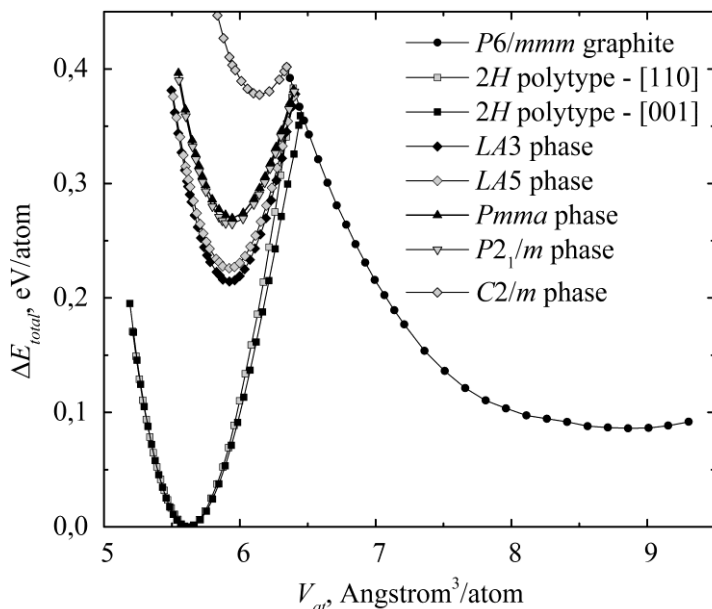


Рис.1 График зависимости разностной полной энергии ( $\Delta E_{total}$ ) от  
 атомного объема ( $V_{at}$ ) для полиморфов алмаза.

#### Литература

1. Z. Pan, H. Sun, Yi Zhang, C. Chen. «Harder than diamond: superior indentation strength of wurtzite BN and lonsdaleite». Physical Review Letters. Vol.102 (5). P.055503 (2009).

2. В.А. Грешняков, Е.А. Беленков. «Исследование формирования лонсдейлита из графита». Журнал экспериментальной и теоретической физики. Т. 151. №2. С.310-321 (2017).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КВАНТОВЫХ ЯМ, ИЗЛУЧАЮЩИХ В СПЕКТРАЛЬНОМ  
ДИАПАЗОНЕ 750-850 НМ.**

**Григорьев А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ  
(Московский Инженерно-Физический Институт), Москва, Россия  
8-963-964-37-35, [grigoriev.andrei2013@yandex.ru](mailto:grigoriev.andrei2013@yandex.ru)*

Благодаря высокому КПД преобразования электрической энергии в оптическую, компактности, надёжности и высокому уровню развития технологии изготовления, мощные лазерные диоды, линейки и сборки лазеров нашли широкое применение в системах накачки твёрдотельных и волоконных лазеров, а так же оптических усилителей, полиграфии, системах оптической локации, медицине, робототехнике и других [1-3].

На сегодняшний день актуальной задачей является разработка полупроводниковых лазеров в диапазоне длин волн 750-850 нм. Излучение лазерного диода в этом диапазоне востребовано во многих областях, например в лазерной медицине при применении метода фотодинамической терапии или при накачке твердотельных лазеров. Соответственно для повышения эффективности применения лазерного излучения в этих областях ведутся активные исследования в области совершенствования конструкции гетероструктур с целью достижения максимальной выходной оптической мощности и качества пучка. Одним из направлений совершенствования конструкции лазерного диода является оптимизация состава активной зоны.

Самой распространенной структурой при изготовлении лазерного диода является структура на основе Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As/GaAs. Благодаря хорошему согласованию кристаллической решетки, значительно снижается вероятность появления дефектов несоответствия во время роста гетероструктуры. Однако из-за активного взаимодействия алюминия с кислородом в активном слое образуются точечные дефекты, образующие центры безызлучательной рекомбинации, приводящие к повышенной нагрузке на зеркала и снижению оптического выхода при работе в течение длительного периода времени



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы или так называемой оптической деградации.[4] В этом случае имеет смысл рассмотреть альтернативный вариант конструкции квантовых ям, а именно применение систем, не содержащих алюминий или так называемых «Al-free» материалов. Например GaAsP/GaInP или GaInAsP/GaAs. Процессы деградации в Al-free материалах проявляются гораздо слабее, значит, лучевая стойкость первых должна быть выше, чем вторых. Кроме этого возможны промежуточные варианты конструкции активной зоны, когда в волноводных слоях присутствует алюминий, а в самой квантовой яме уже нет.

Целью данной работы является изучение и сравнение излучательных характеристик квантовых ям всех перечисленных выше типов и выбор наиболее оптимального состава. Исследование всех особенностей излучения лазерного диода в зависимости от состава активной зоны позволит гораздо лучше осуществить подбор конструкции лазерного диода для выполнения конкретной задачи.

#### Литература

1. Welch, D.F. A Brief History of High-Power Semiconductor Lasers [Text] / D.F. Welch // IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. - 2000. - V. 6. - P. 1470-1477.
2. Erbert, G. High-Power Broad-Area Diode Lasers and Laser Bars, In: Ed. R. Diehl. High-Power Diode Lasers [Text] / G. Erbert, A. Barwolff, J. Sebastian, J. Tomm // Topics Appl. Phys. - 2000. - V. 78. - P. 173-223.
3. Тарасов, И.С. Мощные полупроводниковые лазеры на основе гетероструктур раздельного ограничения [Текст] / И.С. Тарасов // Квантовая электроника. - 2010. -Т. 40. - С. 661-681.
4. Waters, R.G. Diode laser degradation mechanisms: a review [Text] / R.G. Waters // Prog. Quant. Electron. - 1991. - 15, 153-174.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДВУХСЛОЙНОЙ  
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С  
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ**

**Губарев Владимир Михайлович**

*Московский физико-технический институт, г.Долгопрудный  
+7-916-835-42-86, [gubarev@phystech.edu](mailto:gubarev@phystech.edu)*

Проектирование и создание многослойных интерференционных систем с заданными спектральными свойствами имеет широкий практический интерес. Они применяются как поглотители инфракрасного излучения, анти-интерференционные покрытия, разделители излучения, зеркала. Целью данной работы является получение условий реализации нулевого отражения двухслойной системы с металлической прослойкой.

Расчет отражательной способности системы, указанной на рисунке 1, проводится в приближении многолучевой интерференции. Металлическая подложка полагается 100% отражателем. Границы слоёв считаются идеально гладкими. Показатель преломления верхнего слоя –  $n_1$ , нижнего –  $n_2$ . Их толщины соответственно равны  $d_1$  и  $d_2$ . Слои разделены тонкой металлической пленкой. Как показано в статье [1], оптические свойства металлической пленки определяются её толщиной  $d$  и электрической проводимостью  $\sigma$ . В этих условиях значение энергетического коэффициента отражения принимает вид  $R = |r_{03}|^2 = \left| \frac{r_{01} + r_{13}\Phi_1^2}{1 - r_{13}r_{10}\Phi_1^2} \right|^2$  (\*), где  $r_{01}, r_{02}$  – Френелевские коэффициенты отражения. Расчет входящего в формулу  $r_{13} = r_{12} + \frac{t_{12}t_{21}r_{23}\Phi_2^2}{1 - r_{21}r_{23}\Phi_2^2}$ , где  $y = \frac{4\pi\sigma d}{c}$  – параметр пленки,  $r_{ij} = \frac{n_i - n_j - y}{n_i + n_j + y}$ ,  $t_{ij} = \frac{2n_i}{n_i + n_j + y}$  – коэффициенты отражения и пропускания, приведен в работе [2]. Таким образом, при нормальном падении излучения  $R = R(n_0, n_1, n_2, d_1, d_2, \lambda)$ .

Численное решение уравнения (\*) показывает возможность достижения нулевого значения коэффициента отражения. В обозна-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 чениях  $\widetilde{d}_1 = \frac{n_1 d_1}{\lambda}$ ,  $\widetilde{d}_2 = \frac{n_2 d_2}{\lambda}$  минимизация  $R(n_0, n_1, n_2, d_1, d_2, \lambda)$   
 дает оптимальные значения параметров системы  $y$ ,  $\widetilde{d}_1$ ,  $\widetilde{d}_2$ .

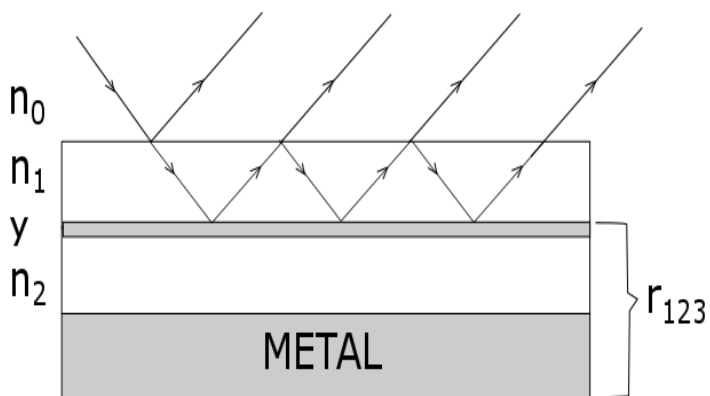


Рисунок 1. Двухслойная система с металлической пленкой на переходе 1 - 2.

### Литература

1. S. W. McKnight, K. P. Stewart, H. D. Drew, and K. Moorjani, *Infrared Phys.* 27, 327 (1987).
2. S. Bauer, *Am. J. Phys.* 60, 257 (1992).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВОДОРОДНЫХ  
СВЯЗЕЙ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА ОЛИГОМЕРОВ  
ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ**

***Данилов И.В.*<sup>1,2</sup>, *Громницкая Е.Л.*<sup>1</sup>, *Ляпин А.Г.*<sup>1,2</sup>,  
*Поликарпова У.А.*<sup>2</sup>, *Бражкин В.В.*<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, МО  
+79851777074 [idanilov@hppi.troitsk.ru](mailto:idanilov@hppi.troitsk.ru)*

Молекулярные глассформеры – это многочисленный класс жидкостей, имеющих обширное применение в химической, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности, однако характер межчастичного взаимодействия в этих веществах изучен недостаточно. Существенную роль в межмолекулярном взаимодействии молекулярных глассформеров играют водородные связи. В исследованных нами веществах (моно-, ди- и трипропиленгликоле) массы и длины молекул отличаются, однако количество гидроксильных ОН групп остается постоянным и равно двум [1,2]. Мы исследовали упругие свойства олигомеров пропиленгликоля под давлением как в жидком, так и в стеклообразном состоянии, а также при фазовом переходе стекло-жидкость. Исследования проводились на ультразвуковом пьезометре типа цилиндр-поршень до давления 1 ГПа в жидкой фазе и до 1.8 ГПа в стеклообразной фазе, а также при переходе стекло-жидкость при изобарических отогревах в интервале температур от 77 до 295 К. Импульсным методом измерялись продольная и поперечная скорости ультразвука на частотах 10 МГц и 5 МГц, соответственно, при этом проводились прямые измерения объема под давлением. По этим данным рассчитывались модули объемной упругости  $B$  и сдвига  $G$ .

Сопоставление результатов экспериментов выявило схожий характер поведения сжимаемости олигомеров как в жидкой, так и в стеклообразной фазе. Однако несмотря на то, что модули сдвига и объемной упругости ди- и трипропиленгликоля были существенно ниже, чем у монопропиленгликоля, их барические производные

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы были выше (Рис. 1), что выполнялось как в жидком, так и в стеклообразном состоянии. При отогреве от 77 К до комнатной температуры обнаружилась монотонная зависимость упругих модулей и температуры стеклования от массы молекул.

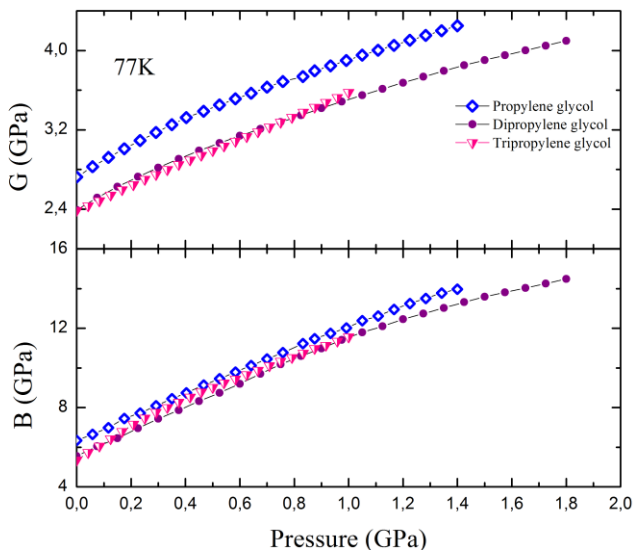


Рис. 1 Барические зависимости модуля сдвига и модуля объемной упругости стеклообразных олигомеров пропиленгликоля ( $T=77$  К)  
Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-32-00340 мол\_a)

#### Литература

1. C. Leo'n, K. L. Ngai, C. M. Roland Relationship between the primary and secondary dielectric relaxation processes in propylene glycol and its oligomers. *Journal of Chemical Physics*. Vol. 110. Issue 23. P. 11585-11591 (1999)
2. R. Casalini, C. M. Roland. Excess wing in the dielectric loss spectra of propylene glycol oligomers at elevated pressure. *Physical Review B*. Vol. 69. P. 094202-094208 (2004)

**Денисов П.А.<sup>1</sup>, Некрасов С.А.<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> ЮРГПУ (НПИ), Новочеркасск, [npi\\_pm@mail.ru](mailto:npi_pm@mail.ru)

Коммутационные перенапряжения представляют практический интерес, так как от их величины может зависеть исправность электрооборудования. Авторами исследованы модели и методы для расчета токов и напряжений при гашении свободной дуги и дуги в дугогасительных камерах с магнитным дутьем. Тепло- и электроперенос в плазме дуги в дугогасительной камере исследовались как при помощи модели Майра, так на основе уравнений ЛТР-приближения:

$$Q_t = \partial_{xx}\Lambda + \partial_{yy}\Lambda + \sigma(T, E)E^2, \quad x > 0, \quad 0 < y < \delta/2, \quad t > 0, \quad (1)$$

$$\partial_x \Lambda = 0, \quad x = 0; \quad \partial_y \Lambda = 0, \quad y = 0; \quad \Lambda(x, \delta/2, t) = \Lambda(T_w), \quad (2)$$

$$\Lambda(x, y, t) \rightarrow \Lambda(T_{air}), \quad x \rightarrow \infty; \quad \Lambda(x, y, 0) = \Lambda(T_0(x, y)), \quad (3)$$

$$i(t) = \iint_S \sigma(T(x, y, t), E(t)) E(t) dx dy, \quad U(t) = E(t)l(t), \quad (4)$$

$t$  - время,  $i(t)$  - ток, а  $U(t)$  - напряжение на дуге,  $E(t)$  - продольная напряженность в плазме дуги,  $l(t)$  - длина дуги,  $\sigma(T, E)$  - электропроводность плазмы,  $T$  - ее температура,  $T_w$  - температура стенок камеры,  $T_{air}$  - температура воздуха,  $T_0(x, y)$  - начальное распределение температуры,  $Q$  - объемная энтальпия плазмы,  $\Lambda$  - тепловой потенциал. Расчетная область имеет форму прямоугольной полуполосы:  $x > 0$ ,  $0 < y < \delta/2$ , где ось  $Ox$  направлена вдоль щелевого канала, а ось  $Oy$  - перпендикулярно его стенкам,  $S$  - поперечное сечение канала. Для решения уравнений применялась неявная конечно-разностная схема и метод релаксации. Записанная система уравнений соответствует т.н. двухтемпературной модели плазмы дуги, учитывающей температуры как тяжелых частиц  $T$ , так и электронов плазмы  $T_e$ . Проведено сопоставление результатов расчетов и данных, полученных в ВЭЛНИИ для дугогасительных камер на контакторах ПК-340 и ПК-96 с магнитным дутьем (см. таблицу).

Таблица

$L^4$ , Гн	$t_d^5$ , мс	Максимальное напряжение, В			
		Экс- пери- мент	Рас- чет <sup>1</sup>	Рас- чет <sup>2</sup>	Рас- чет <sup>3</sup>
0,023	38	4000	3738	3600	3133
0,060	45	4600	4990	4388	3293
0,074	51	4500	5203	4668	3319
0,09	41	5000	5419	4948	3483
0,16	55	6000	6082	5998	3640
0,25	62	7900	6696	7272	3887

<sup>1</sup>Однотемпературная модель. <sup>2</sup>Двухтемпературная модель.

<sup>3</sup>Формула [2]. <sup>4</sup>Индуктивность цепи. <sup>5</sup>Длительность горения дуги

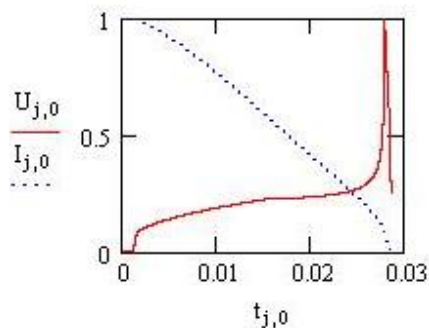


Рис. 1. Нормированные графики тока и напряжения при гашении дуги ( $U_0=50$  В,  $I_0=5$  А,  $L=0,5$  Гн)

### Литература

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
2. Г.Н. Александров и др. Проектирование электрических аппаратов. Л.: Энергоатомиздат. 1985. 448 с.
3. Некрасов С.А. Автоматизация расчетов параметров дуговой эрозии и ресурса контактов / Электромеханика. 1986. №5. С.39-50.
4. Nekrasov S.A. Calculation of the Dynamic Characteristics of an Electric Arc Subjected to Forced Extinction // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. V. 89, Issue 6, pp. 1565–1573.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ  
ГЕТЕРОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ ПОСЛЕ ИХ  
ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

***Дудова Д.С.<sup>1</sup>, Бардакова К.Н.<sup>1</sup>, Холхоев Б.Ч.<sup>2</sup>,  
Бурдуковский В.Ф.<sup>2</sup>, Минаев Н.В.<sup>1</sup>, Тимашев П.С.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> ФГУ Институт Фотонных Технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва, г. Троицк

<sup>2</sup> Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Уде  
+79856955509, dudovadasha@mail.ru

В настоящее время, развитие методов 3Д печати привело к широкой доступности технологий быстрого прототипирования. Одним из наиболее интенсивно развивающихся методов является фотополимеризация [1–3]. Фокусировка лазерного излучения на поверхность или в объем жидкого материала может приводить к его отверждению. Фотополимеризация позволяет быстро создавать модели со сложными структурами и конструкцией, печатая их послойно. Данная технология позволяет создавать прототипы для различных областей промышленности, медицины, архитектурного моделирования и т.д.

Представленная работа направлена на изучение свойств материала на основе гетероцепных термостабильных полимеров после фотоотверждения лазерным излучением.

Лазерная система фотопечати состояла из диодного лазера с длиной волны 405 нм и мощностью излучения до 100 мВт, однозеркального гальваносканера с эффективным полем развертки 40x40 мм, f-theta объектива с фокусным расстоянием 160 мм и z-транслятора, позволяющего производить послойную печать. Полимерная композиция синтезировалась в БИП СО РАН (Улан – Уде).

Представлены результаты по испытаниям образцов на сжатие, исследованиям свойств поверхности полимеризованных образцов. Было установлено, что рост мощности лазерного излучения при изготовлении образцов существенно изменяет их механические характеристики. Во время испытаний на сжатие, все образцы показали значительную упругость и полностью восстанавливали свою начальную форму (5x5x5 мм) после приложенной силы 500 Н.



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
Установлено, что с увеличением мощности лазерного излучения с 20 до 70 мВт наблюдается увеличение значений модуля упругости образцов, максимальное значение которого достигает 0,9 МПа.

#### Литература

1. Boland T. et al. Rapid, prototyping of artificial tissues and medical devices // *Adv. Mater. Process.* 2007. Vol. 165, № 4. P. 51–53.
2. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л. Обзор Современных Технологий 3D Печати // *Современные Научные Технологии (Научный Журнал)*. 2015. P. 26–30.
3. Bogue R. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? // *Assem. Autom.* 2013. Vol. 33, № 4. P. 307–311.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ОКСИДА ЦИНКА ДО И ПОСЛЕ  
МОДИФИКАЦИИ В ПЛАЗМЕ**

*Дуль М.В.*

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,  
Гродно, Беларусь  
+375 33 3107781, marino4ka.takay@mail.ru.*

Целью работы является исследование взаимосвязи структуры и каталитической активности оксида цинка (ZnO) при его модификации в плазме высокочастотного разряда методом спектрофотометрии и КР.

Очистка сточных вод от органических примесей остается важнейшей задачей восстановления водных ресурсов. К настоящему времени разработан ряд методов очистки воды, основанных на явлении обратного осмоса, фильтрации, абсорбции на активированном угле и т.д. Однако перечисленные методы или недостаточно эффективны, или имеют высокую эксплуатационную стоимость.

В связи с этим актуален поиск новых и совершенствование существующих методов удаления органических примесей из водных сред. Перспективным методом очистки воды от органических красителей является фотокатализ с использованием полупроводниковых материалов, одним из которых является ZnO. Для повышения фотокаталитической активности доступного порошка ZnO используется метод модификации свойств катализатора путем его обработки плазмой высокочастотного разряда [1]. Известно, что после обработки в разряде высокочастотной плазмы каталитическая активность ZnO значительно увеличивается.

В работе измерены спектры флуоресценции и спектры КР чистого оксида цинка и обработанного в плазме.

В спектрах флуоресценции как обработанного в плазме, так и необработанного ZnO наблюдается максимум в желто-зеленой области вблизи 545 нм. Он связан с дефектами, обусловленными наличием кислорода в междоузлиях. Максимум 386 нм связан с экситонной рекомбинацией, относится к ближнему краевому излучению вблизи запрещенной зоны и свидетельствует о том, что исследуемый материал имеет структуру вюрцита. Флуоресценция в этом диапазоне вызвана рекомбинацией фотоиндуцированных

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы электронов и дырок через уровни, лежащие в запрещенной зоне и определяемые дефектами [1].

Обработка порошка ZnO в плазме не приводит к смещению положения максимумов, однако соотношение интенсивностей изменяется. Можно предположить, что изменение соотношений интенсивностей в максимумах флуоресценции ZnO связано с двумя процессами: увеличением количества вакансий кислорода и уменьшением дефектов на поверхности микрочастиц ZnO в процессе плазменной обработки.

В спектре необработанного и модифицированного в плазме порошка ZnO присутствуют интенсивные фонные моды  $E_2^{\text{low}}$  ( $110 \text{ см}^{-1}$ ) и  $E_2^{\text{high}}$  ( $447 \text{ см}^{-1}$ ), соответствующие колебаниям атомов цинка в катионной решетке и атомов кислорода в анионной решетке. Наблюдаемая полоса вблизи  $596 \text{ см}^{-1}$ , соответствующая колебанию  $E_1^{\text{LO}}$ , может указывать на присутствие межрешеточных атомов Zn или вакансий кислорода. Широкая интенсивная полоса в диапазоне  $1020\text{-}1223 \text{ см}^{-1}$  образована перекрывающимися полосами вблизи  $1115$  и  $1169 \text{ см}^{-1}$  и может быть отнесена к спектрам рассеяния второго рода. Также на спектре видны полосы, соответствующие моде при частоте  $391 \text{ см}^{-1}$ , которую можно связать с поперечной модой  $A_{1T}$  и мода второго порядка при частоте  $341 \text{ см}^{-1}$ .

Тот факт, что наблюдаемые частоты и соотношения интенсивностей в максимумах КР-полос одинаковы для исходного и модифицированного образца, свидетельствует, по-видимому, об отсутствии каких-либо структурных дефектов в образцах в результате обработки плазмой высокочастотного разряда.

Таким образом, увеличение каталитической активности оксида цинка после обработки в плазме высокочастотного разряда коррелирует с изменениями в спектре флуоресценции и может быть связано с изменениями электронных состояний.

Литература:

Н.А. Савастенко и др. Повышение активности фотокатализаторов на основе ZnO, обработанного в плазме высокочастотного разряда // Журнал прикладной спектроскопии, 2016. Т.83, №5.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В  $\text{CuV}_2\text{O}_4$   
МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ**

**Ерофеев А.С.<sup>1,2</sup>, Молчанова А.Д.<sup>1</sup>, Болдырев К.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт, Долгопрудный  
+7(977)8142858, [Artem94.12@gmail.com](mailto:Artem94.12@gmail.com)*

Мультиферроик  $\text{CuV}_2\text{O}_4$  обладает сложной кристаллической структурой (пространственная группа симметрии  $I42d$ ,  $Z = 12$ ) с двумя различными позициями ( $4b$  и  $8d$  с симметрией  $S_4$  и  $C_2$ ) для магнитного иона  $\text{Cu}^{2+}$  ( $S = 1/2$ ). В обеих позициях медь квадратно координирована. Магнитная подсистема меди  $4b$  имеет температуры упорядочения  $T_N = 21$  К и  $T^* = 8.5$  К, в то время, как подсистема меди в позиции  $8d$  остается неупорядоченной вплоть до самых низких температур. Метаборат меди демонстрирует необычные оптические свойства. Это единственное соединение меди, в спектре которого узкие бесфононные линии (БФЛ) наблюдаются для всех d-d переходов (в обеих позициях меди,  $4b$  и  $8d$ ) [1]. БФЛ сопровождаются богатой вибронной структурой [1], ее удалось частично идентифицировать благодаря исследованию фононного спектра [2].

Для БФЛ  $\text{Cu}(4b)$  обнаружен линейный антиферромагнитный дихроизм в базовой плоскости ( $ab$ ) тетрагонального кристалла  $\text{CuV}_2\text{O}_4$  ниже  $T_N$  [3]. Установлено, что при этом линии имеют дублетную структуру, связанную с магнитным Давыдовским расщеплением. Показано, что дихроизм дважды меняет знак, при  $T_2=8.5\text{K}$  и  $T_3=7.9\text{K}$ , что свидетельствует о расщеплении фазового перехода при  $T^*$  [3]. При наложении внешнего магнитного поля температуры  $T_2$  и  $T_3$  смещаются вниз, разность между ними возрастает. Таким образом была уточнена фазовая диаграмма данного соединения.

Целью настоящей работы являлось исследование  $\text{CuV}_2\text{O}_4$  методом оптической люминесценции. Данный подход ранее не был использован для изучения фазовых переходов метабората меди, что позволяет удостовериться в результатах фазовой диаграммы, полученных методом линейного дихроизма [3], а также наблюдать ряд не менее интересных особенностей кристалла. Удалось получить

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 спектр люминесценции и сравнить его со спектром поглощения  $\text{CuB}_2\text{O}_4$ . Возбуждения проводились диодным лазером с длиной волны 635 нм при температуре 4К. По результатам эксперимента была выявлена величина стоксовского сдвига, который составил  $256 \text{ cm}^{-1}$ .

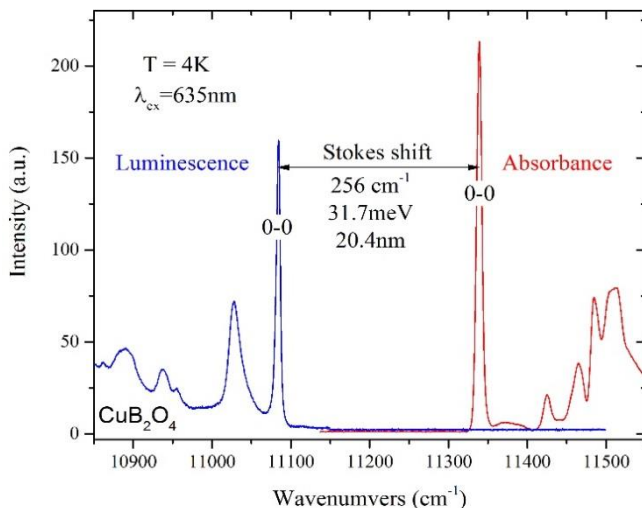


Рис.1 Спектр люминесценции метабората меди, при T=4К

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-02-07451a и гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых МК-3577.2017.2.

#### Литература

1. R. Pisarev, A. Kalashnikova, O. Schöps, L. Bezmaternykh, Phys. Rev. B 84. 075160 (2011).
2. R. Pisarev, K. Boldyrev, M. Popova, et al., Phys. Rev. B 88. 024301 (2013).
3. K. N. Boldyrev, R. V. Pisarev, L. N. Bezmaternykh, M. N. Popova, Phys. Rev. 114.247210 (2015)

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРЕВА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЕТОНАЦИОННЫЕ МИКРОАЛМАЗЫ**

**Закатилова Е.И.<sup>1,2</sup>, Ефремов<sup>2</sup> В.П.**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

<sup>2</sup> *Объединенный институт высоких температур РАН, Москва  
конт. тел. +7(964)-700-6171, e-mail: ei.zakatilova@mail.ru*

В результате утилизации боеприпасов на основе углерода с отрицательным кислородным балансом взрывным способом, в продуктах детонации образуются кристаллические углеродные структуры такие как алмаз, размером от нано- до микрометровых, в зависимости от условий подрыва. Обладая уникальными свойствами крупнокристаллического алмаза, такими как высокая твердость, плотность (пикрометрическая плотность наноалмаза 3.05-3.51 г/см<sup>3</sup>), ультравысокая теплоемкость, детонационные алмазы являются перспективными наполнителями композиционных материалов. Однако, на данный момент, их широкое применение затруднительно. Это связано с неоднородностью исходных свойств, которые зависят от разных параметров. Поэтому, детальное изучение свойств алмаза детонационного синтеза необходима, для дальнейшего поиска направлений применения этого удивительного материала.

В ранней работе [1] были исследованы тепловые свойства наноалмазных частиц методом синхронного термического анализа. В этой работе исследовались тепловые свойства микроалмазов, полученных в результате водного детонационного синтеза [2] смеси ТНТ/гексоген.

Микроалмазный порошок исследовался методом синхронного термического анализа. Исследовалось влияние температуры и скорости нагрева на микроалмазные наночастицы. Нагрев осуществлялся при атмосферном давлении в потоке аргона со скоростью 10К/мин от 30°C до 800, 1000 и 1500°C и 2°C /мин от 30°C до 1500°C.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Сохраненные образцы после термической обработки исследовались с помощью рентгеноструктурного анализа и с помощью расторового электронного микроскопа.

В процессе работы было обнаружено, что после нагрева со скоростью  $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до  $1500^{\circ}\text{C}$  (рис.1а) частицы порошка микроалмаза образуют разрушенную мелкую алмазную фракцию в отличие от обработки порошка со скоростью  $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до  $1500^{\circ}\text{C}$  (рис.1б), где первоначальная структура во многом сохранилась. Тем не менее, в температурном диапазоне от  $30$  до  $1500^{\circ}\text{C}$  не происходило фазово-структурных процессов, что подтверждается рентгеноструктурным анализом. Масса порошка микроалмаза практически не изменилась, что не наблюдалось в процессе нагрева наноалмаза в таких же условиях [1].

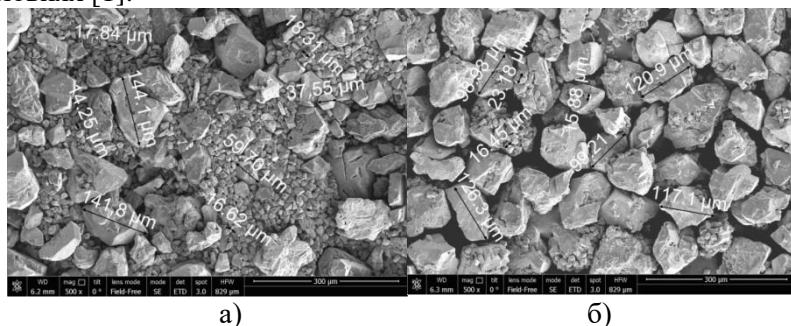


Рис. 1. Микрофотографии образцов порошка детонационного микроалмаза подвергнутых термической обработки до  $1500^{\circ}\text{C}$  со скоростью а)  $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , б)  $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

### Литература

1. Efremov V.P., Zakatilova E.I. The analysis of thermal stability of detonation nanodiamond // *Journal of Physics: Conference Series* Issue 774. P. 012014 (2016).
2. Бланк, В. Д. Голубев, А. А. Горбачев, В. А. Дерibas, А. А. Дубицкий, Г. А. Серебряная, Н. Р. Шевченко, Н. В. Микроалмазы детонационного синтеза // *Химия и химическая технология. Изв. Вузов*. Т. 55. № 6. С. 37-41 (2012).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ БОРАТА ЖЕЛЕЗА  $\text{FeVO}_3$  ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Замковская А.И., Максимова Е.М., Наухацкий И.А.**

*Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,  
Симферополь  
+79789159094, [trabem.z@gmail.com](mailto:trabem.z@gmail.com)*

Борат железа  $\text{FeVO}_3$  является модельным объектом для исследований в физике твердого тела из-за уникального сочетания целого ряда физических свойств, таких как прозрачность в видимой области спектра и магнитного упорядочения и др. [1]. Под воздействием температуры в борате железа появляются новые фазы: гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и оксоборат железа  $\text{Fe}_3\text{VO}_6$ . При температурах ниже фазовых переходов происходят изменения в структурных характеристиках кристаллической решетки  $\text{FeVO}_3$ , размере кристаллитов и т.п.

Цель данной работы: получить зависимости величин параметров кристаллической решетки  $\text{FeVO}_3$  от температуры.

Структура бората железа описывается точечной группой симметрии  $\bar{3}m (D_{3d})$  и пространственной группой симметрии  $R\bar{3}C (D_{3d}^6)$ . Параметры элементарной ячейки  $\text{FeVO}_3$  в гексагональной установке:  $a=4.626(1) \text{ \AA}$ ,  $c=14.496(6) \text{ \AA}$ ,  $V=268.596 \text{ \AA}^3$  [1]. Структурные характеристики бората железа  $\text{FeVO}_3$  определялись методом высокотемпературной дифрактометрии (SmartLab Rigaku,  $\text{Cu K}_\alpha$ ). Съемка проводилась в интервале углов  $2\theta = 20\text{-}60^\circ$  с шагом  $0,02^\circ$  в диапазоне от 25 до  $600^\circ\text{C}$ .

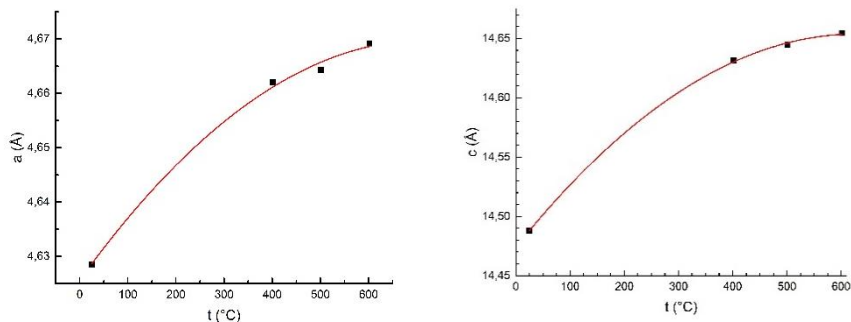
Для прецизионного определения структурных характеристик была использована программа [2]. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Зависимость величины параметров кристаллической решетки бората железа от температуры была аппроксимирована полиномом второго порядка (рис.1).



Таблица 1. Значения параметров элементарной ячейки  $\text{FeBO}_3$  в зависимости от температуры.

$t, ^\circ\text{C}$	$a, \text{Å}$	$c, \text{Å}$
25	$4,6285 \pm 0,0003$	$14,4879 \pm 0,0011$
400	$4,6621 \pm 0,0008$	$14,6313 \pm 0,0011$
500	$4,6643 \pm 0,0003$	$14,6445 \pm 0,0011$
600	$4,6692 \pm 0,0003$	$14,6545 \pm 0,0014$

Рис. 1. Зависимость параметров элементарной ячейки  $\text{FeBO}_3$  от температуры.

Соответствующие коэффициенты были найдены методом наименьших квадратов. Т.о., температурная зависимость параметров гексагональной кристаллической ячейки бората железа описывается следующими соотношениями:

$$a(t) = 4,6255 + 1,2290 \cdot 10^{-4} \cdot t - 8,5442 \cdot 10^{-8} \cdot t^2$$

$$c(t) = 14,4740 + 5,6931 \cdot 10^{-4} \cdot t - 4,4978 \cdot 10^{-7} \cdot t^2$$

#### Литература

1. Diehl R. Crystal Structure Refinement of Ferrite Borate,  $\text{FeBO}_3$ . Sol. Stat. Com., 17(6), C.743-745 (1975).
2. T. J. B. Holland, S. A. T. Redfern. Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. Mineralogical Magazine (1997)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ИЗЛУЧЕНИЯ КРИОГЕННОГО  
ЩЕЛЕВОГО СО ЛАЗЕРА С ВЧ ВОЗБУЖДЕНИЕМ И  
МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА**

***Земцов Д.С.<sup>1,2</sup>, Ионин А.А.<sup>2</sup>, Киняевский И.О.<sup>2</sup>,  
Климачев Ю.М.<sup>2</sup>, Козлов А.Ю.<sup>2</sup>, Кочетков Ю.В.<sup>1,2</sup>, Селезнев Л.В.<sup>2</sup>,  
Синицын Д.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва*

<sup>2</sup>*Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва  
+7(915) 069 56 77, [z.daniok@gmail.com](mailto:z.daniok@gmail.com)*

Лазер на окиси углерода может работать в широком спектральном интервале от 4.6 до 8.7 мкм [1, 2] на фундаментальных переходах, и в диапазоне от 2.5 до 4.2 мкм [3] на обертоновых переходах молекулы СО. При этом излучение СО лазера перекрывает спектральные диапазоны, в которых расположены полосы поглощения как различных компонент атмосферы, так и сильных загрязнителей, взрывчатых и наркотических веществ, надежное детектирование которых является на сегодняшний день весьма актуальной задачей. Кроме того, спектр излучения лазера можно существенно расширить с помощью преобразования в нелинейных кристаллах [4], что значительно увеличит его возможности, как источника излучения для лазерного газоанализа. Но для преобразования излучения и последующего газоанализа требуются импульсы небольшой длительности и высокой пиковой мощности, которые достигаются в режиме модуляции добротности резонатора. Ранее нами была продемонстрирована возможность организации режима модуляции добротности [5] в компактном щелевом СО лазере с импульсно-периодической накачкой ВЧ разрядом и криогенным охлаждением электродов. Целью данной работы являлось определение влияния различных параметров активной среды и лазерного резонатора на формирование спектра излучения этого лазера.

Были измерены спектры излучения криогенного ВЧ СО лазера с модуляцией добротности резонатора при различных частотах повторения импульсов и различных временах задержки момента снятия инверсии относительно начала импульса ВЧ накачки. Кроме

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы того, в экспериментах варьировались состав активной среды, параметры ВЧ накачки и характеристики выходных зеркал.

В результате были получены импульсы излучения с максимальной частотой следования 130 Гц, минимальной длительностью 0.65 мкс (FWHM) и пиковой мощностью до 3.5 кВт, что значительно превышает пиковую мощность лазера в режиме свободной генерации в аналогичных условиях возбуждения. Наиболее широкий спектр излучения включал в себя ~90 линий в диапазоне длин волн от 4.9 до 6.7 мкм.

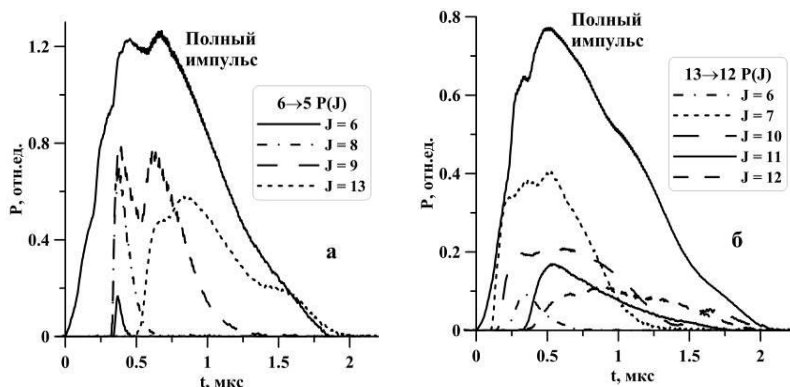


Рис.1 Динамика генерации лазерного излучения на отдельных вращательных компонентах колебательных полос 6→5(а) и 13→12(б).

Также была измерена динамика генерации на отдельных вращательных компонентах различных колебательных полос из многочастотного спектра излучения СО лазера (рис 1). Генерация большинства наиболее сильных лазерных линий, в отличие от режима свободной генерации, перекрывалась по времени. Однако некоторые слабые линии, как правило вращательные компоненты колебательных полос с  $J=5 \div 6$  и  $13 \div 14$ , излучали в разное время. Поэтому для расчета ожидаемых спектров суммарных и разностных частот при преобразовании излучения такого лазера в нелинейных кристаллах необходимо учитывать временные особенности генерации отдельных линий.

Работа поддержана РФФ (грант № 16-19-10619).

Литература

1. McCord J.E., et al, *IEEE J. of QE*, 2000, **36**, p.1041.
2. Ionin A.A., et al., *Opt. Lett.*, 2017, **43**, p.498.
3. Ionin A.A., et al., *Laser Physics*, 2010, **20**, p.44.
4. Ионин А.А., и др., *Опн. и спектроск.*, 2015, **119**, с.27.
5. Ionin A.A., et al., *Laser Physics Letters*, 2017, **14**, 055001.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ НА БАЗЕ  
КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ**

***И.А. Зимовец<sup>1</sup>, Д.О. Филатов<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
603950 Нижний Новгород, Россия*

*<sup>2</sup>Научно-исследовательский физико-технический институт,  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
603950 Нижний Новгород, Россия  
89107443659, e-mail: zim\_inna@mail.ru*

Создание эффективного источника излучения на кремнии является одной из приоритетных задач современных микро- и оптоэлектроники. Это обусловлено уникальными свойствами и дешевизной кремния. Вместе с тем в области оптоэлектронных применений кремний не получил столь широкого распространения и уступает некоторым полупроводниковым материалам. Интенсивные исследования, проводимые в последнее время в этой области, открывают новые возможности и решения в создании структур на кремнии, эффективно излучающих при комнатной температуре [1]. Особый интерес здесь представляют структуры кремния, легированного редкоземельной примесью эрбия [2], что обусловлено, прежде всего, возможностью создания на их основе оптоэлектронных устройств для оптического диапазона 1.54 мкм. Излучательный переход  ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  иона  $\text{Er}^{3+}$  на этой длине волны совпадает с окном прозрачности кварцевого волокна, что позволяет говорить о широких перспективах использования структур на основе Si:Er как в схемах микроэлектроники, так и в современных системах волоконно-оптической связи. К настоящему времени на основе кремния, легированного эрбием, разработан целый ряд приборных структур, работающих в диапазоне температур от 4.2 до 300 К. Кроме того, как показывают результаты теоретического анализа [3],[4] коэффициент усиления в структурах Si:Er с выделенным типом оптически активных центров может достигать значительной величины, порядка  $30 \text{ см}^{-1}$ , что значительно превышает ожидаемые потери и позволяет говорить о перспективах замены старых линий

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы в системах волоконно-оптической связи на принципиально новые, с целью повышения пропускной способности.

Данная работа посвящена исследованию оптоэлектронных процессов в светодиодных р+/n/n+ структурах на базе Si, легированного Er в обратно-смещенных кремниевых диодах при комнатной температуре, и поиску путей, позволяющих преодолеть, выявленные ограничения.

Экспериментальная часть работы, выполнена на кремниевых светодиодных структурах с различными профилями легирования эрбием. Исследованные в данной работе кремниевые диодные структуры выращены в Научно-исследовательском физико-техническом институте Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского с использованием оригинального метода сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии.

#### Литература

1. A. J. Kenyon. *Semicond. Sci. Technol.* **20**, R65 (2005).
2. J. Stimmer, A. Reittinger, V. F. Nützel, G. Abstreiter, H. Holzbrecher, Ch. Buchal. *Appl. Phys. Lett.* **68**, 3290 (1996).
3. М. С. Бреслер, О. Б. Гусев, Б. П. Захарченя, И. Н. Ясиевич. ФТТ **38**, 1474 (1996)..
4. O. B. Gusev, M. S. Bresler, P. E. Pak, I. N. Yassievich, M. Forcales, N. Q. Vinh, T. Gregorkiewicz. *Phys. Rev. B* **64**, 075302 (2001).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВКЛАД В  
ФОТОРЕФРАКТИВНЫЙ ОТКЛИК В КРИСТАЛЛЕ  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$   
СРЕЗА (110) ПРИ ПОПУТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  
СВЕТОВЫХ ВОЛН**

**Злобин А.О. Шмидт А.А., Буримов Н.И., Шандаров С.М.**

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск*  
+79069500915, [zlobin.tusur@yandex.ru](mailto:zlobin.tusur@yandex.ru)

Флексоэлектрический вклад в фоторефрактивный отклик в адаптивном интерферометре, использующем попутное взаимодействие световых волн на голограмме диффузного типа в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO) среза (110), был обнаружен нами экспериментально для ее пространственного периода  $\Lambda = 0,6$  мкм [1]. В настоящем сообщении представлены результаты исследования зависимостей коэффициентов связи, определяющих величину линейной и квадратичной составляющих выходного сигнала фазовой демодуляции в данном интерферометре, от пространственного периода  $\Lambda$  фоторефрактивной голограммы, которые позволили оценить величину флексоэлектрического коэффициента кристалла BSO.

Экспериментальные исследования проводились на установке, аналогичной используемой в работе [1], позволявшей варьировать угол между пучками, стационарным опорным и фазово-модулированным сигнальным, с длиной волны  $\lambda = 633$  нм и левой циркулярной поляризацией. Пространственный период пропускающей голограммы, создаваемой в образце BSO среза (110) с толщиной  $d = 2,64$  мм, принимал значения  $\Lambda = 0,66; 0,78; 1,03$  и  $1,15$  мкм, для каждого из которых в экспериментах с продолжительностью формирования выходного сигнала 400 с проводилась его обработка по методике, изложенной в [1]. Она позволяла определить как временные зависимости относительных амплитуд глубины модуляции интенсивности  $M^{(f)}(t)$  и  $M^{(2f)}(t)$  на первой и второй гармониках частоты фазовой модуляции, соответственно, составляющей около 1,5 кГц, так и стационарные значения  $M_{st}^{(f)}$  и  $M_{st}^{(2f)}$ . Проведенный теоретический анализ показал, что при попутном взаимо-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 действия волн с круговой поляризацией в BSO среза (110) эти стационарные значения определяются выражениями

$$M_{st}^{(f)} = 4J_0(\varphi_m)J_1(\varphi_m)\exp\left(-\frac{\Gamma_E}{2}d\right)\sin\left(\frac{\Gamma_f}{2}d\right), \quad (1)$$

$$M_{st}^{(2f)} = 4J_0(\varphi_m)J_2(\varphi_m)\left[\exp\left(-\frac{\Gamma_E}{2}d\right)\cos\left(\frac{\Gamma_f}{2}d\right)-1\right], \quad (2)$$

с коэффициентами связи

$$\Gamma_E = k_0 \frac{n_0^3 r_{41}^S E_{SC}}{2}, \quad \Gamma_f = k_0 n_0^3 \frac{f_{1111}}{4C_{11}} (2p_{11} + p_{12} + p_{13}) K E_{SC}, \quad (3)$$

где  $J_n(\varphi_m)$  – функция Бесселя  $n$ -го порядка и  $\varphi_m$  – амплитуда фазовой модуляции;  $k_0 = 2\pi/\lambda$ ;  $n_0$  – показатель преломления невозмущенного кристалла и  $r_{41}^S$  – компонента его электрооптического тензора в зажатом состоянии;  $C_{11}$ ,  $f_{1111}$ ,  $p_{nm}$  – компоненты тензоров модулей упругости, флексоэлектрической связи и упругооптического эффекта кристалла;  $K = 2\pi/\Lambda$  и  $E_{SC}$  – эффективное поле пространственного заряда диффузионной голограммы [2].

Проведенный анализ экспериментальных данных с использованием соотношений (1)-(3) позволил оценить коэффициент флексоэлектрической связи кристалла BSO как  $f_{1111} \approx 17$  нКл/м.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по госзаданию на 2017 г. и РФФИ (грант 16-29-14046-офи\_м).

### Литература

1. Злобин А.О., Шмидт А.А., Буримов Н.И., Шандаров С.М. Фазовая демодуляция при попутном взаимодействии световых волн в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ . Современные проблемы физики и технологий. V-я международная молодежная школа-конференция, 18-23 апреля 2016 г.: тезисы докладов. Часть 1. С. 243. М.: НИЯУ МИФИ (2016).

2. Колегов А.А., Шандаров С.М., Симонова Г.В. и др. Адаптивная интерферометрия, использующая динамические отражательные голограммы в кубических фоторефрактивных кристаллах. Квантовая электроника. Т. 41. № 9. С. 847–852 (2011).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ИНСТРУМЕНТА НА СВАРНОЙ ШОВ  
ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

***Идилов Р.Х., Рзаев Р.А.***

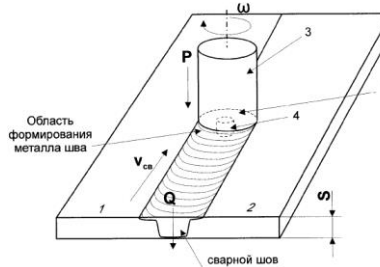
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет»,  
г. Астрахань.  
Тел.: 89371200533, e-mail: [idilovr@mail.ru](mailto:idilovr@mail.ru)

В последние годы сварка трением с перемешиванием (СТП) стремительно набирает обороты и является эффективным способом получения высококачественных соединений конструкций различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции и трубы. Этот способ сварки обладает широкими технологическими возможностями по получению неразъёмных соединений деталей узлов и может быть использован в качестве альтернативы другим видам сварки.

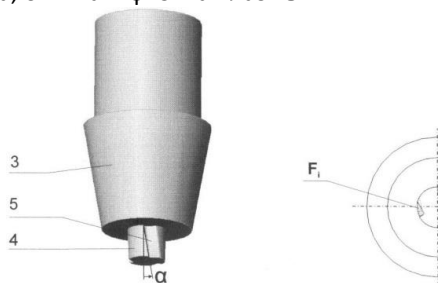
Целью данного проекта является выявление влияний сварочного инструмента СТП на сварной шов и его особенности.

На фиг.1 и 2 обозначены: 1 и 2 - свариваемые детали, 3 - сварочный инструмент (щуп), 4 - сменный палец с направляющими канавками 5,  $V_{св}$  - направление скорости сварки,  $\omega$  - направление вращения сварочного инструмента,  $P$  - направление усилия инструмента на свариваемые кромки,  $Q$  - направление вертикального течения перемещаемого металла и создаваемого им дополнительного прессующего давления на формируемый металл шва,  $\delta$  - толщина свариваемых деталей,  $D_p$  - диаметр пальца, равный толщине свариваемых кромок,  $F_i$  - площадь поперечного сечения одной канавки,  $\alpha$  - угол отклонения направляющей канавки от образующей.

Наклон направляющих канавок под углом  $\alpha$  в заданных пределах относительно образующей поверхности пальца в сочетании с направлением вращения инструмента в процессе сварки задает направление движения перемещаемого размягченного металла в корневую часть области формирования шва и создает дополнительное прессующее давление на металл шва по всему его профилю.



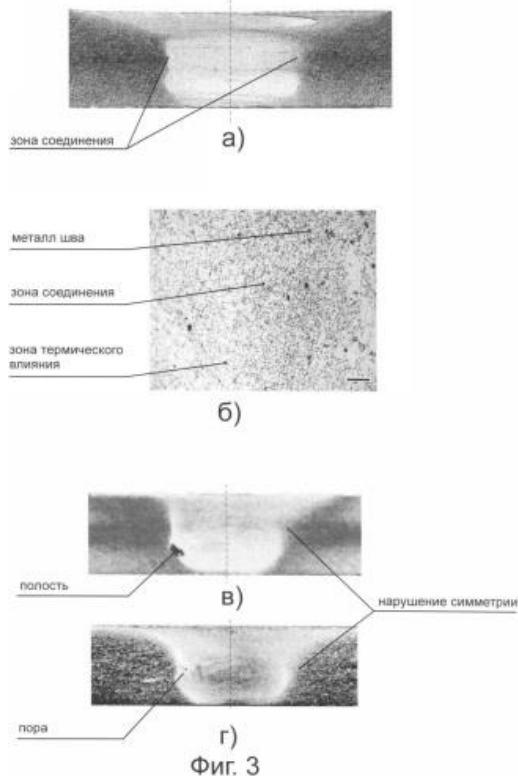
Фиг. 1



Фиг. 2

Результаты экспериментальных исследований показали, что для обеспечения одинаковых условий для съема и переноса материала с обеих свариваемых кромок с целью возможности формирования симметричных швов с наименьшим тепловложением в металл свариваемых кромок и повышения прочности соединения в целом минимальный угол отклонения канавок от образующей составляет не менее 10 градусов, а максимальный не более 45 градусов. Уменьшение угла отклонения канавок от образующей приводит при сварке к уменьшению количества вертикально перемещаемого пластифицированного металла, частичной потере его вследствие выдавливания на поверхность соединения и выноса в виде грата, что влечет за собой возникновение рыхлот и пор в корневой части металла шва и нарушение качества лицевой поверхности шва, а дальнейшее увеличение угла наклона канавок - к повышению нагрева свариваемого металла со стороны съема из-за увеличения сопротивления переносу металла, перемещаемого в зону формирования, и к асимметрии формы шва и снижению прочности сварного соединения в целом.

Оптимальный размер площади поперечного сечения направляющих канавок должен быть ограничен, с одной стороны, минимумом, который определяется обеспечением свободного переноса металла для достижения требуемого качества и прочностных свойств сварного соединения, а с другой стороны, максимумом, обеспечивающим работоспособность сварочного инструмента (пальца).



В качестве основного свариваемого материала использовали лист из алюминиево-магниевого сплава марки 1561 толщиной 3 мм с гарантированным пределом прочности не ниже 340 МПа. Сварку трением с перемещиванием выполняли с применением сменных пальцев, изготовленных как по предлагаемому изобретению, так и по прототипу с винтовой резьбой на поверхности пальца и с парой поперечно выступающих лезвий при одинаковых параметрах сварочного процесса ( $D_{п}=3,5$  мм,  $V_{св}=210$  мм/мин,  $\omega=710$  об/мин). Сварные соединения подвергали рентгеновскому контролю и металлографическим исследованиям, которые показали, что в образцах, сваренных известным способом при использовании пальца с винтовой резьбой, обнаружено наличие полости в металле шва (фиг.3в), в образцах, сваренных известным способом с использованием пальца с парой поперечно выступающих лезвий, выявлены

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
отдельные мелкие поры, а также нарушение симметрии сварного  
соединения относительно центральной линии стыка (фиг.3г), тогда  
как в образцах, сваренных по предлагаемому изобретению, дефек-  
тов не обнаружено.

### **Литература:**

1. А.Г. Бойцов, В.В. Качко «Сварка трением с перемешиванием»
2. Моисеенко, В. П. Материалы и их поведение при сварке / В. П. Моисеенко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 300 с.
3. Martin J. Pushing the boundaries – friction stir goes deeper than before// TWI Connect. – 2006. – January/February. – P. 1.
4. Денис Курицын «Сварка трением с перемешиванием. Исследование влияния технологических факторов процесса на качество соединений, разработка средств оснащения», LAP Lambert Academic Publishing, 2013.
5. Котлышев, Р. Р. Сварка трением с перемешиванием: монография / Р. Р. Котлышев. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2012. – 135 с.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**КОРРЕКТИРОВКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ УСИЛЕНИЯ  
ЭРБИЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

*Идрисов Р.Ф.*

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва. Самара*  
+79279002187, [rustamIidrisov@gmail.com](mailto:rustamIidrisov@gmail.com)

Постоянно растущая потребность в увеличении скорости передачи информации, связанная с развитием средств телекоммуникаций, увеличением информационных потоков, ростом глобальных информационных систем, а также расширением числа пользователей, привела к тому, что волоконно-оптические линии связи [1] стали разрабатываться с применением спектрального мультиплексирования оптических каналов [2].

Во избежание появления в ВОЛС, оборудованном волоконно-оптическим усилителем, неравномерности частотной характеристики усиления при каскадном включении нескольких усилителей, необходимо включать оптические корректоры, с помощью которых сглаживается большая неравномерность частотной характеристики затухания. Расположенные в зоне подъёма усиления спектральные каналы оказывают мешающее влияние на спектральные каналы, расположенные в зоне минимума усиления, что приводит к искажению сигнала на участке волоконно-оптической линии связи. В оптических усилителях в качестве корректоров амплитудных искажений могут быть использованы оптические многослойные решётки [3] с полуволновой связкой, локальные многослойные звенья которых формируют заданную частотную характеристику затухания в определённом диапазоне частот [4].

Наиболее прямым методом разработки волоконно-оптических решёток является аналитический метод синтеза оптического многослойного фильтра, позволяющий получать точные решения, удовлетворяющие заданным требованиям к частотным характеристикам фильтров при заданных реализуемых показателях преломления.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

С целью определения параметров затухания звеньев оптической многослойной решётки, удобно использовать метод Абеле путём перемножения матриц передачи для двух диэлектрических слоёв

$$A_{1 \times 2} = \begin{bmatrix} \cos \omega & i \cdot \rho_p \cdot \sin \omega \\ \frac{i \cdot \sin \omega}{\rho_p} & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \omega & i \cdot \rho_c \cdot \sin \omega \\ \frac{i \cdot \sin \omega}{\rho_c} & \cos \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

где  $\omega = \pi f / 2f_0$  и  $f$  – частота;  $f_0$  – первая резонансная частота слоя решётки;  $\rho_p = 1/n_p$  и  $\rho_c = 1/n_p$  – нормированные значения волновых сопротивлений слоя-резонатора и слоя-связки;  $n_p$  и  $n_c$  – показатели преломления слоя-резонатора и слоя-связки.

Перепад усиления ВОУ не должен превышать максимум затухания корректора. Величину максимума собственного затухания  $a_{max}$  на средней частоте полосы задерживания  $f_{cp}$  можно определить по следующей формуле:

$$a_{max} = 20 \log \left| \frac{1 + q(f_{cp})}{1 - q(f_{cp})} \right| \quad (2)$$

где  $q(f_{cp}) = \sqrt{\frac{B \cdot C}{A \cdot D}}$ ;  $A, B, C, D$  – коэффициенты матрицы пе-

редачи.

Литература

1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р.Р. Убайдуллаев — М.: Эко-Трендз, 1998. — 205 с.

2. Андрэ Жирар. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. [Текст] / — М.: EXFO, 2001. — 264 с.

1. Васильев С.А. Волоконные решётки показателя преломления и их применения. [Текст] / Васильев С.А. // Научный центр волоконной оптики РАН, Квант. электрон., Москва, 2005. — С. 1085-1103

4. Лапшин Б.А. Оптические гетероструктуры. Новая теория и расчёт. [Текст] / Б.А.Лапшин — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 480 с.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ОСОБЕННОСТЬ ФОСФОРЕСЦЕНЦИИ  
СЕНСИБИЛИЗАТОРА В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ**

***Ишемгулов А.Т., Летута С.Н., Пашкевич С.Н.***

*Оренбургский государственный университет, Оренбург  
+7 (905) 81-06-556, azamat.ischemgulov@yandex.ru*

Исследована кинетика затухания замедленной люминесценции эритрозина в тканях молочной железы мышей линии BYRB *in vitro*, как здоровых, так и больных раком. В работах [1, 2] показано, что в результате фотодинамического расхода кислорода при импульсно-периодическом возбуждении зондов в опухоли наблюдается тушение их замедленной флуоресценции (ЗФ), обусловленной аннигиляцией пар синглетный кислород – триплет-возбужденный зонд. Данное тушение связано главным образом с тем, что образующийся синглетный кислород активно взаимодействует с окружением в опухолях, химически связываясь с субстратом. В настоящей работе исследовалось изменение конкурирующего канала излучения зонда – фосфоресценции (ФФ). Показано, что ФФ намного превышает ЗФ по длительности свечения. При этом относительное изменение интенсивности ФФ при снижении концентрации кислорода в ткани существенно меньше, чем ЗФ. Таким образом, аннигиляционная ЗФ более информативна по отношению к изменению содержания кислорода в тканях, чем ФФ. По нашему мнению, данный результат обусловлен тем, что часть зондов, дающих вклад в ФФ, недоступна для кислорода. Наличие таких зондов может усложнить мониторинг оксигенации тканей по величине тушения ФФ. Полученные результаты следует учитывать при разработке люминесцентных методов определения концентрации кислорода в тканях.

**Литература**

1. Letuta S.N., et al. Delayed luminescence of erythrosine in biological tissue and photodynamic therapy dosimetry // J. Photochem. Photobiol. B: Biology, 2016, 163, 232–236.
2. Letuta S.N., et al. Features of the delayed fluorescence kinetics of exogenous fluorophores in biological tissues // Russian J. of Phys. Chem. A, 2013, 87, 1582–1587.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА-  
ЗАДЕРЖКИ МЕЖДУ ПРИХОДОМ ЗАПУСКАЮЩЕГО  
ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ (ФОТОЭЛЕК-  
ТРОННОГО РЕГИСТРАТОРА) ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ  
И НАЧАЛОМ ЛИНЕЙНОЙ РАЗВЁРТКИ**

*Аббасов Т.С., Калиненко А.И., Саакян А.Т., Стародуб А.Н.,  
Фахриев Б.Р., Якушев О.Ф.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

Представлен метод по определению так называемого «мёртвого времени» электронно-оптической камеры (ЭОК)/фотоэлектронного регистратора (ФЭР) с разными временными диапазонами линейной развёртки. Предложенный метод был реализован для электронно-оптической камеры модели РН-1. Представлены развёрнутые во времени фотографии ртутной дуговой лампы вспышки ДРШ350-2 при диапазонах линейной развёртки – 50 нс и 100 нс. «Мёртвые времена» для диапазонов линейной развёртки – 25 нс, 50 нс и 100 нс, составили – 5 нс, 75 нс и 105 нс, соответственно. Погрешность измерения «мёртвого времени» для диапазонов линейной развёртки 25 нс, 50 нс и 100 нс составила  $\leq 1.6$  нс,  $\leq 2.8$  нс и  $\leq 5.3$  нс, соответственно. После определения «мёртвого времени» ЭОК РН-1 была опробована в экспериментах по взаимодействию лазерного излучения с веществом. Приведены развёрнутые во времени спектры второй гармоники, излучаемой плазмами медной и алюминиевой мишеней.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант №16-02-00293).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЖИДКОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-  
ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ТИ**

**Камынина Д.А.<sup>1,2</sup>, Казакевич В.С.<sup>1,2</sup>, Казакевич П.В.<sup>1</sup>,  
Ярьско П.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева  
Российской академии наук, Самара

<sup>2</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королева, Самара  
+79276895912, kamyninada@gmail.com

Лазерный синтез поверхностных структур титана активно развивается в последние десятилетия, поскольку лазерная обработка приводит к улучшению прочностных, оптических и биосовместимых свойств данного конструкционного материала [1]. Процесс облучения мишени зачастую осуществляется в химически активной среде. Однако известно, что нагрев металлов в присутствии кислорода приводит к формированию оксида на поверхности. Переход к инертным жидким средам позволяет избежать окисления и получать развитые структуры меньшего периода и с большим аспектным соотношением по сравнению с газовыми средами. Поэтому целью данной работы являлось получение микронных и субмикронных структур импульсно-периодическим инфракрасным субнаносекундным излучением Nd:YAG лазера в C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH и жидком аргоне на поверхности титановой мишени.

На рисунке 1 представлены структуры, полученные в средах этанола (а) и жидкого аргона (б). Структуры синтезированные в жидком аргоне, имеют период 13.1 мкм и средний продольный размер 10 мкм. В случае этанола структуры характеризуются периодом 8.3 мкм и средним продольным размером 5 мкм. Это может быть связано с тем, что при лазерно-индуцированном испарении жидкости и вещества мишени, давление паров в канале проплавления при использовании в качестве среды жидкого аргона будет выше, чем в случае использования этанола.

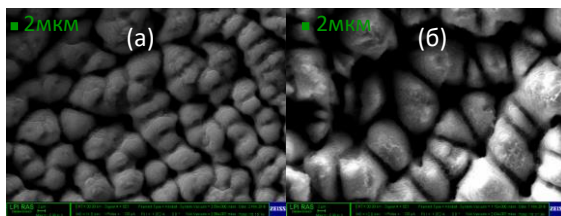


Рис.1. СЭМ-изображение структур на поверхности Ti, полученных в (а) этаноле, (б) жидком аргоне. 20000 импульсов, 0.26 Дж/см<sup>2</sup>

При EDX анализе структур, синтезированных в средах этанола и жидкого аргона, была получена зависимость процентного содержания кислорода от плотности энергии в интервале 0.1 - 0.26 Дж/см<sup>2</sup> (Рис.2). Окисление поверхности влияет на поглощение лазерного излучения образцом. В случае аргона с повышением плотности энергии идёт удаление исходного оксидного слоя. При обработке в среде C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH с 5% H<sub>2</sub>O наблюдалось два конкурирующих процесса: окисление и абляция.

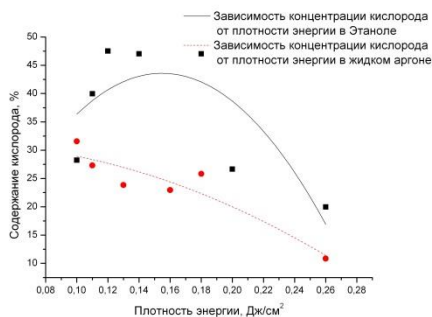


Рис.2. Зависимость процентного содержания кислорода на поверхности Ti структур от плотности энергии лазерного излучения

### Литература

[1] М.А. Васильев, М.М. Нищенко, П.А. Гурин. Лазерная модификация поверхности титановых имплантатов. Успехи физ. мет. Т.11. С.209 (2010).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ В  
АЛЮМОХРОМФОСФАТНОМ СВЯЗУЮЩЕМ**

**Клемазов К.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

<sup>2</sup> АО ОНПП «Технология им А.Г. Ромашина», г. Обнинск  
конт. тел.-89657033408, e-mail- klemazov\_kirill@mail.ru

Алюмохромфосфатное связующее является перспективным материалом для создания композиционных материалов, работающих при температурах выше 1000°C. В ходе проделанной работы были исследованы ИК спектры алюмохромфосфатного связующего, а также проведен ДСК анализ при различных температурах. По данным ИК спектров (рисунок 1) можно предположить, что при температуре 1300 °С происходит разложение фосфатов алюминия, возможно с выделением P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. При температуре 1000 °С появляется серия пиков в районе 1100- 900 см<sup>-1</sup>. Пик на 957 см<sup>-1</sup> можно отнести группы Р-О-Р. Также заметно увеличение интенсивности полосы в районе 1150 см<sup>-1</sup>. Данная полоса отвечает за колебания Al-O-P. Увеличение интенсивности может свидетельствовать о структурной перестройке с образованием AlPO<sub>4</sub>.

В ходе ДСК анализа (рисунок 2) было выяснено, что в районе 115-200 °С наблюдается эндотермический пик, связанный с удалением кристаллизационной воды в материале. В районе от 200 и до 1160 °С наблюдается широкий эндотермический пик, связанный со структурной перестройкой материала. Основываясь на работе [1] можно предположить, что данный пик связан с ростом кристаллов метафосфата алюминия Al(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. В районе 1160°C наблюдается перегиб, который может быть связан с разложением метафосфатов алюминия и образования AlPO<sub>4</sub>.

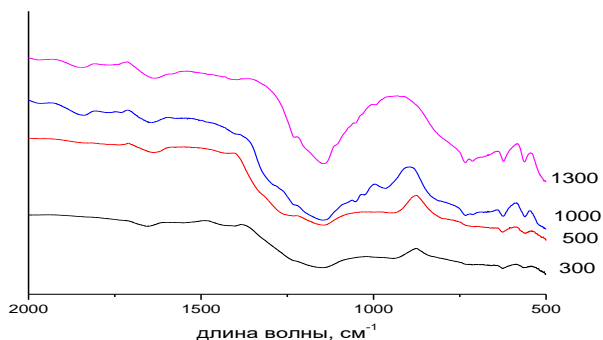


Рисунок 2 ИК спектр алюмохромфосфатного связующего

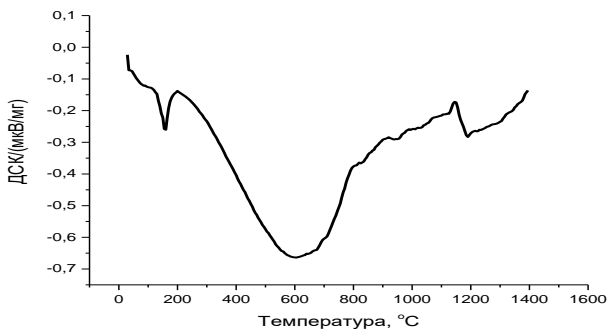


Рисунок 3 Термограмма алюмохромфосфатного связующего

### Литература

1. Ф Сычев, М.М. Неорганические клеи – 2-е издание перераб. и доп. / М.М.Сычев – Л.: «Химия», 1986.-152 с.
2. Везер, Ван. Фосфор и его соединения – под редакцией к.т.н. А.И.Шерешевского / Везер В. – М.: «ИИЛ», 1962.-686 с..
3. Chen N. et al. Studies on high-temperature thermal transformation and dielectric property of aluminum–chromium phosphates //Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2014. – Т. 116. – №. 2. – С. 875-879.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ШТАРКОВСКИЕ УРОВНИ ИОНА  $Nd^{3+}$  В НОВОМ  
КРИСТАЛЛЕ ИЗ СЕМЕЙСТВА ЛАНГАСИТА  $Nd_3CrGe_3Be_2O_{14}$**

***Климин С.А.<sup>1</sup>, Попова М.Н.<sup>1</sup>, Милль Б.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Институт Спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup> *МГУ им. Ломоносова, Москва*

*klimin@isan.troitsk.ru*

Соединения семейства лангасита интересны как для применений (пьезоэлектрические, лазерные, фоторефрактивные материалы и др.), так и с точки зрения фундаментальной физики твердого тела [1,2]. Новый представитель семейства  $Nd_3CrGe_3Be_2O_{14}$  - низкоразмерный фрустрированный магнетик. Магнитное поведение его определяется взаимодействием двух магнитных, d- и f-подсистем. Анизотропия магнитного g-фактора f-иона  $Nd^{3+}$  определяется действующим на него кристаллическим полем (КП). Схема штарковских уровней иона  $Nd^{3+}$ , исследуемая в данной работе, в дальнейшем будет использована для расчета по теории КП с целью получения величин компонент анизотропного магнитного g-фактора.

Для эксперимента были изготовлены таблетки из смеси поликристаллических KBr и синтезированного лангасита  $Nd_3CrGe_3Be_2O_{14}$ . Низкотемпературные измерения проводились в оптическом гелиевом криостате замкнутого цикла CryoMech ST403. Спектры пропускания в широкой области частот ( $1800-15000\text{ см}^{-1}$ ) были зарегистрированы на фурье-спектрометре Bruker IFS 125HR.

Спектры пропускания образца в области мультиплета  $^4F_{3/2}$  иона  $Nd^{3+}$  показаны на Рис. 1. Спектральные линии обозначены двумя символами, например, 1A. Цифра обозначает начальный уровень перехода, буква – конечный. Интенсивность линий, соответствующих переходам с основного уровня 1, растет с понижением температуры, с возбужденных (2 и выше) – падает, в соответствии с населенностью начального уровня по Больцману. Анализ температурных изменений позволил построить схему уровней для 9-ти мультиплетов (см. Табл. 1). Выше  $15000\text{ см}^{-1}$  пропускание кристалла падает, по-видимому, из-за поглощения хрома.

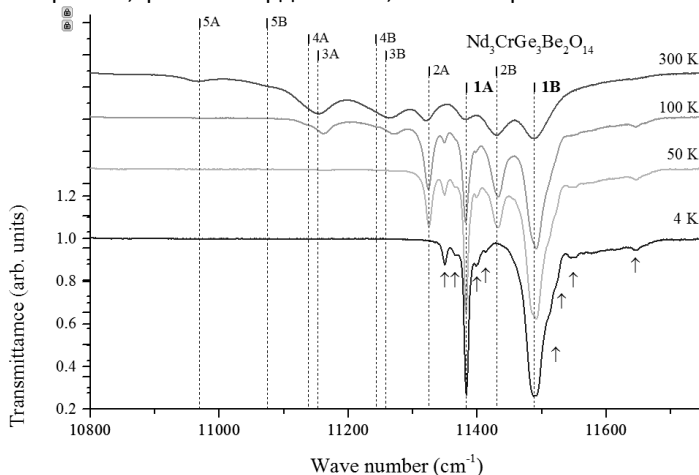


Рис. 1. Спектры пропускания кристалла  $\text{Nd}_3\text{CrGe}_3\text{Be}_2\text{O}_{14}$  в области мультиплетта  $^4F_{3/2}$  иона  $\text{Nd}^{3+}$  при различных температурах.

Таблица 1. Энергии штарковских уровней иона  $\text{Nd}^{3+}$  в кристалле  $\text{Nd}_3\text{CrGe}_3\text{Be}_2\text{O}_{14}$ .

$^4I_{11/2}$	$^4I_{13/2}$	$^4I_{15/2}$	$^4F_{3/2}$	$^4F_{5/2} + ^2H_{9/2}$	$^4F_{7/2} + ^4S_{3/2}$	$^4F_{9/2}$
1940	3884	5823	11383	12368	13342	14607
2001	3960	5891	11488	12403	13433	14667
2031	3974	5978		12440	13447	14730
2088	4057	6055		12471	13474	14780
2120	4075	6125		12484	13520	14822
2210	4167	6247		12527	13530	14845

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №17-02-00603).

#### Литература

1. Сильвестрова И.М., Писаревский Ю.В., Милль Б.В., Каминский А.А. Доклады АН СССР 282, 575 (1995)
2. A. Zorko, F. Bert, P. Mendels, et al., Phys. Rev. Lett. 100, 147201 (2008)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР С ВИХРЕВЫМ  
СОСТОЯНИЕМ НАМАГНИЧЕННОСТИ**

***Клишин Ю.А.<sup>1</sup>, Никитин П.И.<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва*

*<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
Klishin.yuri@mail.ru*

Проявление квантово-размерных эффектов у наноструктур определяет большое разнообразие и уникальность их свойств, а стремительное усовершенствование методов синтеза делает возможным их широкое применение в науке и технике. Особый интерес представляют магнитные свойства наноструктур. Так, например благодаря специфическим магнитным свойствам и их изменению во внешних магнитных полях реализуются методы диагностики и лечения различных заболеваний [1,2].

Целью настоящей работы является изучение особенностей конфигурации магнитного состояния сплошных цилиндрических наночастиц пермаллоя в широком диапазоне соотношения ширина/высота ( $d/h$ ), изготовленных с помощью современных методов микро- и нанолитографии.

При сохранении нано размеров по высоте, в зависимости от величины  $d/h$  возникает устойчивое вихревое магнитное состояние, являющиеся следствием конкуренции энергии обменного взаимодействия и магнитостатической энергии [3].

Такое состояние и его поведение во внешнем поле позволяет выявлять его различными способами. Среди них – применение магнитооптического эффекта Керра, для наблюдения которого используется установка, схема которой представлена на рис.1. Луч гелий-неонового лазера 1 проходит через электромеханический модулятор 2, фокусируется линзой 3, проходит через призму Глана-Тейлора 4 и падает на образец 5. Отраженный свет проходит через призму Волластона 6, после которой две компоненты излучения с ортогональными поляризациями попадают на фотодиоды 7 и 8. Обработку сигнала производит электронная схема 9. Изменение

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы магнитного потока через образец осуществляется перемещением постоянного магнита 10.

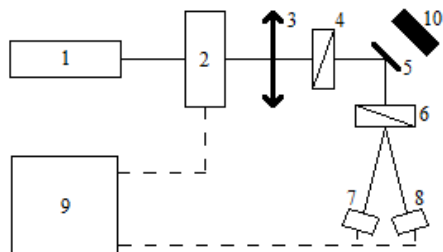


Рис.1. Схема установки для наблюдения магнитооптического эффекта Керра.

По изменению интенсивности прошедших через призму Волластона компонент света в зависимости от величины приложенного магнитного поля определяется зависимость магнитного момента от приложенного поля. Экспериментально зарегистрированные зависимости связаны с процессом смещения центра магнитного вихря к периферии, что соответствует участку линейного увеличения магнитного момента с ростом поля и последующему переходу в состояние однородной намагниченности, проявляющейся насыщением. При уменьшении величины поля наблюдается переход к линейной зависимости, при этом в отсутствии магнитного поля магнитный момент обращается в ноль, что свидетельствует об отсутствии остаточной намагниченности. Такое поведение магнитного состояния позволяет использовать высокочувствительные методы регистрации наноструктур в различных средах, что обуславливает возможность их широкого практического применения.

#### Литература

1. A.V. Orlov, V.A. Bragina, M.P. Nikitin, P.I. Nikitin. Rapid dry-reagent immunomagnetic biosensing platform based on volumetric detection of nanoparticles on 3D structures. *Biosensors and Bioelectronics*. Vol. 79. P. 423–429 (2016).
2. V.O. Shipunova, M.P. Nikitin, P.I. Nikitin, S.M. Deyev. MPQ-cytometry: a magnetism-based method for quantification of nanoparticle - cell interactions. *Nanoscale*. Vol. 8. P. 12764-12772 (2016).
3. R.P. Cowburn, D.K Koltsov, A.O. Adeyeye, M.E. Welland, D.M. Tricker, Single-domain circular nanomagnets. *Phys Rev Lett*. Vol. 83. P. 1042-1045 (1999).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МОЛНИЯХ**

**Кожанов А.А., Орищенко А.В.**

*Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
Димитровград  
+79084758127, [anton7071@yandex.ru](mailto:anton7071@yandex.ru)*

Экспериментальное и теоретическое изучение грозовых электромагнитных полей в атмосфере позволяет приблизиться к пониманию физических механизмов, лежащих в основе глобальной электрической цепи, которая охватывает пространство от поверхности Земли до ее магнитосферы и представляет собой распределенный электрический контур планетарного масштаба. Глобальная электрическая цепь подвержена влиянию физических процессов земного происхождения (высотные разряды в мезосферу и т.д.) и внеземного (потоки заряженных частиц от солнца, галактические космические лучи, солнечные вспышки и т.д.). Одним из наиболее ярких проявлений атмосферного электричества является гроза.

При внешнем наблюдении мы видим, что в тучах происходит грозовой разряд в виде молнии, при этом, если мы будем смотреть из космоса, то обнаружим круглые пятна света, причем очень кратковременные ( $\Delta t$  в диапазоне от  $10^{-3}$ - $10^{-6}$  с), которое зависит от плотности воздуха. Мы хотим объяснить, откуда во время грозы берутся быстрые электроны, которые устремляются в разные стороны и ионизируют плотную атмосферу, создавая вакуум. Например, такие потоки быстрых электронов появляются при помощи грозовых молний.

При грозовом разряде молнии идут в разные стороны порядка 50-100 км. На облаках наблюдаются круглые пятна разных размеров и форм. Это явление говорит о том, что такие высокоэнергетические явления возникают над молниями и время, за которое эти явления наблюдаются всего доли секунды. Такие явления мы можем регистрировать на высоте ионосферы (рис.1). Молния сопровождается формированием мощных плазменных потоков. Они присутствуют в плотных слоях атмосферы, а это значит, возникает выкотемпературная очень коротко существующая плазма. В такой

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 плазме развиваются процессы ионизации, стационарные, в течение  
 времени значительно короче, чем  $10^{-6}$  с.

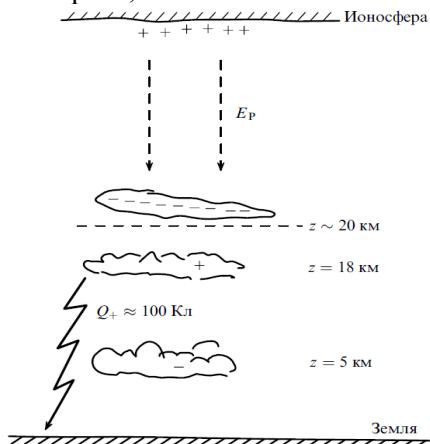


Рис.1. Модель возникновения условий для высотного разряд [1]

На высоте 50-100 плазма высоко ионизованная и плотная. В этой плазме за счет квантовых процессов происходит следующее: свободные электроны начинают интенсивно поглощать кванты энергии плазменной турбулентности-плазмоны. Но поскольку у нас есть разномасштабная и разнофазовая энергетическая среда, то у нас уже электроны ускорены за счет ленгмюровского процесса и имеют большие энергии.

Если у нас изотропно возникли быстрые электроны, то они будут распространяться в условиях не только получения энергии. Быстрые электроны попадают в вверх, часть, часть вниз. Те, что вертикально стремятся вниз, они пропадут, так как они очень быстро потеряют свою энергию на разогрев атмосферы. А те, которые полетели поперек, с ними будет происходить то же самое что и вниз, но потеря энергии будет происходить более равномерно, и не будет возрастать, так как плотность атмосферы будет постоянной.

#### Литература

1. А.В. Гуревич, К.П. Зыбин. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы. УФН. №.171. С.1177-1199 (2001).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ МАГНИТНЫХ  
СКИРМИОНОВ В НАНОДИСКАХ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ  
ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИЯ**

***Колесников А.Г.<sup>1</sup>, Самардак А.С.<sup>1</sup>, Стеблій М.Е.<sup>1</sup>, Огнев А.В.<sup>1</sup>,  
Чеботкевич Л.А.<sup>1</sup>, Садовников А.В.<sup>2</sup>, Никитов С.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

<sup>2</sup> *Саратовский государственный университет, Саратов  
конт. тел. 89024880085, e-mail: kolesnickov.a@gmail.com*

Топологически устойчивые спиновые конфигурации такие как магнитный вихрь, мерон и скирмион являются перспективными объектами для применения в новых устройствах магнитной памяти с высокой плотностью записи. Одной из ключевых проблем в исследовании скирмиона на данном этапе является экспериментальное управление процессом зарождения скирмиона. Теоретически было установлено, что взаимодействие Дзялошинского-Мория (DMI) позволяет стабилизировать киральное упорядочение спинов [1]. Целью нашего исследования является нахождение оптимальных параметров, при которых состояние скирмиона можно получить в нанодисках с DMI.

Величина константы  $DMI=0.31$  мДж/м<sup>2</sup> была измерена методом Бриллюэновского рассеяния света на пленках  $SiO_2/Ta(3)/Pt(5)/CoFeSiB(1.5)/Ru(3)/Ta(5$  нм), полученных методом магнетронного распыления. Данные пленки характеризуются наличием перпендикулярной магнитной анизотропии (ПМА) ( $K_{PMA}=1.8 \times 10^5$  Дж/м<sup>3</sup>). Величину ПМА можно варьировать путем изменения толщины магнитного слоя, либо отжигом во внешнем магнитном поле. Значение намагниченности насыщения ( $M_S=550 \times 10^3$  А/м) пленок также можно контролировать, посредством изменения концентрации немагнитных атомов в сплаве  $CoFeSiB$ . Основываясь на экспериментально измеренных магнитных параметрах, было проведено микромагнитное моделирование нанодисков с диаметром от 200 до 600 нм и толщиной от 1 до 2.5 нм с использованием программы MuMax<sup>3</sup> [2]. При моделировании был исследован процесс квазистатического перемагничивания в поле, приложенном перпендикулярно плоскости диска. Были

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы определены диапазоны геометрических и магнитных параметров, при которых скирмион самопроизвольно зарождается и остается устойчивым в состоянии остаточной намагниченности. Количественно конфигурация скирмиона характеризуется величиной топологического заряда ( $N_{sk}$ ), который принимает фиксированные значения ( $N_{sk}=\pm 1$ ) для скирмиона. В результате были построены диаграммы величины  $N_{sk}$  для конфигураций намагниченности в отсутствие поля в зависимости от  $M_S$  и  $K_{PMA}$  (Рис. 1). Красная область на диаграмме соответствуют стабильному скирмиону с  $N_{sk}=1$ . Также были найдены другие топологически нетривиальные состояния магнитный вихрь и мерон.

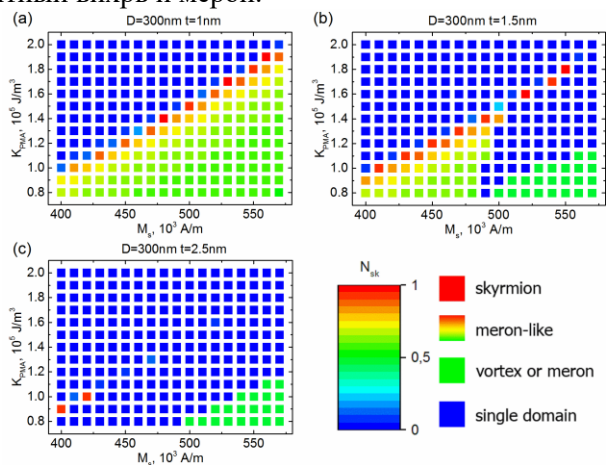


Рис. 1. Диаграммы величины топологического заряда в координатах  $M_S$  и  $K_{PMA}$  для дисков диаметром 300 нм с толщинами 1 нм, 1.5 нм и 2.5 нм

#### Литература

1. A.N. Bogdanov, D.A. Yablonskii. Sov. Phys. JETP. Vol. 68, Issue 101 (1989).
2. A. Vansteenkiste, J. Leliaert, M. Dvornik, M. Helsen, F. Garcia-Sanchez, B. Van Waeyenberge. AIP Adv. Vol. 4, Issue 107133 (2014).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ  
КАМЕРЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ИОННОГО ИСТОЧНИКА**

***Коротков С.В.<sup>1</sup>, Панасенков А.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup> НИЦ «Курчатовский институт», Москва  
8-925-264-50-35, korotkovcv77@gmail.com

Параметры плазмы в газоразрядной камере (ГРК) являются одними из определяющих условий для режима работы инжектора нейтральных атомов [1]. В этой работе будет рассматриваться ГРК Ионного источника СТИС-1С, которую планируется использовать в модернизированном Т-15 [2].

Цель работы – измерить параметры водородной плазмы в ГРК. Так как плазма в ГРК низкотемпературная (1-10 эВ), а давление внутри камеры порядка 10 мТор. Для измерения распределения параметров плазмы в ГРК был выбран контактный метод диагностики с использованием зонда Ленгмюра [3]. Для использования электростатического зонда разработана конструкция ввода зонда в камеру ГРК и генератор треугольно напряжения, который позволит изменять потенциал зонда относительно потенциала плазмы для получения вольт-амперной характеристики (ВАХ) зонда.

Ионный источник СТИС-1С является сильноточным (ток порядка 1 кА), напряжение разряда до 60 В, давление, плотность ионного тока в плазме в области без магнитного поля до  $j_i=0.28$  А/см<sup>2</sup>. Газоразрядная камера ИИ СТИС-1С (Рис.1) представляет собой цилиндр высотой 0.5 м и диаметром 16 см с запаянными торцами и прямоугольным окном в боковой стороне. В ГРК размещается до 24 вольфрамовых катода, помимо этого камера оснащена неодимовыми магнитами, расположенными на внешних стенках, которые образуют «касповую» конфигурацию магнитного поля, с величиной поля на стенке до 1000 Гс и быстрым спадом его к центру камеры.

В данный момент, в связи с модернизацией системы электропитания установки, возникают трудности с интерпритацией результатов измерений. Снято несколько ВАХ.

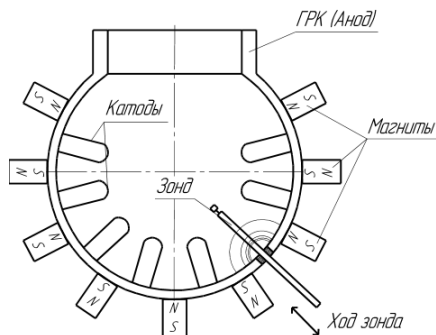


Рис.1. Размещение зонда к ГРК (вид сверху).

#### Литература

1. А.А. Панасенков, С.А. Равичев, А.В. Рогов ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ/ -М.:ЦНИИАтоминформ, 1984. – С. 56-63.
2. Э.А. Азизов, Д.Е. Алфимов, И.О. Анашкин, ... П.П. Хвостенко Модернизация токамака Т-15: статус и планы // XLII Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 9-13 февраля 2015 года, Сборник тезисов докладов, Москва, 2015, С. 68.
3. Ю. М. Каган и В. И. Перель ЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЫ // УФН. - 1963. - №т. LXXXI, вып. 3. - С. 411-450.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ  
ЩЕЛЕВОГО СО-ЛАЗЕРА С МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ  
РЕЗОНАТОРА В НЕЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛЕ  $ZnGeP_2$**

***Кочетков Ю.В.<sup>1,2</sup>, Земцов Д.С.<sup>1,2</sup>, Ионин А.А.<sup>2</sup>,  
Киняевский И.О.<sup>2</sup>, Климачев Ю.М.<sup>2</sup>, Козлов А.Ю.<sup>2</sup>, Селезнев Л.В.<sup>2</sup>,  
Синицын Д.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва*

<sup>2</sup> *Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва  
+7(906)039 90 64, greydrago@mail.ru*

Разработка источников лазерного излучения среднего и дальнего ИК диапазонов представляет большой интерес для спектроскопии, фотохимии, разделения изотопов, многокомпонентного газового анализа и ряда других применений. СО-лазер может генерировать излучение в широком спектральном диапазоне частот (средний ИК) на сотнях колебательно-вращательных линий в диапазоне длин волн от 2.5 до 8.7 мкм [1-2]. Спектр излучения данного лазера может быть существенно расширен и обогащен с помощью преобразования частоты излучения методами нелинейной оптики, в частности путем генерации суммарных и разностных частот [3].

Для эффективного преобразования лазерного излучения необходимы импульсы малой длительности и большой пиковой мощности. В нашей работе был использован щелевой СО-лазер с высокочастотной импульсно-периодической накачкой и криогенным охлаждением электродов, конструкция которого подробно описана в [4]. Такой лазер более компактен (длина активной среды 40 см) по сравнению с СО-лазером, возбуждаемым разрядом постоянного тока, который был использован в [3]. В нашем эксперименте была реализована V-образная оптическая схема с двумя проходами через активную среду. Короткая длительность генерации лазера (~1 мкс) достигалась за счет модуляции добротности резонатора с помощью внешнего вращающегося зеркала [5]. Были использованы параметры накачки, а также состав и давление газовой смеси лазера, при которых пиковая мощность достигала 3 кВт.

Преобразование частоты осуществлялось в кристалле  $ZnGeP_2$

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 длиной 17 мм. До преобразования спектр излучения СО-лазера насчитывал ~90 спектральных линий в диапазоне 4.9-6.6 мкм (рис.1а). Был измерен внешний коэффициент преобразования излучения для различных углов его падения на кристалл и положения относительно фокальной плоскости фокусирующей линзы. Максимальный внешний коэффициент преобразования составил ~4.4%, что соответствует внутренней эффективности ~8.2%. В этих условиях спектр преобразованного излучения насчитывал ~200 спектральных линий в диапазоне от 2.5 до 3.2 мкм (рис.1б), соответствующих суммарным частотам СО-лазера.

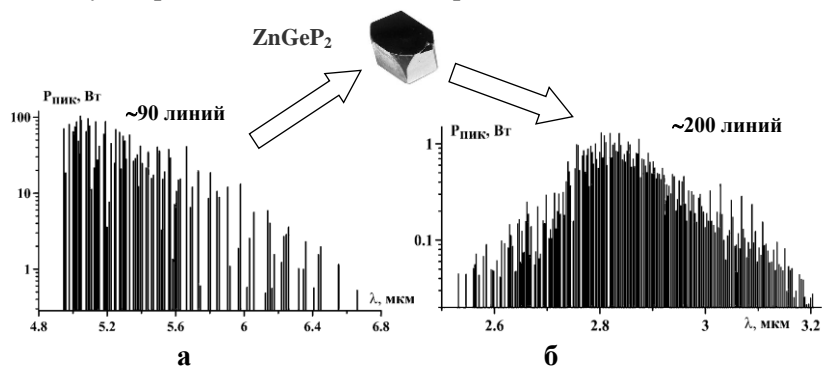


Рис.1. Преобразование излучения в нелинейном кристалле ZnGeP<sub>2</sub>

Работа выполнена при поддержке РНФ (16-19-10619).

Литература

1. А. А. Ionin, in Gas Lasers, M. Endo and R. Walter, eds. P.201 (CRC Press, 2007).
2. А.А. Ionin, I.O. Kinyaevskiy, Yu.M. Klimachev, et al. Optics letters. Vol.42. Issue 3. P.498 (2017).
3. А.А. Ионин, И.О. Киняевский, Ю.М. Климачев, А.А. Котков. Оптика и спектроскопия. Т.119 №3. С.381–387 (2015).
4. А.А. Ionin, А.Yu. Kozlov, O.A. Rulev et al. Applied Physics B. Vol.122. P.183 (2016).
5. А.А. Ionin, Yu.V. Kochetkov, А.Yu. Kozlov, et al. Q-switched slab RF discharge CO laser. Laser Physics Letters. Vol.14. P.055001 (2017).



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И  
ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЦТН**

***Кочнева А.В., Малкина К.А., Зубова Н.Г.***

*Балаковский инженерно-технологический институт - филиал НИЯУ  
МИФИ, г.Балаково  
89271537694, annakochneva96@mail.ru*

В настоящее время развитие отраслей техники и технологий базируется на применении полимерных композитов. Работоспособность, надежность, долговечность и оптические свойства композиционного материала зависят от правильности выбора исходных компонентов и технологии формирования изделия [1-2].

В связи с этим, целью работы являлось исследование теплофизических и оптических свойств эпоксидных композиционных материалов на основе модифицированных гидратцеллюлозных нитей.

Объектами исследования являлись: гидратцеллюлозная техническая нить (ГЦТН), сульфат гидроксомеди (II) ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), сульфата никеля ( $\text{NiSO}_4$ ), эпоксидная смола (ЭД-20), отверждаемая полиэтиленполиамином (ПЭПА).

Эпоксидные композиционные материалы получали в несколько этапов. На первом этапе проводилось модифицирование исходных ГЦТН растворами, содержащими сульфат гидроксомеди (II) и сульфат никеля. Причем, обработку ГЦТН сульфатом гидроксомеди (II) проводили 2%-ным раствором соли, при продолжительности модификации 90 с. Модифицирование ГЦТН сульфатом никеля осуществляли при содержании соли в растворе 5 % и времени обработки 60 с. Гидратцеллюлозные нити, модифицированные при данных технологических режимах характеризуются увеличением относительной разрывной нагрузки и относительным разрывным удлинением по сравнению с немодифицированной нитью.

На следующем этапе, методом прессования, были получены образцы композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и модифицированных ГЦТН. Образцы разработанных композитов исследовались на влияние модифицированных нитей на теплофизические свойства.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Для изучения влияния ГЦТН, модифицированных исследуемыми солями меди и никеля на теплофизические свойства эпоксидных композитов в условиях повышенных температур применяли метод термогравиметрического анализа (ТГА), данные которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные ТГА композиционных материалов на основе модифицированных ГЦТН

Название наполнителя	Потери массы, %, при температурах, °С						
	100	120	140	160	180	200	220
ГЦТН	29	16	0	-	-	-	-
ГЦТН+CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	48	36	22	20	18	16	12
ГЦТН+NiSO <sub>4</sub>	40	28	16	8	4	1	0

Приведенные данные показывают, что масса образцов композита на основе немодифицированных ГЦТН сгорает в интервале температур 100-140°С. Потеря основной массы образцов композиционных материалов на основе модифицированных ГЦТН происходит в интервале температур 120-220°С. Причем, для образцов композита на основе ГЦТН, обработанных CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, в области 220°С наблюдается сохранение массы до 12 %.

Для оценки эстетических и потребительских свойств, определяющих качество изделия, исследовали оптические характеристики композитов на основе модифицированных ГЦТН. Данные микроскопических исследований показали равномерное распределение волокон в связующем. Введение в ЭД-20 волокон, модифицированных CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O способствует изменению окраски композита с бежевого на голубой.

Таким образом армирование эпоксидного связующего ГЦТН, модифицированными CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O и NiSO<sub>4</sub> способствует улучшению теплофизических свойств и дополнительному изменению оптических характеристик полимерного композиционного материала.

1. А.В. Шевченко. Физикохимия и механика композиционных материалов. (СПб.: ЦОП «Профессия». 2010).

2. В. Грелльман, С. Зайдлер. Испытания пластмасс. (СПб: «Профессия». 2010).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВ К ЦИЛИНДРУ ФАРАДЕЯ  
МЕТОДОМ ЧАСТИЦ В ЯЧЕЙКАХ**

***Крайнов П.В.<sup>1,2</sup>, Астахов Д.И.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Институт спектроскопии РАН, г. Москва, г. Троицк*

<sup>2</sup> *МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный Московской обл.*

*конт. тел.: +7 967 034 28 11, e-mai: pavel.kraynov@phystech.edu*

При изучении ионного энергетического спектра лазерной оловянной плазмы с помощью ионного энергетического анализатора (описание см., напр., в [1]), был получен аномальный сигнал - отрицательный ток (см. Рис. 1). В проведенном литературном обзоре не было найдено объяснения такой аномалии. Работа посвящена анализу гипотез образования такого сигнала и проверке наиболее правдоподобных с помощью моделирования методом частиц в ячейках (описание программы см. в [2]).

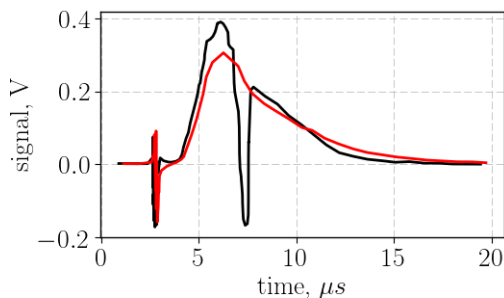


Рис. 1. Пример нормального (красная кривая) и аномального (черная кривая) сигналов анализатора.

В проведенном моделировании был получен аналогичный экспериментальному сигнал - отрицательный ток. Было выяснено, что причиной возникновения отрицательного тока является провисание потенциального барьера анализатора для электронов.

Для предотвращения образования аномального сигнала такого вида рекомендуется использовать в ионном анализаторе сетки с меньшим размером ячейки.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Литература

1. R. A. Pitts et. al.. Retarding field energy analyzer for the JET plasma boundary. Review of Scientific Instruments. Vol. 74. P.4644 (2003).

2. D. Astakhov. Numerical study of extreme-ultra-violet generated plasmas in hydrogen. PhD Thesis. University of Twente. (2016). <http://doc.utwente.nl/100349/>

## ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

**Кузнецова Е.В.<sup>1</sup>, Яббарова Д.Р.<sup>1</sup>, Носков А.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань  
+7(937)777-06-82, gdetti@yandex.ru*

Композиционные материалы из углеродного волокна (углепластики) все более востребованы на промышленном рынке, особенно в аэрокосмической и автомобильной промышленности. Это, непосредственно, связано с особенностями структуры углепластиков: небольшой вес, статические и динамические характеристики. Однако анизотропные и гетерогенные особенности этих материалов создают серьезные проблемы при механической обработке композита. Следовательно, необходимо изучить новые технологии обработки углепластика. Лазерная обработка представляет собой бесконтактный (исключающий износ инструмента) термический процесс [3]. Поэтому в данном случае имеют решающее значение тепловые свойства материала (особенно для композиционных материалов, т.к. они состоят из различных составляющих). В углеродных композиционных материалах (УКМ) волокна являются отличными проводниками тепла (теплопроводность составляет 50 Вт/(м\*К)), в то время как полимерная матрица – плохой проводник (0,1-0,3 Вт/(м\*К)) [2]. Такое существенное отличие – причина дефектов при лазерной резке УКМ. Основные проблемы качества реза исследуемых материалов это расслаивание и регрессия матрицы. Для минимизирования наличия дефектов, были исследованы различные методы резки (изменялись следующие параметры: мощность излучения и скорость резки).

В ходе исследований было установлено: наличие ЗТВ, деструкция связующей матрицы, эффект запаивания армирующих волокон, шероховатость кромки образца.

На основе полученных данных выявлено: лазерная обработка композиционных материалов из углеродного волокна имеет не только наилучшую производительность по сравнению с традиционными методами раскроя материала, но и точность ( $\pm 0,05$  мм),

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
экономичность расходных материалов и экологичность, что до-  
вольно актуально на данный момент при изготовлении изделий из  
композитов на производстве.

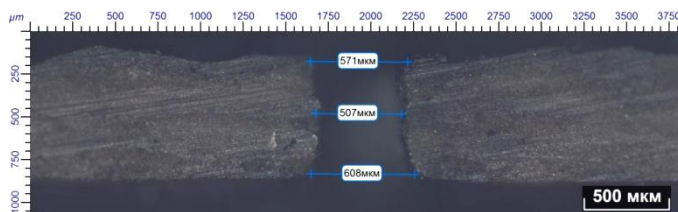


Рис.1. Вид поверхности изделия после лазерной обработки

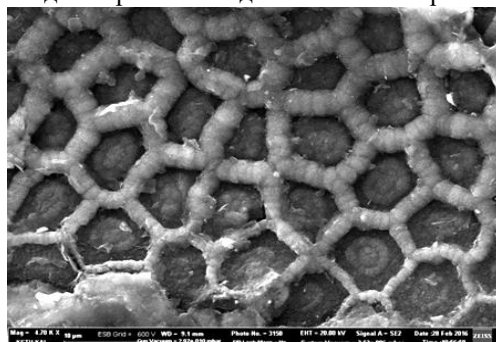


Рис.2. СЭМ изображение запаянных армирующих волокон.

#### Литература:

1. K. Kerrigan, G.E. O'Donnell. On the relationship between cutting temperature and workpiece polymer degradation during CFRP edge trimming. *Procedia CIRP*. Vol.55. P.170-175. (2016)
2. Pan, C.T. and H. Hocheng, The anisotropic heat-affect zone in the laser grooving of fibre-reinforced composite material. *Journal of Material Processing Technology*, 1996.
3. В.И. Кулик, Е.В. Мешков, А.С. Нилов. Механическая и физико-техническая обработка композиционных материалов: Учебное пособие/ Бал. г. гос. техн. ун-т. СПб., 2004. 175 с.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДВОЙНЫХ БОРАТОВ**  
 **$RGa_3(BO_3)_4$ ,  $R=Nd, Er, Ho, Sm, Dy$**

**Кузьмин Н.Н.<sup>1,2</sup>, Болдырев К.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва*

*89104414611, kolyanfclm@gmail.com*

В работе представлены результаты по исследованию галлиевых боратов. Данные соединения изоструктурны природному минералу – хантиту, с их общей химической формулой  $RGa_3(BO_3)_4$ ,  $R = Nd, Sm, Er, Dy, Ho$ . Редкоземельные бораты были выращены методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве. Для всех образцов получены спектры люминесценции и ИК спектры (рис.1). Спектры люминесценции данных боратов измерялись при комнатной температуре и температуре 5 – 10К.

Исследуемые соединения перспективны для использования в качестве синего и УФ- лазеров. Они могут применяться в таких сферах как оптическая запись и обработка информации, в качестве медицинских лазеров, лазеров накачки оптических волокон, источников для космической связи, а также для охраны окружающей среды (в качестве элементов атмосферных оптических зондов). Галлиевые бораты обладают ярко выраженными нелинейными оптическими свойствами, что позволяет использовать данные кристаллы в режиме самоудвоения и самосмещения частот. Это позволяет получить лазерную генерацию на одном кристалле в широком диапазоне длин волн, в том числе это представляет интерес для получения ультрафиолетовых лазеров. Кроме того, ожидается, что из-за структурных особенностей галлиевых боратов, они обладают большими временами жизни оптических метастабильных уровней даже при высокой концентрации (до 100%) используемого в лазерной схеме редкоземельного элемента. Редкоземельные галлиевые бораты аналогичны редкоземельным алюминиевым боратам с тем же структурным типом хантита, эти два класса соединений обладают схожими свойствами. Алюминиевые бораты широко изучены,

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 результаты их исследований представлены во многих статьях [1], в  
 то же время, галлиевые бораты изучены мало.

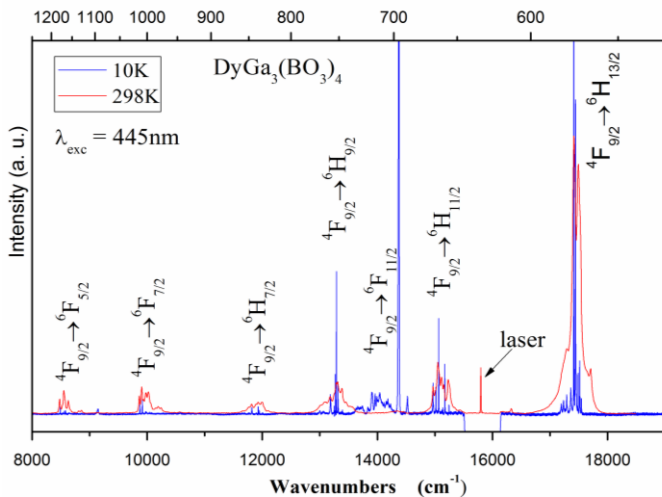


Рис.1. Спектр люминесценции  $\text{DyGa}_3(\text{BO}_3)_4$

Целью данной работы является исследование люминесцентных свойств редкоземельных галлиевых боратов. На их основе были определены оптические переходы в редкоземельных боратах, выполнено исследование штарковской структуры. Были получены времена затухания люминесценции для наиболее интенсивных переходов в  $\text{EuGa}_3(\text{BO}_3)_4$  (~614нм),  $\text{HoGa}_3(\text{BO}_3)_4$  (~434нм),  $\text{NdGa}_3(\text{BO}_3)_4$  (532нм), которые составили 940мкс, 140мкс и 37,5мкс, соответственно. Установлена граница УФ поглощения для  $\text{RGa}_3(\text{BO}_3)_4$  – 300нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 14-12-01033).

#### Литература

1. Brenier, A., et al. "Self-frequency-summing NYAB laser for tunable blue generation." *Optical Materials* 13.3 (1999): 311-317.



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСА ОТДАЧИ ЛАЗЕРНОЙ  
ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА**

***Лакатosh Б.В.<sup>1</sup>, Абраменко Д.Б.<sup>2,3</sup>, Медведев В.В.<sup>2</sup>,  
Иванов В.В.<sup>2,3</sup>, Кривцун В.М.<sup>2,3</sup>***

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва*

<sup>2</sup>*Институт спектроскопии РАН, Троицк  
3EUV Labs, Троицк*

*Тел. 89032335506 эл. адрес: lakatosh@phystech.edu*

Взаимодействие лазера с поверхностью металла при интенсивностях излучения превышающих порог абляции является сложным процессом, включающим в себя поглощения лазерного излучения, абляцию материала, его ионизацию и рекомбинацию, гидродинамику расширения плазмы и т.д. В процессе лазерной абляции за счет расширения плазмы мишень получает некий импульс. Его значение зависит от параметров лазерного излучения, таких как длина волны излучения, его интенсивность, длительность импульса и размеров лазерного пучка, а также от свойств материала. На этом эффекте базируются разработки двигателей на лазерной тяге. Также изучение эффекта лазерной отдачи способно помочь лучше понимать механизмы взаимодействия лазера с мишенями с малыми массами, использующихся в ЭУФ литографах.

В работе будут представлены результаты измерения импульса переданного плоской оловянной мишени в результате ее абляции импульсным ТЕА СО<sub>2</sub> лазером (длина волны 10,6 мкм, длительность импульса 100 нс). Выбор лазера и мишени для данного эксперимента был обусловлен их широкому применению для получения ЭУФ плазменных источников, работающих на длине волны 13,5 нм.

Импульс отдачи измерялся в вакуумной камере, при давлении  $5 \cdot 10^{-5}$  Тор, с помощью специально разработанного баллистического маятника. В ходе эксперимента варьировалось значение энергии лазерного импульса, при ее постоянном пространственном распределении и временной формы пучка. Энергия лазерного излучения принимала значения от 4,4 – 650 мДж.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

На основе полученных данных проверился закон скалирования импульса отдачи лазерной плазмы энергией лазерного пучка  $p \sim E_1^n$ , где  $p$  – импульс отдачи,  $E_1$  – энергия лазерного пучка. Согласно первой в этой сфере работе Мора [1]  $n = 7/9$ . Однако представленная им модель не учитывала плазменное излучение, и как после было уточнено [2] степень закона скалирования для плазмы тяжелых ионов с учетом их излучения должна быть  $n = 0.64$ .

Нами была предпринята попытка на основе экспериментальных данных с помощью простой физической модели объяснить физику передачи импульса мишени. А также произвести некую оценку роли эффекта абляции переизлученным плазмой светом в передаче импульса мишени.

### **Литература**

1. Mora P. Theoretical model of absorption of laser light by a plasma //The Physics of Fluids. – 1982. – Т. 25. – №. 6. – С. 1051-1056.
2. Basko M. M., Novikov V. G., Grushin A. S. On the structure of quasi-stationary laser ablation fronts in strongly radiating plasmas //Physics of Plasmas. – 2015. – Т. 22. – №. 5. – С. 053111.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ  
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В СЛОЖНЫХ  
ОКСИДАХ  $Ln_2R_2O_7$  ( $Ln = Nd, Eu$  ;  $R=Hf, Zr$ )**

***Майорова Е.В.<sup>1</sup>, Гайнанов Б.Р.<sup>1</sup>, Менушенков А.П.<sup>1</sup>,  
Попов В.В.<sup>1,2</sup>, Светогоров Р.Д.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт, Москва

конт. тел. +7(915)8933764, e-mail janee.may@icloud.com

Сложные оксиды в системах  $Ln_2O_3-MO_2$  (где  $Ln$  – катионы редкоземельных элементов (РЗЭ);  $M$  – катионы металлов подгруппы IVB: Hf, Zr) часто исследуются в последнее время [1] в качестве новых материалов для теплоизоляционных покрытий [2, 3], твердотельных электролитов для высокотемпературных оксидных топливных элементов [4, 5], нейтронопоглощающих элементов конструкций ядерных реакторов [6, 7], матриц для хранения высокоактивных радиоактивных отходов ядерного топливного цикла [8, 9] и др. Основными структурными типами сложных оксидов данного ряда являются флюорит и пирохлор с дальним упорядочением катионных позиций и анионных вакансий.

Целью данной работы было исследование кристаллической структуры и локального окружения сложных оксидов  $Ln_2R_2O_7$  ( $Ln = Nd, Eu$ ;  $R=Hf, Zr$ ). Данные соединения могут иметь различные кристаллические фазы и физические свойства в зависимости от способа приготовления и температуры отжига аморфного прекурсора. Порошки были синтезированы методом соосаждения [10], [11] с последующим их прокаливанием на воздухе в широком диапазоне температур (диапазон 600-1600°C).

Исследование проводилось методом порошковой дифракции (XRD) и рентгеновской спектроскопии поглощения (XAFS).

Исследование кристаллической структуры образцов показало, что при температурах отжига до 700-800°C указанные соединения находятся в аморфном состоянии. При температурах более 800°C наблюдается появление на рентгенограммах пиков, характерных для ГЦК структуры флюоритного типа. Дальнейший отжиг при температурах 1100-1200°C приводит к появлению сверхструктур-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
ных пиков, что свидетельствует о переходе структуры к более упорядоченной пироклорной. Стоит отметить так же, что в соединениях, где в роли металла (R) выступает гафний, наблюдается появление моноклинной фазы на температурах выше 1200°C. При этом выявлено, что с уменьшением радиуса катиона РЗЭ увеличивается температура перехода к более упорядоченной структуре пироклора.

Анализ EXAFS-спектров показал наличие расщепленной первой кислородной связи (Ln-O), что позволило более точно определить температуру перехода и сделать вывод о поведении межатомных связей с повышением температуры отжига.

[1] Subramanian M.A., Aravamudan G., Subba Rao G.V. *Progr. Solid State Chem.* 1983. V. 15. № 2. P. 55.

[2] Cao X.Q., Vassen R., Stoeber D. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2004. V. 24. № 1. P. 1.

[3] Pan W., Phillpot S.R., Wan C. et al. *MRS Bull.* 2012. V. 32. № 10. P. 917.

[4] Yamamura H., Nishino H., Kakinuma K. et al. *Solid State Ionics.* 2003. V. 158. № 3-4. P. 359.

[5] Shlyakhtina A.V., Shcherbakova L.G. *Russ. J. Electrochem.* 2012. V. 48. № 1. P. 1.

[6] Risovany V.D., Varlashova E.E., Suslov D.N. *J. Nucl. Mater.* 2000. V. 281. № 1. P. 84.

[7] Risovany V.D., Zakharov A.V., Muraleva E.M. et al. *J. Nucl. Mater.* 2006. V. 355. № 1. P. 163.

[8] Ewing R.C., Weber W.J., Lian J. *J. Appl. Phys.* 2004. V. 95. № 11. P. 5949.

[9] Laverov N.P., Yudinsev S.V., Livshits T.S. et al. *Geochem. Inter.* 2010. V. 48. № 1. P. 1.

[10] V.V. Popov *et al.*, *J. Alloys Compd.* **689**, 669 (2016).

[11] В.В. Попов *и др.* *ЖНХ* **60**, 18 (2015).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ГИАЛИНОВОГО ХРЯЩА С ПОМОЩЬЮ  
СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ**

***Маркова М.Д.<sup>1</sup>, Тимченко П.Е.<sup>1</sup>, Волова Л.Т.<sup>2</sup>,  
Долгушкин Д.А.<sup>2</sup>, Тюмченкова А.С.<sup>1</sup>, Ягофарова Е.Ф.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет), город Самара

<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет, город Самара  
конт. тел: 89277431787, e-mail: MarkovaMashulka@yandex.ru

Суставной гиалиновый хрящ является уникальной тканью, которая благодаря своим физическим свойствам, способна в течение жизни человека обеспечивать демпферную функцию, поддерживая возможность движения в суставах. Однако с возрастом в хрящевой ткани происходят деструктивные изменения [1]. Возможность выявлять характеристики поверхности хряща с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния даёт возможность провести сравнительную оценку спектральных характеристик хрящевой ткани людей пожилого возраста и детей в возрасте до 1 года.

Для исследования использовали образцы хряща суставной поверхности коленных суставов пожилых людей, полученные во время операций эндопротезирования и хрящевую ткань суставных поверхностей фаланг пальцев, удаляемых у детей до 1 года по поводу полидактилии.

Исследования производили с помощью стенда, реализуемый высокоразрешающим цифровым спектрометром Shamrock sr-303i, совмещенным с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (мощность до 500 мВт, длина волны 785 нм) и встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE, обеспечивающей спектральное разрешение 0,15 нм (спектральный диапазон 200-1200 нм). Выделение спектра КР на фоне автофлуоресценции проводилось методом полиномиальной аппроксимации флуоресценции и её вычитания из регистрируемых спектров в программе Wolfram Mathematica 9. На выбранном интервале 400-2200 см<sup>-1</sup> при помощи итерационного алгоритма определяли аппроксимирующую линию (полином пятой степени) автофлуоресцентной составляющей и затем вычитали эту

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы составляющую, получая выделенный спектр КР. Исследуемые спектры при обработке очищали от шумов сглаживающим медианным фильтром по 7 точкам.

Основные различия спектральных характеристик хрящевой ткани наблюдали на линиях  $1244\text{ см}^{-1}$  и  $1660\text{ см}^{-1}$ , которые соответствовали амиду III и амиду I соответственно. Введены оптические коэффициенты, позволяющие выделить возрастные особенности поверхности гиалинового хряща.

#### Литература

1. В. Н. Коваленко, О. П. Борткевич. Остеоартроз: практ. рук.. №2. 592 с (Киев: Морин, 2005).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИОНОВ  
ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В НЕОДНО-  
РОДНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

**Маркушин М.А., Колпаков В.А.**

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Самара*  
+7-927-901-60-21, markushin\_max@mail.ru

В связи с широким применением газовых разрядов для формирования низкотемпературной плазмы, кинетика заряженных частиц в таких разрядах представляет определенный прикладной интерес. Основой возникновения и самоподдержания высоковольтного газового разряда является наличие в формируемой им низкотемпературной внеэлектродной плазме двух противоположно направленных потоков положительно и отрицательно заряженных частиц [1,2]. Поэтому представляется важным расширение теоретических знаний о процессах, протекающих в газовых разрядах, и, в частности, об особенностях поведения заряженных частиц.

Целью работы является создание модели для расчета траекторий движения электронов, положительных ионов и их энергий с учетом процессов столкновения данных частиц с атомами/молекулами остаточного газа, а также напряженности электростатического поля, образуемого электродной системой, формирующей высоковольтный газовый разряд.

Модель, разработанная на основе имеющихся результатов моделирования распределения неоднородного электростатического поля [3], позволила построить траектории движения положительных ионов (см. рис.1), электронов (см. рис.2) и определить границы объемной ионизации электронным ударом и ионно-электронной эмиссии.

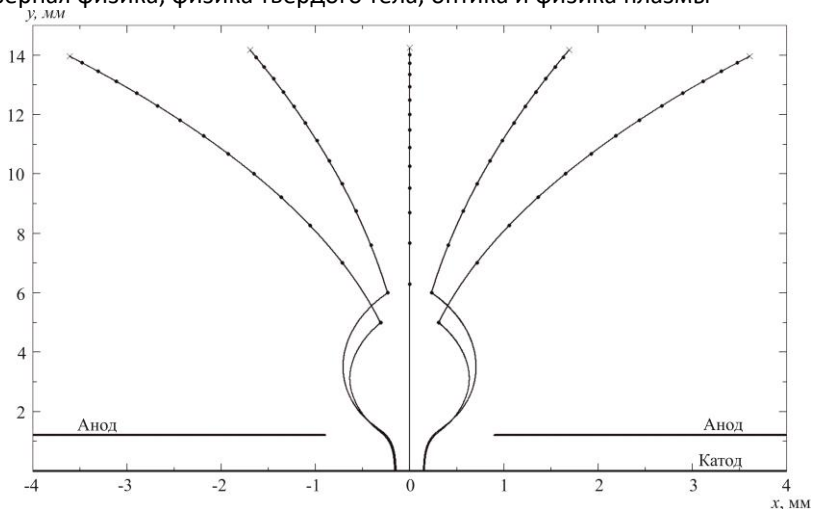


Рис.1. Траектории движения положительных ионов (× – точка ионизации молекулы азота электроном, ● – точки упругого взаимодействия иона с молекулой азота)

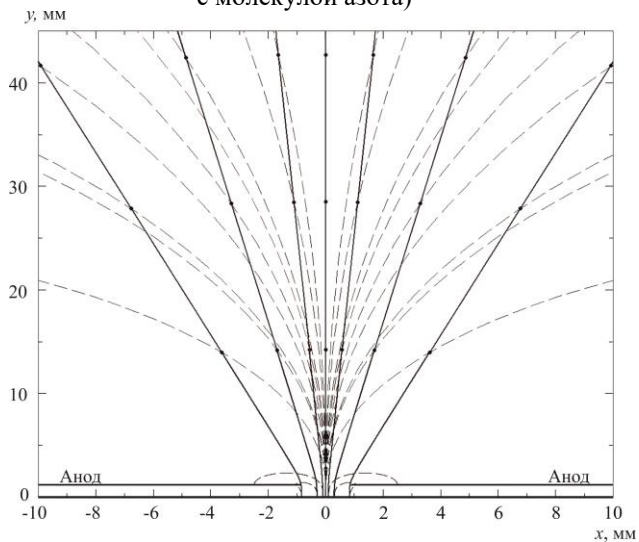


Рис.2. Траектории движения электронов (● – точка ионизации молекулы азота электроном, пунктир – силовые линии электростатического поля)



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными, полученными ранее при исследовании особенностей высоковольтного газового разряда [1,4] и формируемой им внеэлектродной плазмы [1,2], которая представляет определенный интерес для микро- и нанoeлектроники.

### **Литература**

1. Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков. Формирование оптического микрорельефа во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда (М.: Радио и связь. 2009).

2. В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, В.В. Подлипнов. «Исследование особенностей формирования внеэлектродной плазмы высоковольтным газовым разрядом». ЖТФ. Т.83. №4. С.41-46 (2013).

3. М.А. Маркушин, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский и др. «Моделирование распределения электростатического поля в системе электродов устройства, формирующего высоковольтный газовый разряд». ЖТФ. Т.85. №3. С.60-64 (2015).

4. И.В. Вагнер, Э.И. Болгов, В.Ф. Гракун и др. «Элементарная ячейка для формирования электронных пучков произвольной формы в высоковольтном разряде в газе». ЖТФ. Т.44. №8. С.1669-1674 (1974).

**СИНТЕЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР  
« $\beta$ -SiC – АЛМАЗ» В СВЧ ПЛАЗМЕ В СМЕСЯХ  $\text{CH}_4$ - $\text{H}_2$ - $\text{SiH}_4$**

***Мартьянов А.К.<sup>1</sup>, Седов В.С.<sup>1,2</sup>, Ральченко В.Г.<sup>1,2</sup>, Хомич А.А.<sup>1,3</sup>***

<sup>1</sup> *Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

<sup>3</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,  
Фрязино Московской обл.*

+7 (926) 701-22-70, [art.martyanov@gmail.com](mailto:art.martyanov@gmail.com)

Алмаз давно привлекает внимание учёных со всего мира из-за своих рекордных свойств: высокой теплопроводности, высочайшей среди известных веществ твёрдости и оптической прозрачности. Материал с такими характеристиками перспективен для применения в электронике, оптике, биологии, медицине, трибологии и множестве других областей [1]. Так, при легировании алмаза кремнием, в нём формируются центры окраски «кремний-вакансия» (SiV), которые представляют большой интерес для применения их в качестве оптических биомаркеров в медицине и источников единичных фотонов в квантовой оптике [2]. При увеличении концентрации кремния в процессе синтеза образуется карбид кремния (SiC), который обладает превосходными полупроводниковыми свойствами для высокотемпературных областей применения: широкой запрещённой зоной, высоким напряжением пробоя, высокой теплопроводностью и подвижностью электронов.

Важной задачей для электроники и квантовой оптики является создание композитного материала «SiC-алмаз». В данной работе сделан важный шаг к созданию подобного материала: синтез композитной структуры: алмаз на слое карбида кремния кубического поли типа ( $\beta$ -SiC) (рис. 1).

Плазмохимическое осаждение из газовой фазы осуществлялось с использованием подложек монокристаллического кремния (100), предварительно засеянных из суспензии частицами детонационного наноалмаза. Синтез производился в СВЧ реакторе ARDIS 100 (2,45 ГГц) в смесях «метан-водород-силан» при соотношении потоков  $\text{SiH}_4/\text{CH}_4$  от 50% до 0%. Смена режима роста позволила по-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
лучить сначала слой  $\beta$ -SiC с отдельными кристаллитами алмаза, а  
затем сплошной алмазный слой.

Исследование образцов методом рентгеновской дифрактометрии показало их достаточно высокое структурное совершенство (рис. 2).

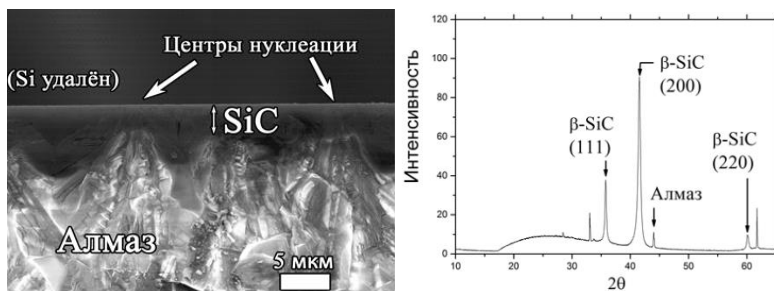


Рис.1 (слева). Изображение РЭМ скола образца: композитная структура « $\beta$ -SiC-алмаз». Кремниевая подложка удалена.

Рис.2 (справа). Дифрактограмма композита « $\beta$ -SiC-алмаз».

Таким образом, фазы карбида кремния и алмаза могут быть получены в едином процессе роста на одной подложке, что делает возможным создание нового композитного материала для задач электроники.

Работа поддержана РФФИ (гранты N 15-52-04073 Бел\_мол и 14-02-31772\_мол\_a), БРФФИ (грант Ф15PM-046) и грантом Президента РФ № СП-2575.2015.5.

#### Литература

1. R. S. Sussmann. CVD diamond for electronic devices and sensors. (John Wiley & Sons. 2009).
2. V.S. Sedov, A.A. Khomich, V.G. Ralchenko, A.K. Martyanov, S.S. Savin, O.N. Poklonskaya, N.S. Trofimov. Growth of Si-doped polycrystalline diamond films on AlN substrates by microwave plasma chemical vapor deposition. Journal of Coating Science and Technology. Vol. 2. №. 2. P. 38-45 (2015).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**РАМАНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ ГЕТЕРОМЕРНЫХ  
КЛАСТЕРОВ СЕРЕБРЯНЫХ МИКРОПЛЕНОК  
ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ**

***Матвеева К.И.<sup>1</sup>, Зюбин А.Ю.<sup>1</sup>, Слежкин В.А.<sup>2</sup>,  
Константинова Е.И.<sup>2</sup>, Брюханов В.В.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>*Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград,  
Россия*

<sup>2</sup>*Калининградский государственный технический университет, Россия  
E-mail: [matveeva.k.i@inbox.ru](mailto:matveeva.k.i@inbox.ru)*

Комбинационная спектроскопия молекул, усиленная локальным поверхностным плазмонным резонансом наночастиц (НЧ) благородных металлов, максимальный эффект которого достигается в области «горячих точек» (hot spots)[1], имеет широкое применение в биомедицине и нанотехнологиях. Исследование плазмонных колебаний, возникающих в «горячих точках», позволяет получить информацию о дипольных и диполь-квадрупольных взаимодействиях в гетеромерных кластерах НЧ, что влияет на генерацию люминесценции и рассеяния света НЧ.

В настоящей работе методом микрорамановской лазерной спектроскопии проведено изучение спектров рамановского рассеяния серебряных пленок полученных методом электрохимического осаждения медных подложек по методике [2]. Шероховатость поверхности варьировалась путем снятия поверхностного слоя толщиной ( $\delta$ ) от 0,25 до 0,75 мкм при анодном растворении. Спектры комбинационного рассеяния получали на исследовательской установке Centaur U при возбуждении твердотельным лазером с диодной накачкой - DPSS ( $\lambda = 473, 532, 632$  нм, мощность излучения 50 мВт).

В спектрах комбинационного рассеяния исследуемых пленок (рис. 1) можно выделить три основные колебательные полосы в трех спектральных областях: низкочастотная –  $\nu < 1000$  см<sup>-1</sup>; средняя –  $\Delta\nu = 1300-1800$  см<sup>-1</sup>; высокочастотная –  $\Delta\nu > 2000$  см<sup>-1</sup>, которые относятся к колебаниям Ag-O в соединениях AgO, Ag<sub>2</sub>O [3]. Обнаружение частот колебаний оксидов серебра, по-видимому, связано с процессами окисления поверхности серебряных пленок.

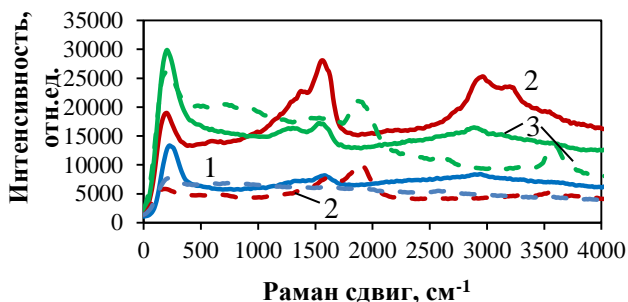


Рис. 1. КР-спектры серебряных пленок при возбуждении 473 (сплошная линия) нм и 532 нм (пунктирная линия) с различной толщиной снятия поверхностного слоя: 1- 0,25 мкм, 2-0,5 мкм, 3-0,75 мкм.

Предполагаем, что колебательные полосы различных спектральных областей относятся к рассеянию плазмонных неоднородностей (кластеров) различной геометрии и размера, образующихся при анодировании серебряной пленки.

В спектрах рассеяния пленок с толщиной снятия  $\delta = 0,5$  мкм и  $\delta = 0,75$  мкм при возбуждении  $\lambda = 473$  и  $\lambda = 532$  нм наблюдается расщепление полосы колебаний  $\Delta\nu = 1300\text{--}1800$  см<sup>-1</sup>. Предполагаем, что при данных режимах анодирования поверхность серебряных пленок формируют крупные кластеры (гетеромеры).

#### Литература

1. S.L. Kleinman, R.R. Frontiera, A.-I. Henry et al. Creating, characterizing, and controlling chemistry with SERS hot spots. *Phys. Chem. Chem. Phys.* Vol. 15. P. 21- 36 (2013)
2. В.А. Слежкин, Р.В. Горлов. Плазмонный резонанс в сплошных серебряных электрохимических и химических пленках и его проявление в спектрах флуоресценции молекул родамина 6Ж в тонких пленках поливинилового спирта. *Известия КГТУ.* № 20. С.115-122 (2011)
3. V.V. Strelchuk and al. Micro-Raman study of nanocomposite porous films with silver nanoparticles prepared using pulsed laser deposition. *SPQEO.* Vol. 18. N1. P.046-052 (2015)
4. Hui Wang and al. [Plasmon-driven surface catalysis in hybridized plasmonic gap modes](#). *Scientific reports.* Vol. 4. P.7087 (2014)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА**

*Мезенин Е.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск  
+79533187636, *skorpionlayp@yandex.ru*,

Целью работы является теоретическое и практическое освоение электроспиннинга растворов полимеров для последующего создания и применения структурированных полимерных покрытий в качестве прекурсора прозрачных электропроводящих покрытий, композиционных и диэлектрических материалов, применимых в солнечной энергетике, создании конденсаторов и ионисторов, экранов ЭМ-излучения, функциональных электропроводящих покрытий различного назначения. Ожидается значительная экономическая выгода данной технологии (управляемость процесса, доступное сырьё, низкие энергетические затраты).

Было проведено математическое моделирование и проверка результатов математической модели на практике, полученной автором [1] на основании обобщения результатов распространения условия возникновения стационарной струи раствора полимера, полученного Бураевым Т.К. и Верещагиным И.П. [2], на случай с конечным объемным расходом жидкости.

Параметры получаемых диэлектрических плёнок, такие как пористость, толщина, материал, структурные особенности, остаточный электрический заряд, можно широко варьировать.

Был получен и исследован ряд образцов из поливинилового спирта, в качестве красителя для пропитки использовался раствор бриллиантового зелёного (оксалата тетраэтил-4,4-диаминотрифенилметана) в изопропанол. Электроспиннинг проводился статически (плоскостной электрод) и динамически (вращающийся электрод-вал). Электроформование по статической схеме дало тонкую плёнку, способную очень быстро (менее 1 секунды) пропитываться раствором красителя и имеющую преимущественно сетчатую структуру (рис. 1).

Динамическим методом были получены плёнки толщиной порядка 10 мкм (рис. 2), обладающие меньшими размерами пор и

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы большей сплошностью структуры (многие поры запаиваются раствором полимера на стадии получения плёнки, либо формируют сложные сети каналов). Большая толщина плёнки обеспечивает большие скорости распределения раствора красителя и большой объём впитывания.

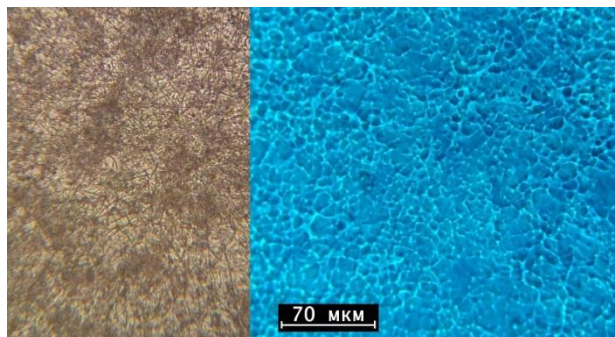


Рис.1. Окрашенная плёнка электроформованного поливинилового спирта, полученная методом статического электроспиннинга.

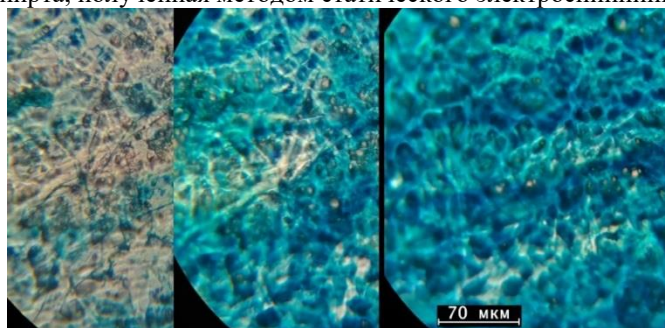


Рис.2. Последовательное окрашивание плёнки электроформованного поливинилового спирта, полученной методом динамического электроспиннинга с вращающимся электродом-валом.

### ***Литература***

1. Ю.Н.Филатов, Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). (М. 2001)
2. Т.К. Бураев, И.П.Верещагин, Исследование динамики процесса распыления жидкостей в электрическом поле. Электричество. N1. Стр. 64-69 (1973).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ДИФфуЗНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ В  
ФУЛЛЕРЕНОВЫХ КРИСТАЛЛАХ**

**Милов С.В.<sup>1</sup>, Шахматов В.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

<sup>2</sup> Калужский филиал "РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева", г. Калуга  
+7(910)545-56-26, milov.s1994@mail.ru

Исследовано вращательное движение молекул  $C_{60}$  в фуллереновых кристаллах. На основе введенного дискретного базиса ориентационных состояний молекулы  $C_{60}$  фуллереновых кристаллах [1], описано диффузное рассеяние нейтронов [2] в кристалле  $C_{60}$ . В фуллереридах  $AC_{60}$  ( $A=K,Rb$ ) реализуется другой базис ориентационных состояний молекулы  $C_{60}$  [3,4].

В настоящей работе проведено сравнение вращательных движений молекул  $C_{60}$  в кристалле  $C_{60}$  и в фуллереридах  $AC_{60}$  ( $A=K,Rb$ ). Обсуждена общая теория диффузного рассеяния нейтронов на основе сферических функций [2,5] и подход на основе базиса дискретных ориентационных состояний молекулы  $C_{60}$  [1].

Литература:

1. В.Л. Аксенов, Ю.А. Осипьян, В.С. Шахматов. Ориентационные состояния молекулы  $C_{60}$  в кристаллах. ЖЭТФ, 113, N3, 1-13 (1998).
2. J.D. Axe, S.C. Moss, D.A. Neumann, in Solid State Physics: Advances in Research and Applications, edited by H.E. Ehrenreich and F. Spaepen, Academic Press, New York, (1994), Vol. 48, p. 149.
3. В.Л. Аксенов, Ю.А. Осипьян, В.С. Шахматов. Фазовый переход в кристаллах фуллеридов  $AC_{60}$  ( $A=K,Rb$ ). Письма в ЖЭТФ, **62**, 417-421 (1995).
4. Aksenov V.L., Ossipyany Yu.A., Forro L., Khasanov S., Chernyshev V.V., Shakhmatov V.S. Fullerene molecule strain in  $RbC_{60}$ , *Physics Letters A*, **268**, 395 (2000).
5. F. Leclercq, P. Damay, M. Foukani, P. Chieux, M. C. Bellissent-Funel, Rassat, and C. Fabre. *Phys. Rev.*, B48:2748, 1993.



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В  
ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ИСТОЧНИКЕ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ  
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

***О.О. Иващук<sup>1)</sup>, А.А. Кленин<sup>1)</sup>, А.С. Кубанкин<sup>1), 2)</sup>, М.В. Мишунин<sup>1)</sup>,  
А.Н. Олейник<sup>1)</sup>, А.С. Ченурнов<sup>1), 3)</sup>, А.В. Щагин<sup>1), 4)</sup>***

*<sup>1)</sup> Лаборатория радиационной физики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия*

*<sup>2)</sup> Физический институт академии наук (ФИАН), Троицк, Москва, Россия*

*<sup>3)</sup> Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина*

*<sup>4)</sup> Научно-исследовательский институт им. Д.В. Скобельцына МГУ им М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Углеродные нанотрубки (УНТ) могут служить в качестве полевых эмиттеров электронов [1]. Сочетание углеродных нанотрубок с пироэлектрическим кристаллом в условиях вакуума при пироэлектрическом эффекте является весьма перспективным для повышения стабильности выхода ионизирующего излучения при работе пироэлектрического источника.

Представлены результаты испытания пироэлектрического источника на основе монокристалла танталата лития с закрепленной на поверхности кристалла подложки из кремния с выращенными УНТ. Показано положительное влияние УНТ на параметры генерируемого рентгеновского излучения при определенных вариантах размещения.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Министерства образования и науки Российской Федерации для высших учебных заведений, проект №14.578.21.0192 (RFMEFI57816X0192).

#### Литература

1. Елецкий А В // "Холодные полевые эмиттеры на основе углеродных нанотрубок", *УФН*, **180**, 897–930 (2010)

## **РАЗРАБОТКА ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ И ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Мухаметхафизова Л.С.<sup>1</sup>, Атрощенко И.Г.<sup>2</sup>, Никулина О.В.<sup>2</sup>,  
Степанов П.А.<sup>2</sup>, Строева О.А.<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*

*<sup>2</sup>АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина, г. Обнинск  
89206113667, liliana.salavatovna@mail.ru*

На сегодняшний день существует проблема обеспечения герметичности и влагопоглощения конструкций из композиционных материалов (КМ), особенно многослойных, с повышенными требованиями по радиотехническим характеристикам. Одним из эффективных способов решения этой проблемы, а также стабилизации прочностных и диэлектрических характеристик многослойных стеклопластиков радиотехнического назначения является использование защитных лакокрасочных покрытий [1].

Широко распространенными в области влагостойкости и термостойкости являются эмали на основе фторопластовых и кремнийорганических полимеров. Природа кремнийорганических полимеров и их структура определяют незаменимые свойства силиконовых материалов: химическая и физическая инертность, окислительная и термическая устойчивость, тепло- и морозостойкость, гидрофобность, высокие диэлектрические характеристики [2].

В отличие от кремнийорганических покрытий фторопластовые покрытия требуют наличия эпоксидных грунтовок для лучшей адгезии с защищаемым материалом. В сумме данная система лакокрасочного покрытия (фторопласт + эпоксидная грунтовка) сохраняет свои защитные свойства от  $-190$  до  $+250$  °С, в отличие от кремнийорганического покрытия, которая сохраняет свои свойства от  $-60$  до  $+700$  °С (эмали типа КО). Поэтому применение влагопоглощающих кремнийорганических покрытий на сегодняшний день является актуальным.

В работе были определены влагопоглощение, теплофизические и диэлектрические свойства кремнийорганических лаков двух марок, метил-фенильный лак КО – 85 и находящейся в процессе разработки система МССО на основе метильной смолы К-101.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

В результате проведенного синхронного термического анализа были получены следующие результаты: температура начала деструкции образца МССО составляет 94 °С, лака КО-85 – 107 °С. Остаточная масса при температуре 599,7 °С для лака МССО составляет 84,7%, для лака КО-85–15,2%.

Также в работе был проведен инфракрасный (ИК) спектроскопический анализ образцов КО-85 и МССО отвержденных при различных температурах, которые определены из данных синхронного термического анализа. ИК-спектры были проанализированы на предмет обнаружения колебательных пиков, подтверждающих наличие метил-силоксановых, а также метилфенил-силоксановых групп колебаний.

Данные анализа и,  $W$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  показали не совсем удовлетворительные данные по влагопоглощению при сравнительно хороших результатах исходных диэлектрических свойств и результатов синхронного термического анализа.

Также перспективным направлением исследований является повышение «непроницаемости», герметичности, средних слоев многослойных КМ, которые, как правило, выполняются из сотопласта (для этого используются специальные пасты типа ВПЗ).

В дальнейшем для подтверждения радиопрозрачности многослойных конструкций будет проведен анализ диэлектрических свойств ( $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$ ) трехслойных образцов эпоксидных стеклопластиков с сотовым наполнителем. Также в перспективе будут определены влагозащитные характеристики ( $W$ ,  $\rho$ ,  $\Pi$ ) синтактных пластиков и трехслойных образцов на их основе, торцы которых были загерметизированы пастой ВПЗ до и после нанесения лаков КО-85 и МССО.

Литература

1. И.Г. Гуртовник. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. (М: Мир. 2002).
2. П.А. Стороженко. Кремнийорганические лаки, пасты и пеностабилизаторы. Все материалы. № 10. с. 40-46 (2010).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ  
АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА (АД33) И СТАЛИ (12ГС) С  
ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

**Немченко А.Е., Рзаев Р.А.**

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г.  
Астрахань.*

*Тел.: 89996006861, e-mail: [zigf@mail.ru](mailto:zigf@mail.ru)*

Сейчас востребованы конструкции, которые состоят из стали и алюминия. Сваривание данных металлов находит широкое применение в авиастроении, производстве предметов и приборов быта и радиоэлектронике. Но из-за разнородности металлов, процесс сварки плавлением усложнен. Поэтому этот процесс можно упростить используя сварку трением с перемешиванием (СТП).

Целью данного проекта является разработка технологии получения сварного соединения алюминиевого сплава (АД33) и стали (12ГС) с помощью сварки трением с перемешиванием.

Алюминий АД31 – Алюминиевый деформируемый сплав в состав которого входят такие элементы как: Fe, Si, Mn, Cr, Ti, Al, Cu, Mg, Zn. Сплав АД33 отлично подходит для изготовления деталей средней прочности и высокой коррозионной стойкости, работающих в интервале от -70 до 50 град., во влажной атмосфере и морской воде. [1]

Сталь 12ГС – Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций. Используется в производстве труб паропроводных высокого давления; деталей автомобилей, изготавливаемых путем вытяжки,ковки,штамповки. Обладает отсутствием ограничений по свариваемости, благодаря своим свойствам. [2]

Сущность процесса заключается в следующем. Для сварки используют инструмент в форме стержня, состоящий из двух основных частей, а именно: заплечика или бурта (утолщенная часть) и наконечника (выступающая часть). Длину наконечника устанавливают приблизительно равной толщине детали, подлежащей сварке. Вращающийся с высокой скоростью инструмент в месте стыка вводится в соприкосновение с поверхностью заготовок так, чтобы наконечник внедрился в заготовки на глубину, примерно равную

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы их толщине, а заплечик коснулся их поверхности. После этого инструмент перемещается по линии соединения со скоростью сварки. В результате работы сил трения происходит нагрев металла до пластического состояния, перемешивание его вращающимся инструментом и вытеснение в освобождающееся пространство позади движущегося по линии стыка инструмента. По окончании сварки вращающийся инструмент выводят из стыка за пределы заготовки. [3]

Сваривание плавлением алюминия со сталью усложнено тем, что данные металлы имеют разную температуру плавления и имеют существенные различия в уровне теплопроводности. В этом случае оптимальным решением является сварка трением с перемешиванием. [4]

Преимуществами данного способа сварки перед сваркой плавлением являются:

- Для начала процесса нет необходимости достигать температуры плавления металлов;
- Упрощение процесса получения соединения.
- Отсутствие хрупкости сварного шва.

#### Литература

1. Журнал «Сварочное производство», №4, 2012 г.
2. Моисеенко, В. П. Материалы и их поведение при сварке / В. П. Моисеенко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 300 с
3. Martin J. Pushing the boundaries – friction stir goes deeper than before// TWI Connect. – 2006. – January/February. – P. 1.
4. Влияние параметров процесса сварки трением с перемешиванием на формирование швов соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,8...2,5 мм/ Покляцкий А.Г., Ищенко А.Я., Подъельников С.В.// Автоматическая сварка. – 2008.

**ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ  
ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ  
ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА**

***Никифоров С.Д.<sup>1</sup>, Чайков Л.Л.<sup>1,2</sup>, Чириков С.Н.<sup>1</sup>, Шкирин А.В.<sup>1,3</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

<sup>3</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН*

*+7(915)324-24-02, pushistik396@mail.ru*

Метод динамического рассеяния света (ДРС) широко используется в настоящее время для бесконтактного и оперативного (время измерения ~ 10-100 с) определения размеров наночастиц и макромолекул в жидкостях [1,2]. Корректность получаемых результатов зависит от ряда факторов: правильного выделения объема рассеяния для регистрации пространственно-когерентного рассеянного излучения, учета возможного взаимодействия наночастиц и зависимости коэффициента диффузии от концентрации, выполнения условий однократного рассеяния, устранения посторонних источников рассеянного излучения (например, от крупномасштабных примесных частиц), точности алгоритма, восстанавливающего распределение рассеивателей по размерам из временной функции корреляции интенсивности рассеяния.

Рассмотрена модель динамического рассеяния света на конечном ансамбле наночастиц, совершающих броуновское движение в объеме жидкости, который освещается лазерным пучком с заданным пространственным распределением интенсивности. Показано, что при малых концентрациях частиц взвеси (нарушении гауссовой статистики интенсивности рассеянного излучения) [3] учет неоднородности распределения интенсивности излучения в объеме рассеяния приводит к возникновению в распределении интенсивности рассеяния по размерам частиц артефактной моды, характерное время корреляции которой превышает на несколько порядков время корреляции диффузионной моды. Вдобавок, при измерениях методом динамического рассеяния в случае малых концентраций

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы возможны искажения реального размера частиц, присутствующих в суспензии.

Таким образом, важно учитывать рассмотренный эффект при диагностике суспензий наночастиц методом ДРС.

Литература:

1. В. J. Berne, R. Pecora. Dynamic light scattering (Krieger, Malabar, Florida, 1990).

2. Dhont J. K. G.. An introduction to the dynamics of colloids. (Amsterdam: Elsevier, 1996).

3. Nijman E.J., Merkus H.G., Marijnissen J.C., Scarlett B.. Simulations and experiments on number fluctuations in photon-correlation spectroscopy at low particle concentrations. Applied Optics, Vol. 40, pp. 4058-4063 (2001)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ  
АЛЮМИНИЕВОГО (АД31) И ТИТАНОВОГО (ВТ1)  
СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С  
ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

***Нугманов Р.Р., Рзаев Р.А.***

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет»,  
г. Астрахань.  
Тел.: 89880654271, e-mail: [ruslannugmanov97@mail.ru](mailto:ruslannugmanov97@mail.ru)*

Выполненные в последние годы исследования показали, что сварка трением с перемешиванием (СТП) является эффективным способом получения высококачественных соединений конструкций различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции, трубы, модифицирования и улучшения структуры материалов, залечивания трещин и литейных дефектов. [1]

Целью данного проекта является разработка технологии получения сварного соединения алюминиевого (АД31) и титанового (ВТ1) сплавов с помощью сварки трением с перемешиванием.

Алюминий АД31 – сплав металлов тройной системы Mg–Al–Si, относящийся к группе деформируемых авиалей. Его отличает повышенная пластичность, коррозионная стойкость и хорошие технологические свойства. Сплав АД31 превосходно прокатывается, штампуются, вытягивается и поддается другим видам механической обработки. [2]

Титан ВТ1, имеет серебристо-белый оттенок с удельной плотностью в 4,32 г/см<sup>3</sup>. Данный металл обладает довольно большой легкостью, высокой плотностью, превосходной стойкостью к коррозии с незначительным изменением коэффициента теплового расширения. Данный металл используется для изделий с высокой прочностью при достаточной пластичности и вязкости, высоким сопротивлением малым пластическим деформациям, хрупкому и усталостному разрушению, применяемых в машиностроении, приборостроении и инструментальной промышленности, для изготовления изделий криогенной техники.



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Технология способа сварки трением с перемешиванием происходит следующим образом:

1. Под воздействием силы трения снимаются пленки оксидов с обрабатываемого материала.

2. Кромки металла разогреваются до необходимой пластичности, возникший при этом временный контакт разрушается, шов выталкивается из стыка.

3. Вращение прекращается, и образовывается сварное соединение.

Подведенная к обрабатываемой детали механическая энергия превращается в тепловую прямо на участке предполагаемого соединения. Тепло выделяется в процессе вращения одного изделия по-другому или бурта между ними. Это обеспечивается возвратно-поступательными движениями элементов на сравнительно малых амплитудах внутри плоскости стыка. [3]

Для получения качественных неразъемных соединений титана с алюминием использовали технологию сварки трением с перемешиванием. Использование данного способа сварки, который протекает в твердой фазе, должен исключить проблемы, присущие традиционным способам сварки плавлением.

Преимуществами данного способа сварки перед сваркой плавлением являются:

– температура соединяемых металлов не достигает температуры плавления;

– упрощение процесса получения соединения.

Литература

1. Влияние параметров процесса сварки трением с перемешиванием на формирование швов соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,8...2,5 мм/ Покляцкий А.Г., Ищенко А.Я., Подъяельников С.В.//Автоматическая сварка. – 2008. - № 10.

2. Моисеенко, В. П. Материалы и их поведение при сварке / В. П. Моисеенко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 300 с.

3. Эрикссон Л. Г., Ларссон Р. Ротационная сварка трением — научные исследования и новые области применения // Технология машиностроения. — 2003. — № 6. — Р. 81–84.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ДРЕЙФА РАБОЧЕЙ ТОЧКИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА**

**Петров М.Ю.<sup>1</sup>, Грибова В.В.<sup>1</sup>, Каменев О.Т.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

<sup>2</sup>ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток

*mehael@mail.ru*

Волоконно-оптические интерферометры широко применяются для решения разнообразных задач мониторинга [1], являясь взрывобезопасными, пожаробезопасными, независимыми от электромагнитных полей, высокочувствительными датчиками.

Сотрудниками ДВО РАН был разработан перспективный сейсмоакустический датчик на основе волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера [2]. В отличие от аналогов, данное устройство не требует специальных работ для развертывания и имеет малые габариты. Вероятно, данное устройство может быть использовано для мониторинга окружающей среды и обнаружения движущихся объектов.

Однако датчики данного класса имеют проблемы, препятствующие их использованию вне лабораторий. Первоочередная проблема устройства - "дрейф рабочей точки" [3-4], из-за чего датчик обладает непредсказуемой точностью в каждый конкретный момент времени. Лучшее решение данной проблемы - сложная аппаратная система [4].

Поэтому, было предложено решить данную проблему, заменив сложную аппаратную логику программным аналогом. Затем, исследовать получаемый сигнал: эффективные частоты работы датчика, возможность классификации движущихся объектов, качество улавливаемого акустического сигнала.

Было разработано и использовано программное решение проблемы дрейфа рабочей точки на основе метода гомодинной демодуляции, осуществлен сбор данных сейсмоакустических сигналов, исследована корреляция сигналов сейсмоакустического и акустического датчиков, классифицированы получаемые сигналы на базе акустических методов распознавания (см. Рис. 1).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Исследование показало, что решение может быть использовано для обнаружения помимо сейсмических сигналов факт человеческой речи, но не для ее четкого распознавания. Однако, добавление акустического датчика в систему позволит улучшить качество распознавания сигналов, содержащих высокочастотную акустическую составляющую.

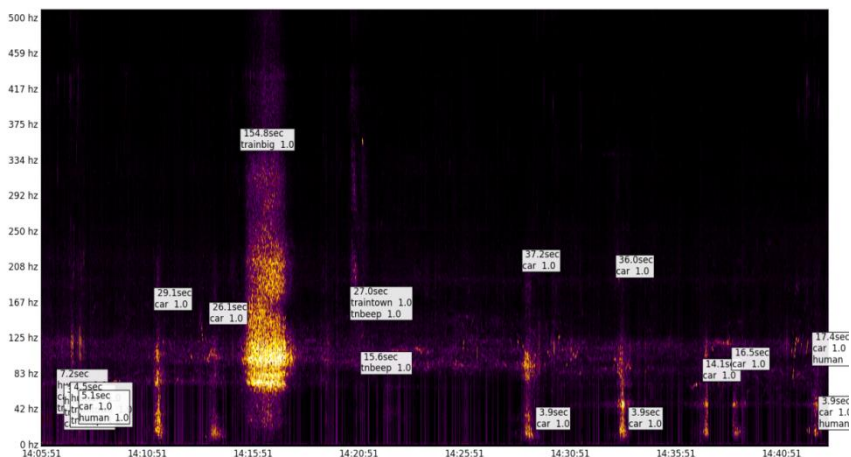


Рис.1. - Классификация сейсмоакустических сигналов автомобилей, пешеходов и поездов

Таким образом, разработанный метод решения проблемы дрейфа рабочей точки обладает достаточной стабильностью и простотой для использования вне лабораторий. Однако, данное решение требует повышенного энергообеспечения за счет постоянного использования компьютера.

#### Литература

1. Козинный А., Косарев А., Матвеев В. Нарушителя выдаст колебание грунта. БДИ. №4(74), С.74-77 (2006).
2. Каменев О.Т., Кульчин Ю.Н., Петров Ю.С., Хижняк Р.В., Применение волоконно-оптического интерферометра Маха – Цендера для создания длиннобазовых деформометров. Письма в ЖТФ. Т.40, №3, С.49-56 (2014).
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. Изд. 2-е. (М: «Наука». 1973).
4. Удд. Э. «Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников» (М: Техносфера. 2008).

## УПРУГИЕ ВОЛНЫ В ГРАФЕНЕ

***Подгорная А.В.<sup>1</sup>, Шульга Д.В.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток  
89147948640, podgornaya\_av@students.dvfu.ru*

Среди множества работ, посвященных исследованию перспективных для практического использования свойств графена, важное место занимают труды, в которых изучаются его упругие и акустические характеристики.

Стоит отметить, что, в отличие от электрических свойств, механические, упругие и акустические характеристики только начинают изучаться. Тем не менее, имеется информация о чрезвычайно большой механической жесткости у графена.

Упругие волны в кристаллах, благодаря малой по сравнению с электромагнитными волнами скорости распространения, находят широкое применение в акустоэлектронике и акустооптике. Упругие волны ультразвуковой частоты являются эффективным средством исследования физических свойств кристаллов.

Появление новых двумерных наноразмерных материалов и структур поставило актуальную задачу исследование процессов распространения продольных, поперечных и изгибных волн в таких материалах и структурах [1, 2, 3].

В работе моделируются силовые взаимодействия между атомами углерода в гексагональной решетке графена (Рис.1) при их отклонениях от равновесного положения и выводятся уравнения движения (1) в приближении малости смещений атомов. Далее находятся решения этих уравнений в виде продольных и поперечных монохроматических волн и получаются дисперсионные соотношения для разных колебательных мод. Производится расчет карт равных частот и дисперсионных кривых вдоль направлений симметрии кристаллической структуры.

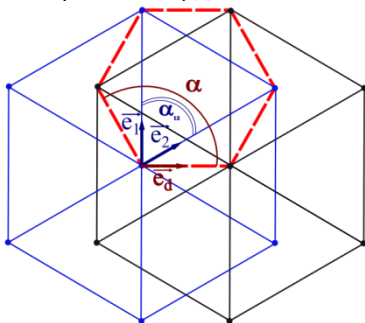


Рис.1. Гексагональная решетка, полученная наложением двух подрешеток с атомом в центре

$$\begin{pmatrix} C_1 & D_1 & C'_1 & D'_1 \\ C_2 & D_2 & C'_2 & D'_2 \\ C'_1 & D'_1 & C_1 & D_1 \\ C'_2 & D'_2 & C_2 & D_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u^1 \\ u^2 \\ u^1 \\ u^2 \end{pmatrix} = 0, \quad (1)$$

где  $u_1, u_2, u'_1, u'_2$  – отклонения от положения равновесия атомов, принадлежащих одной из двух подрешеток и направленных вдоль базисных векторов  $\vec{e}_1$  и  $\vec{e}_2$ ;

$C_1, D_1, C'_1, D'_1, C_2, D_2, C'_2, D'_2$  – компоненты векторов сил, действующих на атом углерода со стороны соседних атомов, принадлежащим одной из двух подрешеток:

$$C_1 = \left( \kappa_f \cos(\gamma) \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} - \kappa_d \right) e_d^1 + \left( \kappa_f \cos(\gamma) \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\alpha)} - \kappa_e \cos(\alpha) \right) \left( e_d^1 - \frac{\sin(\alpha_{23})}{\sin(\alpha_{12})} \right) \quad (2)$$

$$C'_1 = e^{-ik_a} \left( \left( \kappa_d e^{ik_a} - \kappa_f \frac{\cos(\gamma)\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} \right) e_d^1 + \left( \kappa_e \cos(\alpha) e^{ik_b} - \kappa_f \frac{\cos(\gamma)\sin(\gamma)}{\sin(\alpha)} \right) \left( e_d^1 - \frac{\sin(\alpha_{23})}{\sin(\alpha_{12})} \right) \right) \quad (3)$$

$$C_2 = \left( \kappa_f \cos(\gamma) \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} - \kappa_d \right) e_d^2 + \left( \kappa_f \cos(\gamma) \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\alpha)} - \kappa_e \cos(\alpha) \right) \left( e_d^2 - \frac{\sin(\alpha_{13})}{\sin(\alpha_{12})} \right) \quad (4)$$

$$C'_2 = e^{-ik_a} \left( \left( \kappa_d e^{ik_a} - \kappa_f \frac{\cos(\gamma)\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} \right) e_d^2 + \left( \kappa_e \cos(\alpha) e^{ik_b} - \kappa_f \frac{\cos(\gamma)\sin(\gamma)}{\sin(\alpha)} \right) \left( e_d^2 - \frac{\sin(\alpha_{13})}{\sin(\alpha_{12})} \right) \right) \quad (5)$$

$$D_1 = \left( \kappa_f \cos(\beta) \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} - \kappa_d \cos(\alpha) \right) e_d^1 + \left( \kappa_f \cos(\beta) \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\alpha)} - \kappa_e \right) \left( e_d^1 - \frac{\sin(\alpha_{23})}{\sin(\alpha_{12})} \right) \quad (6)$$

$$D'_1 = e^{-ik_a} \left( \left( \kappa_d \cos(\alpha) e^{ik_a} - \kappa_f \frac{\cos(\beta)\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} \right) e_d^1 + \left( \kappa_e e^{ik_b} - \kappa_f \frac{\cos(\beta)\sin(\gamma)}{\sin(\alpha)} \right) \left( e_d^1 - \frac{\sin(\alpha_{23})}{\sin(\alpha_{12})} \right) \right) \quad (7)$$

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

$$D_2 = \left( \kappa_f \text{Cos}(\beta) \frac{\text{Sin}(\beta)}{\text{Sin}(\alpha)} - \kappa_d \text{Cos}(\alpha) \right) e_d^2 + \left( \kappa_f \text{Cos}(\beta) \frac{\text{Sin}(\gamma)}{\text{Sin}(\alpha)} - \kappa_e \right) \left( e_d^2 - \frac{\text{Sin}(\alpha_{13})}{\text{Sin}(\alpha_{12})} \right) \quad (8)$$

$$D'_2 = e^{-ik_a a} \left( \left( \kappa_d \text{Cos}(\alpha) e^{ik_a a} - \kappa_f \frac{\text{Cos}(\beta) \text{Sin}(\beta)}{\text{Sin}(\alpha)} \right) e_d^2 + \left( \kappa_e e^{ik_b b} - \kappa_f \frac{\text{Cos}(\beta) \text{Sin}(\gamma)}{\text{Sin}(\alpha)} \right) \left( e_d^2 - \frac{\text{Sin}(\alpha_{13})}{\text{Sin}(\alpha_{12})} \right) \right) \quad (9)$$

### Литература

1. А.И. Кочаев. 2D-наноакустика. (Ульяновск: УлГГУ. 2014).
2. А.В. Елецкий, И.М. Искандарова, А.А. Книжник, Д.Н. Красиков. Графен: методы получения и теплофизические свойства. УФН. Т. 181. № 3. С. 233-268 (2011).
3. С.П. Никитенкова, А.И. Потапов. Акустические свойства двумерных фоновых кристаллов с гексагональной симметрией. ВНТР. № 3 (31). С. 25-30 (2010).

## РАЗВИТИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ

***Попова А.В.<sup>1,2</sup>, Гончарова П.С.<sup>2</sup>, Криштон В.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск*

<sup>2</sup> *Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск*

*контактный тел: 8(914)5475724, e-mail: paveinr@mail.ru.*

Количество информации, перерабатываемое человечеством, возрастает ускоряющимися темпами. Для предоставления пользователям подобной услуги оптические системы связи прошли несколько этапов развития. При этом многие известные ранее эффекты нашли новое практическое применение в построении аппаратуры и специальных элементов. Таким образом, актуальным является анализ оптических эффектов и их характерных результатов, в том числе и в инфракрасном диапазоне.

Основной целью работы является анализ спектральных характеристик анизотропных веществ для оценки их применимости в системах передачи информации со спектральным уплотнением.

Интерференционно-поляризационные фильтры (ИПФ) представляют собой оптические приборы способные выделять очень узкие полосы пропускания за счет интерференции поляризованных лучей. Основным элементом конструкции являются анизотропные кристаллы, впервые описанные Э. Бартолином в 1669г, которые разделяют пришедший свет на два луча с ортогональными поляризациями. Впервые интерференционно-поляризационный фильтр был предложен Вудом в 1904 г. для выделения одной из компонент спектра желтого дублета натрия [1]. В результате прохождения разработанной конструкции спектр широкополосного оптического излучения преобразуется из сплошного в периодический. При этом значения длин волн пропускания и поглощения зависят от материала анизотропной пластины и ее размеров.

Развитием идеи применения фильтра Вуда является фильтр Лю-Эмана. Этот узкополосный фильтр является составным из несколь-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы ких элементарных ячеек Вуда с длинами кристаллов, возрастающих в геометрической прогрессии [1,2]. При этом выделяются частоты более чисто, подавляя промежуточные длины волн и уменьшая частоту ширину отдельных полос. Подобными свойствами обладают так же веерные и скрещенные фильтры Шольца, созданные из пластин равной толщины [3].

Дальнейшее развитие ИПФ связано с электрооптическими эффектами Покельса и Керра, наведенными в фильтре Вуда. Много исследований посвящено анализу поляризации получаемого света и пространственному распределению интенсивности по анализу коноскопических картин. В последнее время [4, 5] проводятся исследования, связанные с применением электрооптических эффектов в конструкциях фильтров Лио и Шольца. Это позволяет модулировать спектр пропускания при фиксированных длинах анизотропных кристаллах. Учитывая окна прозрачности кристаллов можно рассчитывать спектр пропускания разрабатываемых фильтров для S C или L диапазонов WDM систем [5].

#### Литература

1. А. Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский «Техника и практика спектроскопии» Издательство «Наука». Мостка 1972г.
2. Ярив А., Юх П. «Оптические волны в кристаллах»: пер с англ. – М: Мир 1987
3. Нагибина И.М. «Интерференция и дифракция света» Учебное пособие для приборостроительных вузов оптических специальностей. – Л.: Машиностроение, 1985г.
4. Гончарова П.С. Спектральные характеристики широкополосного излучения при электрооптической модуляции: автореферат дис. канд. ф.-м. наук / П.С. Гончарова. - Хабаровск: ДВГУПС, 2012.- 18с
5. Electro-optic modulation of broadband radiation for the infrared spectral range / P.S. Goncharova, A.V. Syuy\*, V.V. Krishtop. APCOM 2016.



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИМЕРА И  
ТРИМЕРА СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ  
ЕДИНИЦЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ УГЛЯ**

*Порохнов А. Н.*

*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово  
89133064540, porohnov@gmail.com*

Теоретические знания о структуре органической массе угля (ОМУ), о процессе переработки углей топливного и не топливного назначения, о превращениях, которые претерпевает уголь на всех стадиях процесса, необходимы для оптимального использования угля.

Целью данного исследования является построение димера и тримера органической массы угля на основе полученной ранее среднестатистической структурной единицы ОМУ (ССЕ ОМУ). Следует отметить, что впервые будет изучаться межмолекулярное взаимодействие при получении модели ОМУ. В свою очередь это позволяет выйти на физические свойства углей ведь как известно они следуют именно из межмолекулярного взаимодействия.

Методы компьютерного моделирования используются для анализа структуры и физико-химических свойств макромолекул ОМУ и имеют существенные преимущества, которые заключаются даже не столько в экономических затратах, сколько в фундаментальном понимании характера взаимодействий различной природы (ковалентная связь, донорно-акцепторная, водородная, Ван-дер-ваальсовая, и т.д.).

Для получения моделей димера и тримера необходимо учесть силы межмолекулярного взаимодействия. Данные силы учитываются через дисперсионную поправку на энергию. В работе использовали расчетную модель DFT-D3(BJ) [1], в которой дисперсионная поправка рассчитывается по формуле (1). Эта расчетная модель является одной из последних предложенных для учета дисперсионной поправки на энергию.

$$E_{disp}^{D3(BJ)} = -\frac{1}{2} \sum_{A \neq B} S_6 \frac{C_6^{AB}}{R_{AB}^6 + [f(R_{AB}^0)]^6} + S_8 \frac{C_8^{AB}}{R_{AB}^8 + [f(R_{AB}^0)]^8} \quad (1)$$

где  $f(R_{AB}^0) = a_1 R_{AB}^0 + a_2$

Прежде чем воспользоваться данной моделью необходимо определить свободные параметры  $a_1$  и  $a_2$ . Параметр  $a_2$  удобно приравнять к нулю. А параметр  $a_2$  определили как 7,16. Далее воспользовавшись программным пакетом Firefly [2] определили 3D модель димера ССЕ ОМУ (рис.1). Также определили основные энергетические характеристики для данной структуры такие как дисперсионная поправка на энергию ( $E_{\text{disp}}$ ) равная 75,3 ккал/моль и энергия связи ( $E_{\text{sv}}$ ), которая составила 111,6 ккал/моль.

Полученная нами модель позволяет сделать вывод о принципиальной возможности получения твёрдой фазы угля на основе данной ССЕ ОМУ

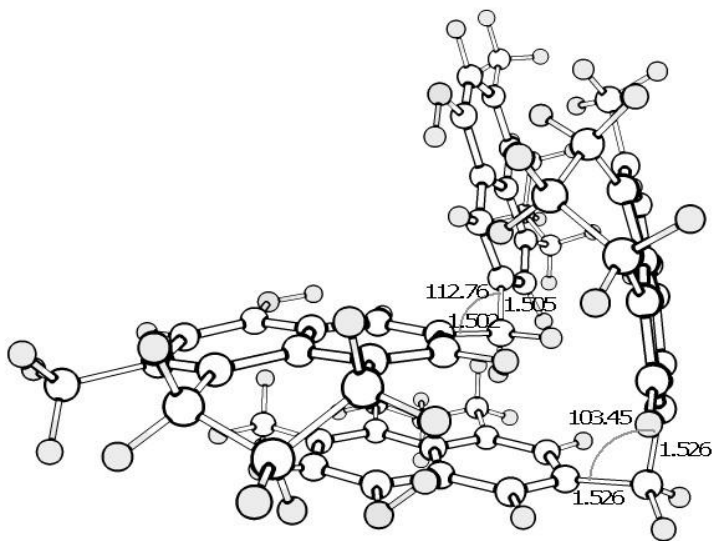


Рис.1. Димер (D2) ССЕ ОМУ

#### Литература

1.Grimme, S. Effect of the Damping Function in Dispersion Corrected Density Functional Theory / S. Grimme, S. Ehrlich, L. Goerick // Journal of Computational Chemistry. 2011. V. 32, P. 1456-1465.

2. Alex A. Granovsky. Firefly version 7.1.G: [сайт] URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html>

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ  $C_3N_5H_3O_4$  И TNDP**

***Празян Т. Л.<sup>1</sup>, Журавлев Ю. Н.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово  
8-960-935-3075, [Prazyan.tigran@yandex.ru](mailto:Prazyan.tigran@yandex.ru)

Компьютерное моделирование физико-химических свойств взрывчатых веществ является одним из наиболее эффективных методов исследования, который предшествует их синтезу.

Настоящая работа направлена на расчет электронных свойств, а также детонационных характеристик еще не синтезированных взрывчатых веществ, при подтверждении которых на эксперименте позволит прогнозировать такие свойства у новых энергетических материалов.

Объектами исследования в настоящей работе являются малоизученные и в настоящее время не синтезированные взрывчатые вещества  $C_3N_5H_3O_4$  (A1) и  $C_6N_5H_3O_6$  (TNDP), для которых произведено прогнозирование детонационных свойств.

Оптимизация параметров решетки осуществлялась с использованием пакета Quantum ESPRESSO [1]. В рамках теории функционала плотности в параметризации PBE для обменно-корреляционной энергии, методом псевдопотенциала вычислена полная энергия. Схема Гримма [2] использовалась для учета межмолекулярного взаимодействия, а также использовались ультрамягкие псевдопотенциалы для всех атомов. Оптимизированные параметры кристаллов в дальнейшем послужили для расчета электронных свойств в рамках гибридного функционала B3LYP пакета CRYSTAL14 [3]. Базис [4], используемый в пакете CRYSTAL14: C\_6-21G\*, H\_3-1p1G, N\_6-31d1G, O\_6-31d1.

Результатом настоящей работы являются полученные и рассчитанные следующие дискрипторы: N – число газообразных продуктов детонации на грамм взрывчатого вещества (моль/г),  $M_{ave}$  – средняя молекулярная масса (г/моль), Q – химическая энергия детонации (кДж/моль), определяемая по формуле

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

$$Q = -\frac{\Delta H_f^0(\text{product}) - \Delta H_f^0(\text{explosive})}{M(\text{explosive})}, \rho - \text{плотность (г/см}^3\text{)}, \text{ кислородный}$$

баланс  $OB_{100\%}$  (%), полная энергия  $E_{\text{total}}$  (кДж/моль), дисперсионная поправка для кристаллов  $E_{\text{disp}}$  (кДж/моль) и ширина запрещенной зоны  $E_g$  (эВ), а также усредненный заряд всех нитрогрупп  $Q_{NO_2}$  ( $e^-$ ), т.к. в каждом из объектов имеется по несколько групп  $NO_2$ . По ранее предложенным [5] формулам для расчета скорости детонации (1), детонационного давления (2) и чувствительности к удару (3):

$$D\left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right) = 161,0578 * N^{3,5} * M_{\text{ave}}^{1,5} * Q^{\frac{1}{8}} * \rho^3 + 6,2038 \quad (1)$$

$$P(\text{ГПа}) = 628,4131 * 10^{-6} * N^2 * M_{\text{ave}}^{3,5} * Q^{\frac{1}{3}} * \rho^5 + 16,4942 \quad (2)$$

$$H_{50\%}(\text{см}) = 367,425 * e^{-0,197 * E_g} + 0,294 * e^{21,194 * Q_{NO_2}^2} - 91,799 \quad (3)$$

скорость детонации, детонационное давление и чувствительность к удару исследуемых взрывчатых веществ А1 и TNDP составили 7.29 км/с, 29.6 ГПа, 112 см и 7.71 км/с, 28.2 ГПа, 191 см, соответственно.

Литература

1. P. Giannozzi, S. Baroni, N. Bonini. Quantum ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. J. Phys.: Condens. Matter. Vol.21. P.395502 (2009).

2. S. Grimme. Semiempirical GGA-type density functional constructed with a long-range dispersion correction. J. Comput. Chem.. Vol.27. P.1787-1799 (2006).

3. R. Dovesi, V.R. Saunders, C. Roetti, R. Orlando, C.M. Zicovich-Wilson, F. Pascale, B. Civalleri, K. Doll, N.M. Harrison, I.J. Bush, Ph. D'Arco, M. Llunell, M. Caus`a, Y. No`e. CRYSTAL14 User's Manual. Torino: University of Torino. P.382 (2014).

4. CRYSTAL Basis Sets Library [Электронный ресурс] URL: [http://www.crystal.unito.it/Basis\\_Sets/Ptable.html](http://www.crystal.unito.it/Basis_Sets/Ptable.html) (дата обращения 10.02.2017).

5. Т.Л. Празян. Исследование методами теории функционала плотности электронной структуры высокоэнергетических материалов. Сборник материалов XV Российской научной студенческой конференции "Физика твердого тела". С.203-205 (2016).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И СКОРОСТИ  
ДЕГРАДАЦИИ НАНОПОРИСТЫХ SiOCH LOW-K  
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВУФ ИЗЛУЧЕНИЯ В  
ОБЛАСТИ 140-160 НМ**

**Рахлинский В.В.<sup>1,2</sup>, Лопачев Д.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup> НИИЯФ МГУ, Москва

[VVPax@yandex.ru](mailto:VVPax@yandex.ru) +7-977-445-56-30

Объект изучения данной работы связан с развитием технологии производства микрочипов при характерном размере элементов менее 20 нм. Соединения элементов в микрочипах образуют многослойную структуру. Для обеспечения необходимого быстродействия, уменьшения энерговыделения и взаимосвязи элементов в качестве межслойного диэлектрика используются нанопористые диэлектрические пленки, обладающие низкой диэлектрической проницаемостью  $k$ , так называемые low-k диэлектрики. Наибольшее понижение значения диэлектрической проницаемости обеспечивает создание нанопор в пленках, с характерными размерами 2-5 нм. При этом для обеспечения гидрофобных свойств на поверхности пор располагаются гидрофобные терминаторные группы, как правило это  $-\text{CH}_3$ . В силу многих своих свойств наибольшее внимание приковано к low-k диэлектрикам на основе органосиликатного стекла, так называемые SiOCH low-k материалы.

В процессе создания межслойных соединений в пленках, последние подвергаются плазменному травлению. Под воздействием плазмы происходит деградация структуры low-k диэлектриков, при которой значительно увеличивается значение  $k$ , индуцируя отказы в работе чипа. При этом, если вклад ионов и радикалов в деградацию low-k материалов имеет поверхностный характер [1] и может быть частично нивелирован определенными технологиями с нанесением дополнительных поглощающих радикалы слоев материала внутрь пор, то при поглощении low-k диэлектриком ВУФ фотонов, проникающих глубоко в материал, происходит разрушение поверхностных  $\text{Si}-\text{CH}_x$  связей, а место  $-\text{CH}_x$  групп занимает гидроксил  $-\text{OH}$ , приводя к заметному повышению  $k$ . Наибольший урон нано-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 сит ВУФ излучение, которое находится на границе поглощения (~150-160 нм) low-k диэлектриков вследствие проникновения на большую глубину ~150-200 нм[2]. Поэтому изучение механизмов, проходящих в диэлектрике под воздействием ВУФ фотонов в диапазоне 140 – 160 нм, является важной научной и прикладной задачей.

Целью данной работы является определение сечений фотопоглощения low-k материалами на границе поглощения. Для этого с помощью разрядной водородной лампы и ВУФ монохроматора выделяется излучение необходимой длины волны, которым за различное время облучаются образцы low-k диэлектрика SBA 2.2, параметры которого представлены в таблице.

Таблица 1. Характеристики low-k диэлектрика SBA 2.2

Тип образца	Пористость	Размер пор	k
Spin-on	44 %	2,8 нм.	2,2

Для анализа изменений, произошедших в образце под действием ВУФ фотонов в зависимости от длины волны излучения и плотности их потока, используются метод ИК Фурье спектроскопии, который позволяет наблюдать изменения плотности отдельных ИК активных связей в материалах по изменению поглощения на длинах волн, соответствующих ИК поглощению данных связей. По скорости изменения различных связей (прежде всего поверхностных метильных групп  $-CH_3$ ) исследовались механизмы воздействия ВУФ на low-k диэлектрики и была получена зависимость сечения фотопоглощения SBA 2.2 от длины волны.

#### Литература

1. Hualiang Shi, Huai Huang, Junjing Bao, Junjun Liu, Paul S. Ho et al, J. Vac. Sci. Technol. B 30, 011206 (2012)<sup>[1]</sup><sub>SEP</sub>
2. T. V. Rakhimova, A. T. Rakhimov, Yu. A. Mankelevich, D. V. Lopaev, J. Phys. D: Appl. Phys. **47** 025102 (2014)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**AB INITIO ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОННОГО СПЕКТРА  
КРИСТАЛЛОВ  $V_{12}P_2$ .**

**Решетняк В.В.<sup>1</sup>, Маврин Б.Н.<sup>2</sup>, Медведев В.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «РнД-ИСАН, 108840 Москва Троицк, Россия

<sup>2</sup> Институт спектроскопии РАН, 108840 Москва Троицк, Россия  
Тел. +79251510071, e-mail: [viktor.reshetnyak84@gmail.com](mailto:viktor.reshetnyak84@gmail.com)

Кристаллы  $V_{12}P_2$  интересны для приложений электроники, радиационной медицины, энергетики и приборостроения. Для исследования  $V_{12}P_2$  и аналогичных по структуре и свойствам соединений бора, широко применяются методы ИК и КР спектроскопии.

Целью настоящей работы является ab initio расчет фононного спектра кристаллов  $V_{12}P_2$ . Расчет фононного спектра дает информацию обо всех частотах, в том числе не активных в ИК и КР, что необходимо для анализа стабильности и термодинамических свойств кристалла. Кроме того, результаты расчетов упрощают интерпретацию экспериментальных данных. На сегодняшний день расчет фононных спектров  $V_{12}P_2$  не представлен в литературе.

Расчет динамики решетки выполнялся в базисе плоских волн в пакете ABINIT [1] с использованием PAW псевдопотенциалов [2]. Взаимодействие электронов учитывалось в рамках приближения локальной плотности (LDA).

В таблице 1 представлены результаты расчетов частот в центре зоны Бриллюэна в сравнении с известными данными ИК и КРС спектроскопии. Как видно из таблицы 1, результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными. Заметим некоторое расхождение теоретических и экспериментальных результатов для КР-активных частот: пики, соответствующие теоретически предсказанным частотам  $823$  и  $1067$   $\text{см}^{-1}$  не наблюдались в [4] и других известных нам работах. Вероятно, это связано с низкой интенсивностью соответствующих пиков.

Дисперсия фононов была рассчитана в симметричных направлениях зоны Бриллюэна, соединяющих специальные точки: L-Г-T-X-Г. Отсутствие отрицательных частот свидетельствует о динамической стабильности кристалла. Спектр фононов характеризуется отсутстви-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
ем энергетической щели между оптическими и акустическими ветвями,  
которые перекрываются на границе зоны Бриллюэна.

Таблица 1. Фононные частоты  $B_{12}P_2$  в центре зоны Бриллюэна.

Моды, активные в ИК: LDA/Эксп.[3]		Моды, активные в КР: LDA/Эксп.[4]		Не активные в ИК и КР моды: LDA	
$A_{2u}$	331/338	$A_{1g}$	473/472	$A_{2g}$	416
	632/627		661/632		825
	874/856		777/794	$A_{1u}$	576
	940/920		1011/984		884
			1048/1061		

Таблица 1. Продолжение.

$E_u$	470/458	$E_g$	370/379		
	514/498		516/518		
	621/608		733/710		
	781/764		775/755		
	833/808		823/		
	1006/980		1007/1026		
			1067/		

### Литература

1. X. Gonze, et al. ABINIT: First-principles approach to material and nanosystem properties // *Comp. Phys. Commun.*, Vol. 180, P. 2582 (2009).
2. F. Jollet; M. Torrent & N. Holzwarth. Generation of Projector Augmented-Wave atomic data: A 71 element validated table in the XML format // *Comp. Phys. Commun.*, Vol. 185, P. 1246 (2014).
3. H. Werheit, et al. Optical properties of  $B_{12}P_2$  // *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 233, P. 121(1996).
4. Ovsyannikov S.V. et. al. Raman spectroscopy of  $B_{12}As_2$  and  $B_{12}P_2$  up to 120 GPa: Evidence for structural distortion // *PRB*, Vol. 81, 140103 (2010).



## **ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ГЕНЕРИРУЕМОГО ПЛАЗМЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ**

***Бакеев И.Ю., Зенин А.А.***

*Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск  
Тел. +7-953-923-17-26, e-mail bakeeviyu@mail.ru*

Электронные пучки в настоящее время находят широкое применения для термической обработки металлов (сварки, резки и др.) [1]. Форвакуумные источники могут производить подобные операции и над диэлектриками [2], в том числе и прецизионную обработку высокотемпературной керамики [3]. Наиболее простым способом изменения положения области электронно-лучевой обработки является отклонение электронного пучка магнитной системой. Целью данной работы являлось влияние параметров электронного пучка форвакуумного плазменного источника, в частности энергии электронов, на процессы его фокусировки при отклонении в горизонтальной плоскости.

Схема эксперимента представлена на рис. 1 а. Для генерации электронного пучка 1 использовался форвакуумный плазменный источник электронов 2, принцип работы которого подробно изложен в [2]. Измерение диаметра пучка осуществлялось методом «отклонения» [3, 4]: при прохождении пучка пары щелей 3 регистрировался сигнал коллектора 4, имеющий два пика при прохождении пучком первой и второй щели соответственно, по которым определялся диаметр пучка. В ходе эксперимента давление гелия составляло 30 Па, ток пучка – 5 мА.

Из полученных результатов видно, что при увеличении угла отклонения поперечный отклонению размер пучка (проекция на ось, перпендикулярную  $r$  в горизонтальной плоскости на рис. 1 а) не изменяется в пределах погрешности в то время, как продольный отклонению размер (проекция на ось  $r$  на рис. 1 а) монотонно растет. Ускоряющее напряжение существенно сказывается на зависимости диаметра пучка от угла отклонения: при большем напряже-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 ния увеличение продольного отклонению размера при росте угле отклонения происходит в заметно меньшей степени.

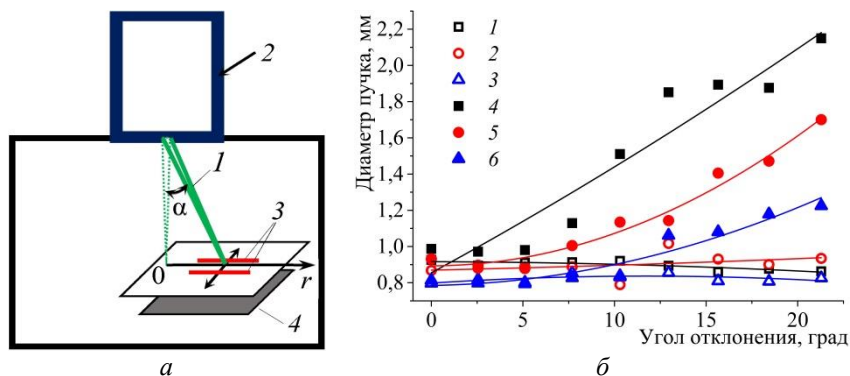


Рис.1. Схема и методика проведения эксперимента (а) и зависимости диаметра пучка от угла отклонения (б) при различных ускоряющих напряжениях  $U_a$ : кр. 1, 4 -  $U_a=12$  кВ; кр. 2, 5 -  $U_a=16$  кВ; кр. 3, 6 -  $U_a=19,5$  кВ; кр. 1-3 – поперечная отклонению проекция; кр. 4-6 – продольная отклонению проекция.

Работа поддержана грантами РФФИ № 17-08-00239 и РФФИ 16-38-60032.

#### Литература

1. В.Н. Алехнович, А.В. Алифанов, А.И. Гордиенко и др. Электронно-лучевая обработка материалов (Минск: Белорусская наука. 2006).
2. В.А. Бурдовицин, А.С. Климов, А.В. Медовник и др. Форвакуумные плазменные источники электронов (Томск: Изд-во Томского университета, 2014)
3. А.А. Зенин, И.Ю. Бакеев, Ю.А. Бурачевский и др. Особенности фокусировки электронного пучка плазменного источника в форвакуумном диапазоне давлений. Письма в ЖТФ. Том 42. Вып. 13. С.104-110 (2016)
4. С.Ю. Корнилов, Н.Г. Ремпе, А. Veniyash и др. О параметрах электронного пучка пушки с плазменным эмиттером. Письма в ЖТФ. Том 39. Вып. 19. С.1-8 (2013)

## **ИЗНОСОСТОЙКАЯ ВЫСОКОЧИСТАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

**Кузьмина О.В.<sup>1</sup>, Алексеев М.К.<sup>2</sup>, Бизин И.Н.<sup>2</sup>, Горчакова Л.И.<sup>2</sup>,  
Куликова Г.И.<sup>2</sup>, Саванина Н.Н.<sup>2</sup>, Шер Н.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

<sup>2</sup>АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина, г.Обнинск  
8-910-514-65-38, oksana\_kuzmina94@mail.ru

Современный уровень развития техники требует создания новых видов конструкционных материалов, обладающих стабильными показателями физико-химических характеристик. Одна из проблем современного материаловедения - разработка износостойкой керамики, которая обеспечит надёжную работу изделий в экстремальных условиях эксплуатации, например, в качестве футеровочных элементов помольных агрегатов, мелющих тел и бронеконструкций [1].

Основными требованиями к мелющим телам, которые используются для измельчения керамических масс, являются низкая истираемость и высокая химическая чистота исходных компонентов.

На сегодняшний день мелющих тел, диаметром более 20 мм с высоким содержанием оксида алюминия в промышленном масштабе в России не производят. Шары диаметром 40 мм с содержанием оксида алюминия 93,5 % масс. производит только ОАО «Поликор» (г. Кинешма). Однако в последнее время качество мелющих тел значительно ухудшилось: увеличилось содержание примесей, сконцентрированных, преимущественно, в поверхностном слое, наблюдается существенное отклонение от геометрических размеров, увеличился износ. В связи с этим, разработка технологии получения высокочистых корундовых мелющих шаров с низкой истираемостью весьма актуальна.

В настоящей работе опробован метод получения корундовых шаров диаметром 40 мм с применением технологии квазиизостатического формования высокочистых порошков глинозема «СТ 3000 LS SG» фирмы «Алматис» (Германия) и шихты ТСМ-303 (АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина») с

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы содержанием оксида алюминия 99,8 % масс. в первом порошке и 97,0 % масс. – во втором. При квазиизостатическом прессовании в качестве временной связки порошков может использоваться вода или водный раствор поливинилового спирта, удаление которых при термообработке не представляет технологической сложности.

Известно, что достоинства метода квазиизостатического прессования заключаются в равномерной передаче давления всему объему прессуемого изделия посредством эластичного материала [2].

Для реализации этого способа при формировании шаров диаметром 40 мм была использована специальная металлическая оснастка с полиуретановыми вставками – пресс-буфером из материала СКУ-7Л.

Формование мелющих тел из шихты, влажностью 5 - 6 %, выполняли при разных давлениях прессования в диапазоне 800 - 2400 кг/см<sup>2</sup>, обжиг проводился при температурах от 1560 °С до 1700 °С.

Установлено, что наибольшую плотность шаров из ТСМ-303 ( $\approx 3,73$  г/см<sup>3</sup>), минимальные значения пористости (до 0,04 %) и водопоглощения (0,01 %) обеспечивают прессование при давлении 2000 - 2400 кг/см<sup>2</sup> и обжиг при 1700 °С. Из глинозема «СТ 3000 LS SG», отличающегося высокой степенью уплотнения и активностью к спеканию, шары, плотностью до 3,91 г/см<sup>3</sup> получают при более низких давлениях прессования (800 – 1000 кг/см<sup>2</sup>) и температуре термической обработки 1600 °С.

#### Литература

1. Н.А. Макаров. Керамика для мелющих тел. Огнеупоры и техническая керамика. №1. с.34-42 (2006).

2. М.И. Тимохова. Некоторые особенности квазиизостатического прессования. Стекло и керамика. №1. с.20-25 (2002).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

**РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ  
СИНТЕЗА НАНОСТРУКТУР И ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ  
ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ  
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Салихов Р.В. , Яббарова Д.Р. , *руководитель: д.ф.-м.н.,  
Нагулин К.Ю.***

*Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А. Н. ТУПОЛЕВА, город Казань  
Конт. Тел: 89050233000, salikhov47@gmail.com*

Важнейшим приоритетом технологического развития всех передовых стран определены аддитивные технологии, которые, совместно с разработкой технологий синтеза порошковых материалов и композиций, составляют основу аддитивного производства (АП) [1]. Одной из ключевых проблем, сдерживающей развитие аддитивного производства в России, является отсутствие высококачественных порошковых материалов и их композиций для послойного синтеза изделий. Практически все порошки для технологий селективного лазерного плавления и большинство высококачественных порошковых материалов для лазерной наплавки производятся за рубежом, предопределяя критически важную импортозависимость России.

Для создания порошковых материалов нового поколения в настоящем проекте предлагается использовать метод плазменной обработки в индуктивно-связанной плазме (ИСП), который, благодаря отсутствию электродов и высокой энтальпии плазмы, идеально подходит для этой цели и позволяет осуществлять:

- 1) сфероидизацию исходно гранулированного порошка при его прохождении через плазму;
- 2) синтез частиц порошка путем управляемой конденсации паров исходного вещества в газовой фазе плазмохимического реактора;
- 3) создание композитных порошков, в которых, за счет плазмохимических реакций на металлическом ядре частицы, управляемым образом формируется слой нитрида, карбида,

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы оксида, и т.д.

В настоящее время в России активно развивается производство порошков из мономатериалов и однородных по составу сплавов методами газовой атомизации (пневматического или центробежного распыления расплавленной шихтовой заготовки). Однако, для производства градиентных по структуре порошковых материалов такие технологии неприменимы и необходимо использовать методы химического или газофазного осаждения, а также механического легирования в мельницах. Порошковым металлокерамическим материалам различных систем, полученных механическим легированием, присущи недостатки, обусловленные способом их получения, - частицы порошка имеют неправильную осколочную форму. Такие порошки имеют низкую текучесть, неравномерный гранулометрический состав и невысокий коэффициент использования. В то же время, АП предъявляет жесткие требования к качеству порошковых материалов, особенно по текучести и высокой однородности гранулометрического состава. Одним из перспективных методов изготовления высококачественных порошковых материалов различной степени дисперсности является их синтез в плазме высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда. Высокие температуры (десятки тысяч кельвинов) в плазменном факеле, его чистота и химическая инертность позволяют создавать широкий спектр порошковых, в том числе и градиентных материалов. Особенно ярко преимущества плазменной сфероидизации проявляются при работе с градиентными материалами, когда исходный порошок с частицами осколочной формы обрабатывают в струе плазмы, в результате чего частицы порошка приобретают правильную сферическую форму, без нарушения химического состава и объёмного распределения армирующих частиц. Плазменные технологии также позволяют создавать перспективные композиционные материалы типа ядро-оболочка. Сдерживающим фактором в развитии отечественных плазменных технологий изготовления высококачественных порошков является недостаточный объем базы фундаментальных знаний о процессах, протекающих в ходе синтеза. Все это приводит к невысокой воспроизводимости физико-химических свойств конечного продукта, особенно в случаях разработки градиентных материалов и сложных металлопорошковых композиций. Отсутствие полного фундаментального описания не только процессов, сопро-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы вожающих синтез порошков в плазмохимическом реакторе, но и их спекание в машине АП, вынуждает исследователей и технологов применять длительный и затратный подход эмпирической оптимизации технологии, работая методом «проб и ошибок». В этой связи, задача комплексного фундаментального исследования плазмохимического синтеза конструкционных и функциональных порошковых материалов является актуальной и научно значимой.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ договор №14.Z50.31.0023 и РФФИ, проект №14-29-(028)

#### Литература

1. Гуляев И.П. Применение низкотемпературной плазмы для получения полых керамических порошков с заданными характеристиками // Известия вузов. Физика. Применение низкотемпературной плазмы: модифицирование поверхности, плазмохимические, электроразрядные и другие технологии. - 2014. -Т.57, No.3/3. -С. 123-126.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ  
РЕШЕТКИ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ СИГНАЛОВ  
КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ**

***Сединкин Д.О., Петров Д.В., Заринов А.Р.***

*ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических  
систем СО РАН, Томск*

*89138670665, [Sedinkin.D.O@yandex.ru](mailto:Sedinkin.D.O@yandex.ru)*

На настоящий момент спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) света является активно развивающимся методом газоанализа [1]. Одним из вариантов повышения чувствительности таких приборов является использование эффекта гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Суть данного эффекта заключается в значительном возрастании (до  $10^{10}$  раз) сигналов КР молекул находящихся вблизи «шероховатой» металлической поверхности и связано, в частности, с усилением локального электромагнитного поля в приповерхностном слое металла.

В работе продемонстрирована возможность усиления сигналов КР от свободно ориентированных (неадсорбированных на поверхности) молекул газовой среды, расположенных вблизи простой голографической дифракционной решетки (период 625 нм, высота штрихов ~200 нм) с алюминиевым покрытием (~500 нм). На подобной решетке при обеспечении условий фазового синхронизма возможно возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) распространяющихся вдоль границы раздела металл/диэлектрик (газовая среда).

Экспериментальная проверка усиления сигналов КР проводилась на КР-спектрометре основанном на лазере с длиной волны 532 нм [1]. В ходе проведения экспериментов контролировалась интенсивность Q-ветви полосы КР азота ( $2331 \text{ см}^{-1}$ ), присутствующего в атмосферном воздухе, в зависимости от поляризации и угла падения лазерного излучения на поверхность решетки.

При использовании *P*-поляризации лазерного излучения наблюдалось значительное увеличение фонового излучения, при этом абсолютные величины сигналов КР азота оставались практически неизменными. В свою очередь, при использовании *S*-поляризации фоновое излучение было значительно меньше (рис. 1), причем при



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 угле падения  $\theta=34^\circ$  наблюдалось 6-ти кратное увеличение сигналов  
 КР азота. Мы полагаем, что второй результат, вероятнее всего, обу-  
 словлен локализованным плазмонным резонансом, возникающим  
 на неоднородностях на вершинах штрихов решетки.

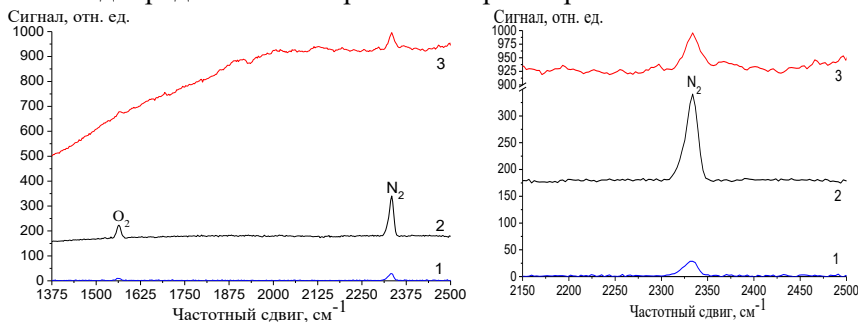


Рис. 1. Зарегистрированные спектры КР атмосферного воздуха, в случае, ко-  
 гда лазерное излучение: 1 – не взаимодействует с металлом (*S*- и *P*-  
 поляризация); 2, 3 – взаимодействует с дифракционной решеткой под углом  
 $\theta=34^\circ$  (*S*- и *P*-поляризация, соответственно).

Согласно зарегистрированным интенсивностям сигналов КР, а также глубины поля собирающего объектива и предположения, что усиление сигналов КР сохраняется на расстояниях до  $\sim 30$  нм от поверхности [2], усредненный коэффициент усиления сигналов КР вблизи поверхности решетки составил  $\sim 3 \times 10^3$ .

Проведенные эксперименты показали, что эффект ГКР может быть использован для увеличения интенсивности сигналов КР газовых сред. Мы полагаем, что полученный коэффициент усиления может быть существенно увеличен путем использования серебряного покрытия, а также путем подбора оптимальных параметров периодической структуры (форма и высота профиля, толщина металлического слоя).

#### Литература

1. D.V. Petrov, I.I. Matrosov. Raman gas analyzer (RGA): Natural gas measurements. Applied Spectroscopy. Vol.70. Issue 10. P. 1770-1776 (2016).
2. V.I. Kukushkin, A.B. Van'kov, I.V. Kukushkin. Long-range manifestation of surface-enhanced Raman scattering. JETP Letters. Vol.98. Issue 2. P.64-69 (2013).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ПОДАВЛЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В  
ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НЕЙТРОННОЙ ТРУБКИ**

**Степанов Д.С., Агафонов А.В., Школьников Э.Я.**

*НИЯУ МИФИ, г. Москва*

8-903-012-31-58, [DSStepanov@mephi.ru](mailto:DSStepanov@mephi.ru)

Генерация нейтронного потока в газонаполненных нейтронных трубках происходит благодаря бомбардировке обогащенной дейтерием и/или тритием титановой мишени пучком ускоренных до энергии 100 кэВ ионов дейтерия и/или трития. Этот процесс сопровождается вторичной ионно-электронной эмиссией с поверхности мишени. Эмитированные электроны ускоряются в ионно-оптической системе (ИОС) по направлению к источнику ионов, что может привести к существенному нарушению его работы. В этой связи необходимо рассмотреть способы уменьшения тока ускоренных вторичных электронов.

Для моделирования динамики заряженных частиц в ИОС был использован код KARAT [1], реализующий PIC метод моделирования плазмы. Давление рабочего газа в объеме ИОС (молекулярный дейтерий) считалось равным  $10^{-3}$  Торр. При взаимодействии с газовой средой учитывались процессы упругого рассеивания ионов и электронов на частицах газа, а так же их ионизация и возбуждение. Значения сечений упругого рассеяния, ионизации и возбуждения атомов дейтерия брались из [2, 3]. На поверхности мишени моделируется вторичная ионно-электронная эмиссия. Для пучка дейтронов с энергией 100 кэВ, падающего на титановую мишень под прямым углом, вторичная эмиссия характеризовалась коэффициентом вторичной эмиссии  $\gamma = 1$  [4].

Моделирование проводилось для плоской геометрии ИОС с магнитным подавлением вторичных электронов (рис. 1) и аксиально-симметричной геометрии с электростатическим подавлением электронов (рис. 2).

В первом варианте ИОС распределение магнитного поля подобрано таким образом, чтобы исключить проникновение вторичных электронов из мишени в объем источника ионов (рис. 3). Максимальное значение индукции магнитного поля в этом случае соответствует 1500 Гс. Во втором варианте ИОС локализация вторич-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
ных электронов вблизи мишени осуществляется электрическим  
полем дополнительного электрода.



Рис. 1. Плоская ИОС: 1 – резонатор, 2 – извлекающий электрод, 3 – мишень, 4 – выходное отверстие, 5 – подавляющие магниты



Рис. 2. Аксиально-симметричная ИОС: 1 – резонатор, 2 – извлекающий электрод, 3 – запирающий электрод, 4 – мишень, 5 – выходное отверстие

В этом варианте рассматривалась мишень, расположенная под углом к пучку, что приводит к увеличению коэффициента  $\gamma$  до 5. Как видно из рис. 3, 4, во второй конструкции вторичные электроны разворачиваются по направлению к мишени раньше, чем в случае магнитного запираения, поэтому их плотность вблизи мишени на 1.5 порядка выше. В целом же, в рассматриваемых конструкциях ИОС происходит полное запираение пучков вторичных электронов.

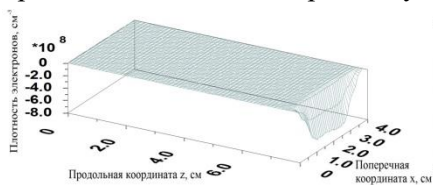


Рис. 3. Распределение плотности вторичных электронов плоской ИОС



Рис. 4. Распределение плотности вторичных электронов аксиально-симметричной ИОС

### Литература

1. Tarakanov V.P., «User's Manual for Code KARAT», BRA Inc., Va, USA, (1992)
2. Jung-Sik Yoon, Young-Woo Kim, Deuk-Chul Kwo, etc. Electron-impact cross sections for deuterated hydrogen and deuterium molecules. Rep. Prog. Phys. 2010, 73, с. 21
3. Janev R. K., Presnyakov L. P., Collision processes of multiply charged ions with atoms, "Phys. Repts", 1981, v. 70, №1;
4. Брусиловский Б.А. Кинетическая ионно-электронная эмиссия. Москва, Энергоатомиздат, 1990, с. 184.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ СТОЙКОСТИ ГРАДИЕНТНО  
АКТИВИРОВАННОГО КРИСТАЛЛА С ДВОЙНЫМ  
ЛЕГИРОВАНИЕМ  $\text{LiNbO}_3:\text{Mg,Cr}$**

***Судариков К.В., Рассейкин Д.А., Строганова Е.В., Галуцкий В.В.***

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар  
+7 (966) 206-01-27, [ksудариков91@gmail.com](mailto:ksудариков91@gmail.com)

Использование оптических кристаллов ниобата лития в качестве основного компонента фотоники и оптоэлектроники (PPLN, активные лазерные элементы и т.д.) определяет требования повышенной лучевой стойкости данных материалов. В работе представлены результаты исследований лучевой стойкости ниобата лития, в котором концентрация ионов магния плавно изменяется вдоль оси роста кристалла от 7 ат.% до 3 ат.%, а концентрация хрома от 0,036 ат.% до 0,035 ат.%.

На рис.1 представлена схема проведения эксперимента, суть которого заключалась в съёмке процесса воздействия лазерного излучения на поверхность кристалла при помощи камеры высокого разрешения.

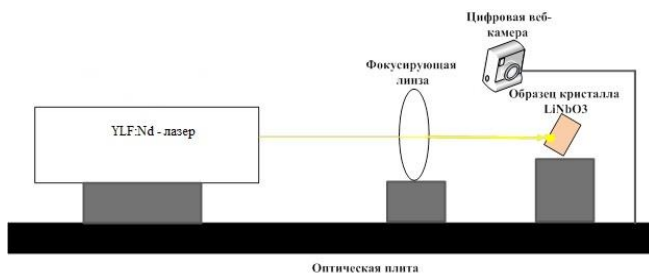


Рис.1. Схема проведения эксперимента

Процесс съёмки воздействия лазерного излучения (YLF:Nd-лазер,  $\lambda = 1053$  нм, частота следования импульсов 1кГц, длительность импульса 7 нс) на поверхность кристалла обрабатывался с помощью специально разработанного алгоритма и программы с целью расчёта площади поверхности пятна прожига [1]. На рис. 2 представлен результат корреляции полученных значений энергии прожига поверхности кристалла с изменением концентрации антифо-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы торефрактивной примеси магния в градиентно активированном кристалле ниобата лития. Расчёты проводились в соответствие с уравнением:

$$E_e = \frac{\partial \Phi_e}{\partial S} = \frac{0.8 E_{\text{имп}} * \nu * \rho_r * \partial t}{\tau * \partial S}$$

где:  $E_e$  - поверхностная плотность потока энергии,  $E_{\text{имп}}$  – энергия одного импульса,  $\nu$ - частота лазерного импульса,  $\rho_r$  – коэффициент отражения от поверхности кристалла,  $t$  – время прожига,  $\tau$  – длительность одного импульса,  $S$  – площадь пятна прожига.

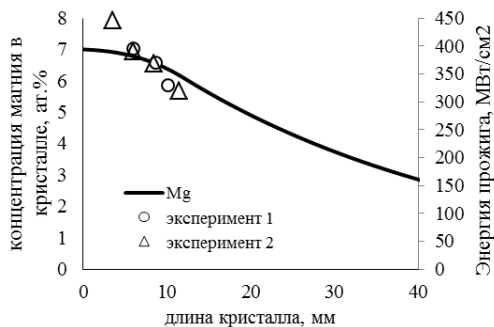


Рис.2. Корреляция энергии прожига кристалла и концентрационного профиля антифорефрактивной примеси  $\text{Mg}^{2+}$  в  $\text{LiNbO}_3$  ( $R=0,97$ )

Проведённые исследования показали, что разработанный алгоритм расчёта и анализа лучевой стойкости градиентно активированных кристаллов может использоваться для экспресс-методики оценки оптического качества материалов.

#### Литература

1. Е.В. Странова, К.В. Судариков, Д.А. Расейкин, В.В. Галуцкий. IV Международная конференция по фотонике и информационной оптике.- 2015 С.54-55.

## СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ $TbNi_{2-x}Mn_xSi_2$

Суслопарова А.Е.<sup>1\*</sup>, Герасимов Е.Г.<sup>1,2</sup>, Волегов А.С.<sup>1,2</sup>,  
Сёмкин М.А.<sup>1,2</sup>, Пирогов А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета, г. Екатеринбург*

<sup>2</sup> *Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург*

8-982-624-80-10, susloparovanna@mail.ru

Структура соединений  $TbNi_{2-x}Mn_xSi_2$  представляет собой тетрагональную структуру типа  $ThCr_2Si_2$  (пространственная группа  $I4/mmm$ ), причём атомы одного сорта расположены в несмешивающихся атомных слоях, чередующихся вдоль  $c$ -оси в строгой последовательности Tb-Si-Mn-Si-Tb, рисунок 1. Атомы Tb, Ni/Mn и Si

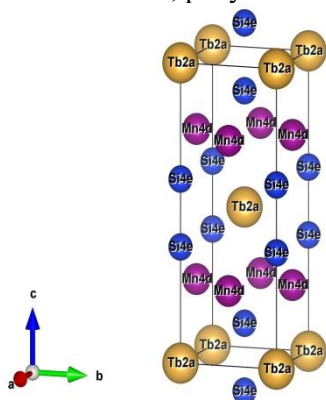


Рис.1. Кристаллическая структура соединений  $TbNi_{2-x}Mn_xSi_2$

занимают в кристаллической решетке позиции  $2a$  (0, 0, 0),  $4d$  (0, 1/2, 1/4) и  $4e$  (0, 0, 0.38) соответственно. Согласно [1] соединение  $TbMn_2Si_2$  имеет коллинеарную антиферромагнитную структуру во всем интервале температур ниже температуры Кюри  $T_C \approx 100$  К, тип межслойного магнитного упорядочения спинов марганца, зависит от межатомного Mn-Mn расстояния  $d_{Mn-Mn}$  и знак обменного взаимодействия положительный, когда межатомное Mn-Mn рассто-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы яние больше критического значения  $d_c = 2.86 \text{ \AA}$ , и отрицательный, когда меньше его. Результаты исследования [2] показывают, что ниже 90 К  $\text{TbMn}_2\text{Si}_2$  имеет две ферромагнитные подрешетки, антиферромагнитно связанные между друг другом. При 97 К ферромагнитный слой марганца переходит в антиферромагнитный, в то время как структура тербия становится неупорядоченной при 100 К.

Соединение  $\text{TbNi}_2\text{Si}_2$  обладает амплитудно-модулированной структурой ниже  $T_N = 15 \text{ К}$  с волновым вектором магнитной структуры  $\mathbf{k} = (0.5+\tau, 0.5-\tau, 0)$ ,  $\tau \approx 0.074$ . При температуре ниже  $T_I = 9 \text{ К}$  эта структура переходит в соизмеримую фазу с волновым вектором  $\mathbf{k} = (0.5, 0.5, 0)$ . В обеих фазах магнитные моменты Tb ионов ориентированы вдоль  $c$ -оси из-за сильного эффекта кристаллического электрического поля [3]. Атомы никеля немагнитны. Приложение внешнего магнитного поля сопровождается пятью последовательными метамагнитными фазовыми переходами [4]. Нами исследовались образцы состава  $\text{TbNi}_{2-x}\text{Mn}_x\text{Si}_2$ , где  $x = (0, 0.2, 0)$  с шагом 0.2. По данным рентгенограмм замещение ионов Ni на Mn приводит к изменениям параметров решётки, в следствие чего изменяются их магнитные свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт с УрФУ № 3.6121.2017) и программой «Поток» № 01201463334.

1. I. S. Dubenko, I. Yu. Gaidukova, and et. al. Magnetic phase transition in  $(\text{Tb}, \text{Y})\text{Mn}_2\text{M}_2$  ( $\text{M}=\text{Ge}$  and  $\text{Si}$ ) systems. J. Appl. Phys. Vol.93 Issue 10. P. 8185-8187 (2003).

2. M. Kolenda, J. Leciejewicz, and et. al. Magnetic transition in  $\text{TbMn}_2\text{Si}_2$ . J. All. Comp. Vol.241. Issue 1-2. P. L1-L3 (1996).

3. T. Shigeoka, H. Fujii, and et. al. Metamagnetism in  $\text{TbNi}_2\text{Si}_2$  Single Crystal. J. Phys. Soc. Jap. Vol.61 Issue 12. P. 4559-4567 (1992).

4. J. A. Blanco, D. Gignoux, and et. al. Commensurate and incommensurate magnetic phases in tetragonal  $\text{PrNi}_2\text{Si}_2$  and  $\text{TbNi}_2\text{Si}_2$ . J. Magn. Mater Vol.104-107 P. 1273 (1992).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ГИБРИДНЫЕ  $sp^2+sp^3$  УГЛЕРОДНЫЕ ФАЗЫ,  
ПОЛУЧАЮЩИЕСЯ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ  
ОДНОСЛОЙНЫХ НАНОТРУБОК**

***Тиньгаев М.И.<sup>1</sup>, Беленков Е.А.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Челябинский государственный университет, Челябинск  
+7(351)799-71-17, tingaevmi@yandex.ru*

Углеродные материалы могут состоять из атомов в состояниях с одинаковой или различной гибридизацией электронных орбиталей внешней оболочки [1]. Из материалов второй разновидности наиболее перспективными являются гибридные  $sp^2+sp^3$  углеродные соединения. Такие структуры должны обладать промежуточными свойствами между графитом и алмазом, так как из  $sp^2$  атомов сформирован графит, а из  $sp^3$  – алмаз. Изменяя соотношение атомов с различной гибридизацией, можно получать материалы с требуемыми свойствами. В данной работе теоретически исследован ряд гибридных  $sp^2+sp^3$  углеродных фаз, структура которых была модельно построена по методике из работы [2].

Структура гибридных фаз была получена при сшивке жгутов однослойных углеродных нанотрубок (рис.1). Сшивка выполнялась частично, то есть дополнительные ковалентные связи образовывались не у всех атомов на поверхности нанотрубки. Атомы, сшивка для которых не произошла, остались в состоянии  $sp^2$  гибридизации, сшитые атомы перешли в  $sp^3$  гибридизированные состояния. Полученные в результате сшивки структуры (рис.1.b) подвергались геометрической оптимизации, после чего получалась конечная структура гибридных фаз. Расчеты выполняли методом теории функционала плотности (DFT) в градиентном приближении (GGA).

Для построения структуры гибридных фаз были использованы зигзаг нанотрубки от (3,0) до (12,0) и кресло нанотрубки от (2,2) до (6,6). Координация нанотрубок в жгутах была три, четыре или шесть. В результате были построены 32 гибридных углеродных фазы на основе зигзаг нанотрубок и 13 фаз на основе кресло нанотрубок. Геометрическая оптимизация построенных соединений показала, что не все из них оказываются устойчивыми. Структура части фаз разрушилась. Устойчивыми оказались только 38 фаз. Для



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы этих фаз были рассчитаны структурные параметры, энергии сублимации, плотности, зонные структуры и плотности электронных состояний.

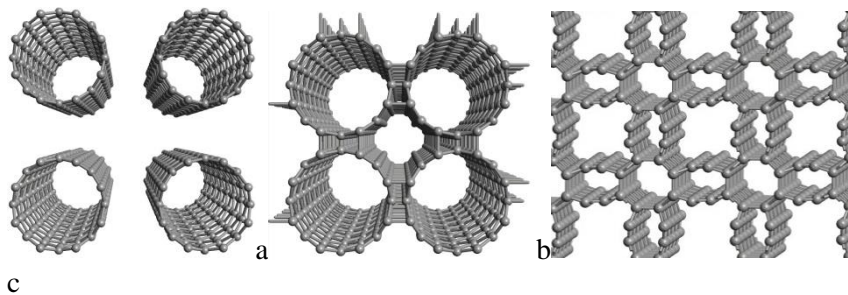


Рис.1. Схема модельного построения структуры  $sp^2+sp^3$  углеродных фаз: (а) исходный жгут нанотрубок; (б) частичная сшивка жгута нанотрубок; (с) структура фазы после геометрической оптимизации

Установлено, что энергии сублимации гибридных фаз ниже, чем для графита и алмаза, однако находятся в диапазоне значений характерных для углеродных материалов устойчиво существующих при нормальных условиях. Большинство изученных фаз являются полупроводниками – ширина запрещенной зоны на уровне энергии Ферми составляет от 1.5 до 3.3 эВ. У остальных фаз ширина зоны равна нулю и они, вероятно, обладают свойствами проводников.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

#### Литература

1. Е.А. Belenkov, V.A. Greshnyakov Classification of structural modifications of carbon. Physics of the Solid State. Vol.55, Issue 8. P.1754-1764 (2013).

5. Е.А. Беленков, М.И. Тиньгаев Структура новых  $sp^2+sp^3$  гибридных углеродных фаз, получаемых совмещением (n,n) однослойных углеродных нанотрубок. Письма о материалах. Т.5. № 1. С.15-19 (2015).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ  
СТРУКТУРОНОЙ РЕЛАКСАЦИИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ  
ЖЕЛЕЗА**

***Н. В. Ильин<sup>1</sup>, В.В. Ткачев<sup>1</sup>, А.К. Цесарская<sup>1</sup>, Г.С. Крайнова<sup>1</sup>,  
В.С. Плотников<sup>1</sup>, А.М. Фролов<sup>1</sup>, С.В. Должиков<sup>1</sup>, А. Н. Федорец<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Дальневосточный Федеральный Университет г.Владивосток  
[Tkachev.vv@dvfu.ru](mailto:Tkachev.vv@dvfu.ru) +79242317581*

Нанокристаллические магнитомягкие материалы на основе Fe с добавлением Cu и Nb, а также аморфизирующих элементов Si и В представляют собой сплавы со смешанной аморфно-кристаллической структурой. Для таких сплавов характерно сочетание значений магнитной индукции  $B_s > 1,2$  Тл с гистерезисными магнитными свойствами, обеспечивающими малые потери на перемагничивание, высоким значением проницаемости, что является основным требованием для использования данных материалов в сердечниках трансформаторов, датчиках, переключателях и других устройствах. Важно, что нанокристаллические материалы обладают высокой коррозионной стойкостью.

В данной работе исследованы рентгеноаморфные ленты сплава Fe-Cu-Nb-Si-B различного состава, полученные методом быстрой закалки на медный диск. Толщина лент  $\sim 25$  мкм, ширина  $\sim 10$  мм. Проведен сравнительный анализ изменения магнитных свойств спиннингованных лент при ступенчатом отжиге со скоростью 10 град/мин до температур 7500С с применением метода вибрационного магнитометра (в поле 950 Э).

Детальное изучение кривых изменения относительного значения намагниченности насыщения  $I_s / I_{s0}$  позволяет выявить различные сценарии процессов структурной релаксации аморфно-нанокристаллических сплавов, рис.1 и рис. 2. Обнаружено монотонное изменение магнитного момента сплавов вплоть до нулевого значения на первом этапе отжига до  $T_{отж} = (300 - 475)^0C$  в зависимости от состава. Ранее проведенные исследования показывают, что данную температуру перехода в парамагнитное состояние можно интерпретировать как  $T_{сам}$  – температуру Кюри аморфного сплава. Увеличение магнитного момента при дальнейшем отжиге с

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  $T_m = 425^{\circ}\text{C}$  ( $\text{FeCu}_1\text{Si}_{16}\text{B}_6$ ) и  $T_m = 550^{\circ}\text{C}$  ( $\text{FeCu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{16}\text{B}_6$ ) связано с наличием магнитного фазового перехода парамагнетик – ферромагнетик, сопровождающегося кристаллизацией спиннингованной ленты. Увеличение концентрации Nb, рис. 1, понижает  $T_{\text{сам}}$ , повышает температуру  $T_m$  второго фазового перехода. Для спиннингованной ленты с максимальным содержанием Nb (5%) переход в равновесное состояние не зафиксирован. Сплав  $\text{FeCu}_1\text{Si}_{16}\text{B}_6$  имеет  $T_{\text{сам}} > T_{\text{кр}}$  – температуры начала кристаллизации, при этом, наличие перегибов на кривой  $I_s / I_{s0} = f(T)$  в области высоких температур показывает двухстадийное образование зародышей. Это является подтверждением того, что процесс нанокристаллизации проходит по полиморфному механизму. Одностадийное образование зародышей кристаллической фазы сплава  $\text{FeCu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{16}\text{B}_6$  отражает переход в равновесное состояние по типу первичной кристаллизации.

Все исследованные сплавы в исходном состоянии имеют  $H_c < 1\text{Э}$ . Для закристаллизовавшихся после отжига спиннингованных лент выявлено увеличение  $H_c$  на 2 порядка, и уменьшение коэрцитивной силы для лент, структурная релаксация которых прошла в рамках аморфного состояния.

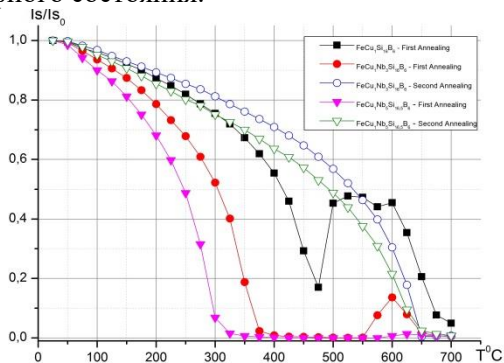


Рис.1. Относительное значение намагниченности насыщения для серии с различным содержанием ниобия.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ  
ПОЛЕЙ В ГРАДИЕНТНО АКТИВИРОВАННЫХ  
КРИСТАЛЛАХ YAG:Yb<sup>3+</sup>**

**Ткачев Д.С., Строганова Е.В., Галуцкий В.В.**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»  
+7-903-44-99-339, dimtkachev@gmail.com

Одними из наиболее существенных факторов, ограничивающих эффективность генерации и качество выходного излучения мощных твердотельных лазеров с диодной накачкой, являются термонаведенные оптические эффекты, такие как термолинза и термодвулучепреломление.

Для снижения воздействия тепловых эффектов используют в качестве активных элементов лазерные керамические стержни состоящих из набора сегментов с различной концентрацией оптических центров [1]. Для дисковых лазеров создают дополнительную слоистую структуру на торце с целью максимального распределения теплового поля внутри активного элемента [2].

К дальнейшему снижению тепловой нагрузки на активный элемент и уменьшению влияния термооптических эффектов может привести использование кристаллов с неоднородным распределением оптических центров.

Для расчета распределения оптического поля по координатам кристалла была рассмотрена система дифференциальных уравнений (1)[1], а так же математический пакет COMSOL Multiphysics.

$$\frac{\partial I^{+(-)}(z,t)}{\partial z} = -(+)\sigma * (f_a * N_0(z,t) - f_b * N_1(z,t)) * I^{+(-)}(z,t)$$
$$\frac{\partial N_1(z,t)}{\partial t} = \sigma * (f_a * N_0(z,t) - f_b * N_1(z,t)) * \frac{I^+ + I^-}{h\nu} - \frac{N_1(z,t)}{\tau} \quad (1)$$
$$N_i(z) = N_0(z,t) + N_1(z,t)$$

На рис.1 представлен результат численного моделирования распределения температурного поля(в градусах Кельвина) в дисковом АЭ, что позволяет изменяя начальные условия, такие, как распре-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
деление оптических центров, моделировать механические напряжения  
внутри АЭ и следить за термооптическими эффектами.

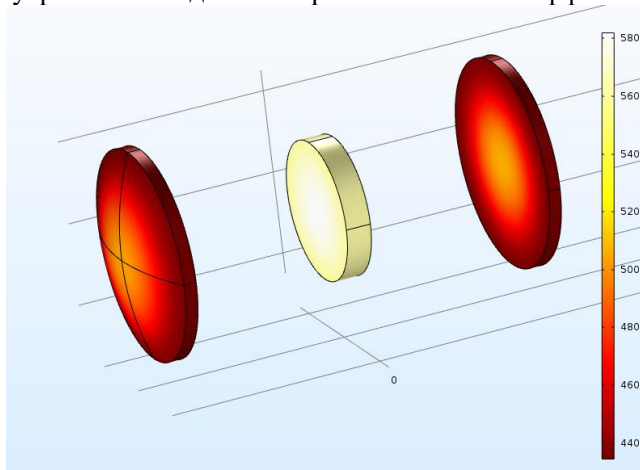


Рис.1. Результат распределения теплового поля в системе двух линз и  
дискового АЭ

#### Литература

1. Fan T. Y. Optimizing the efficiency and stored energy in quasi-three-level lasers / T. Y. Fan // IEEE journal of quantum electronics. December 1992. Vol. 28. №12, pp. 2692-2697.
2. Кравцов Н. В. Основные тенденции развития твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой / Н. В. Кравцов // Квантовая электроника. – 2001. -№31. –С. 661-677.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО  
ПОГЛОЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННОМ АЛЮМИНИЕМ  
КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА**

***Токмашев Т.Д., Дю В.Г., Соколов Д.В., Пашелов С.Г.***

*Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники, г. Томск.  
тел.: +79832305521, e-mail: priplushed@gmail.com*

Воздействие света из видимой и ближней ИК области спектра на фоторефрактивные кристаллы класса силленитов приводит к обратимому изменению оптического поглощения (фотохромному эффекту) [1].

В данном сообщении представлены результаты исследований динамики фотоиндуцированного поглощения, наблюдаемой в легированном алюминии кристалле титаната висмута ( $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ ) на фиксированной длине волны  $\lambda_p=655$  нм, при воздействии на него пакетом лазерных импульсов с длиной волны  $\lambda_i=532$  нм и с варьируемой длительностью.

Было получено, что для исследуемого кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$  наблюдается рост фотоиндуцированного поглощения света за время воздействия излучением с  $\lambda_i=532$  нм, составляющее  $\sim 125$  мс (рисунок 1). Далее наблюдалась релаксация изменений в поглощении кристалла для излучения с длиной волны из красной области спектра. Из экспериментов было установлено, что значение интенсивности красного света, используемого для регистрации динамики, влияет на величину наведенных изменений в поглощении, а также на время их релаксации. Так, при его интенсивности  $96$  мВт/см<sup>2</sup> возвращение поглощения к начальному уровню после воздействия пакета импульсов индуцирующего зеленого излучения в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$  составило  $t_r \sim 45$  с (рис. 1, а), а при интенсивности  $223$  мВт/см<sup>2</sup> –  $t_r \sim 15$  с (рис. 1, б).

Для моделирования динамики изменения оптического поглощения, индуцированного пакетом импульсов, была разработана методика численного анализа, основанная на аппроксимации одноэкспоненциальной функцией для этапа роста поглощения, и двухэкспоненциальной – на этапе релаксации. Подгонка под эксперимен-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 тальные данные используемых теоретических зависимостей, пред-  
 ставленных на рис. 1 сплошными кривыми, проводилась с исполь-  
 зованием метода наименьших квадратов.

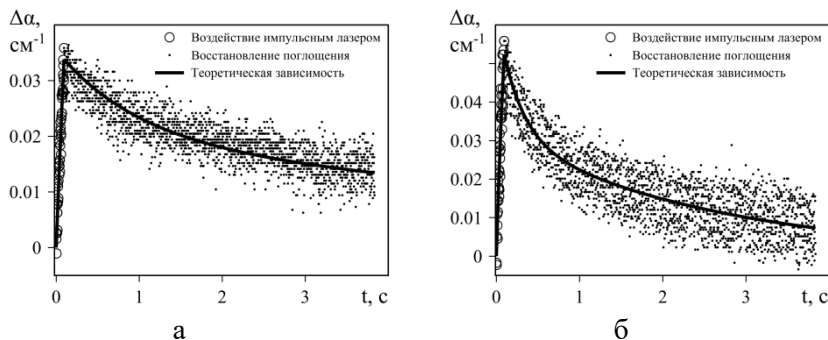


Рис. 1. Временные зависимости изменений коэффициента поглощения на длине волны 655 нм с интенсивностями 96 (а) и 223 мВт/см<sup>2</sup> (б), индуцированных в кристалле  $\text{V}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Al}$  пакетом наносекундных лазерных импульсов на длине волны 532 нм

Таким образом, получено, что при облучении кристалла  $\text{V}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Al}$  импульсным излучением с длиной волны 532 нм наблюдается обратимое увеличение оптического поглощения на длине волны 655 нм. При этом, величина наведенных изменений и время восстановления оптического поглощения зависит от интенсивности зондирующего излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по госзаданию на 2017 – 2019 гг. и РФФИ (грант 16-29-14046-офи\_м).

#### Литература

1. В.К. Малиновский, О.А. Гудаев, В.А. Гусев, С.И. Деменко. Фотоиндуцированные явления в силленитах. (Новосибирск: Наука. 1990).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ПО КОМПОНЕНТАМ  
ВОЛНОВОГО ВЕКТОРА В РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРОННОЙ  
СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ**

**Филиппов Д.И.<sup>1</sup>, Гордиенко А.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово  
+79236132303, [filippovdaniil@gmail.com](mailto:filippovdaniil@gmail.com)

Задача расчета точных производных по компонентам волнового вектора изучается уже достаточно долгое время [1,2], но остается актуальной и в наши дни [3]. Сложность таких расчетов состоит в том, что рассматриваемая зависимость обычно является неявной, т.к. дифференцируемая величина является результатом предшествующих вычислений для заданного вектора  $\mathbf{k}$ .

Целью данной работы была разработка метода расчета аналитических производных  $E_{n\mathbf{k}}^{k_\alpha, k_\beta}$  полной энергии, полученной в рамках теории функционала плотности, с использованием базиса численных псевдоатомных орбиталей (ПАО) [4]. Вследствие того, что данный базис является неортогональным и неполным, выражение для производных, которое дает теорема Геллмана-Фейнмана, становится неприменимым. Для достижения поставленной цели были получены соответствующие расчетные формулы (путем прямого дифференцирования основного уравнения зонной теории) и получены значения эффективных масс электронов для ряда соединений по известному соотношению

$$m_{\alpha, \beta}^* = (E_{n\mathbf{k}}^{k_\alpha, k_\beta})^{-1}. \quad (1)$$

В качестве объектов исследования были выбраны моноатомные кристаллы Si и C, а также бинарные соединения CaO, CdO, GaAs и AlAs. В таблице 1 приведены полученные собственные значения матриц аналитических и численных вторых производных энергии для кристаллов Si и C в точке, соответствующей дну зоны проводимости. Численные производные были посчитаны разностным методом, на основе аналитических градиентов, с шагом  $h = 10^{-7}$ .



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 Таблица 1. Собственные значения гессиана для кристаллов Si и C ( $n = 5$ )

	Расчет	Дно зоны проводимости		
Si	Аналитический	1,002706 <b>49</b>	5,188801 <b>24</b>	5,188801 <b>28</b>
	Численный	1,002706 <b>60</b>	5,188801 <b>30</b>	5,188801 <b>30</b>
C	Аналитический	0,626594 <b>19</b>	3,008069 <b>55</b>	3,008069 <b>56</b>
	Численный	0,626594 <b>30</b>	3,008069 <b>50</b>	3,008069 <b>60</b>

Видно, что данные значения совпадают с большой точностью, что указывает на корректность реализации метода.

Значение эффективной массы электронов на примере ионного кристалла CdO составило  $m^* = 0,10$  для LDA приближения и  $m^* = 0,23$  для GGA. Экспериментальное значение эффективной массы электронов для CdO составляет  $m^* = 0,20$  [5], что хорошо согласуется с полученным результатом для GGA приближения.

Таким образом, в настоящей работе для расчетов, использующих локализованный базис ПАО, был разработан и реализован метод вычисления аналитических производных одноэлектронных энергий по компонентам волнового вектора.

#### Литература

1. J. Luttinger, W. Kohn. Motion of Electrons and Holes in Perturbed Periodic Fields. Phys. Rev. Vol.97. P.869-883 (1955).
2. E.O. Kane. Band structure of indium antimonide. Journal of Physics and Chemistry of Solids. Vol.1. P.249-261 (1957).
3. J.J. Laflamme, Y. Gillet, S. Ponc'e, X. Gonze. Precise effective masses from density functional perturbation theory. Phys. Rev. B. Vol.93. P.205147 (2016).
4. R.W. Jansen, O.F. Sankey. Ab initio linear combination of pseudo-atomic-orbital scheme for the electronic properties of semiconductors: Results for ten materials. Phys. Rev. B. Vol.36. P.6520 (1987).
5. H. Dixit, R. Saniz, R. Cottenier, B. Partoens. Electronic structure of transparent oxides with the Tran–Blaha modified Becke–Johnson potential. J. Phys.: Condens. Matter. Vol.24. P.205503 (2012).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МДП-СЕНСОРОВ  
К ПАРАМ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА И  
ТЕТРАОКСИДА АЗОТА**

***Филипчук Д.В.<sup>1</sup>, Литвинов А.В.<sup>1</sup>, Этрекова М.О.<sup>1</sup>, Ноздря Д.А.<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,  
Москва*

*<sup>2</sup>ООО НПФ «ИНКРАМ», Москва  
8(968)792-11-01, dima\_filipchuk@mail.ru*

В рамках данной работы были проведены исследования чувствительности МДП-сенсоров к парам компонентов ракетного топлива – несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и тетраоксида азота в воздухе по продуктам их терморазложения.

Были изготовлены экспериментальные стенды, разработаны и апробированы методики исследования режимов термического разложения НДМГ и тетраоксида азота. Определены типы МДП-сенсоров [1], которые могут применяться для обнаружения НДМГ и тетраоксида азота по продуктам их терморазложения [2].

Проведенные исследования показали, что обнаружение паров НДМГ в воздушной среде возможно с помощью МДП-сенсоров по одному из продуктов термического разложения НДМГ – аммиаку [3]. Для тетраоксида азота продуктом разложения является диоксид азота. Оптимальной для термического разложения НДМГ является температура 800 °С. Оптимальной для термического разложения тетраоксида азота является температура 22 °С (согласно [4], при данной температуре тетраоксид азота на 99,99 % состоит из диоксида азота). Экспериментально показано, что обнаружение паров НДМГ в воздухе посредством МДП-сенсора возможно и без терморазложения газовой смеси.

Показано, что разработанная методика позволяет обнаруживать пары НДМГ в воздухе на уровне ПДК рабочей зоны (0,1 мг/м<sup>3</sup>) и до аварийных концентраций (>10 мг/м<sup>3</sup>).

[1] Е.В. Емелин, И.Н. Николаев, А.В. Соколов, Датчики и системы, №10 (2005)

[2] С.В. Колесников, монография, 7 (2014)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

[3] P. Martignoni, W.A. Duncan, H.A. Nappier, J. Phillips et al., Report № RK-TR-72-8 (1972)

[4] О.А. Канищев, В.Г. Конаков, Вестник СПбГУ, №1 (2015)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**МНОГОСЛОЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОНТРАСТНЫЕ  
ФИЛЬТРЫ СО СЛОЖНЫМ СПЕКТРОМ ПРОПУСКАНИЯ**

***Фурминский А.А.<sup>1,2</sup>, Брик Е.Б.<sup>2</sup>, Кучерявый С.И.<sup>1</sup>,  
Ермаков С.В.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> ООО «Фотооптик», г. Обнинск, Россия

89807138746, [furminskiy@gmail.com](mailto:furminskiy@gmail.com)

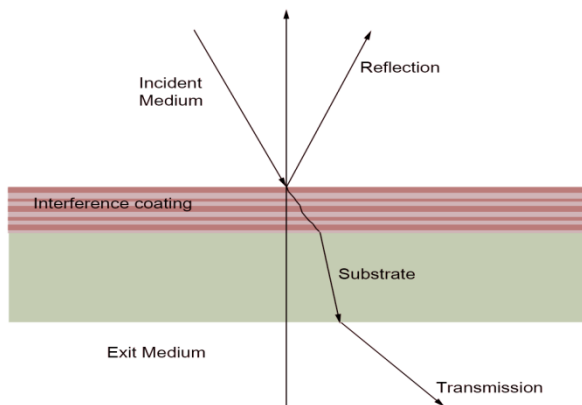
Многослойные контрастные фильтры позволяют эффективно решать проблему возможности чтения информации с экрана дисплея в условиях высокой внешней освещённости. Такие фильтры представляют собой набор из тонких слоёв (~3-300нм) диэлектриков или металлов, нанесённых на подложку. За счёт интерференции в тонких слоях при правильном подборе их толщин и материалов появляется возможность получить различные спектры пропускания и отражения от рассматриваемого многослойного покрытия. Сейчас существуют программы и методы [1], позволяющие подобрать толщины слоёв таким образом, чтобы получить необходимые при дальнейшем использовании спектр пропускания фильтра и отражения от его поверхности.

На данный момент, на практике применяются контрастно-нейтральный фильтры. Они имеют низкие показатели зеркального и диффузного отражений и некоторое постоянное по всей ширине спектра значение пропускания, составляющее от 5 до 70%.

Основываясь на модели расчёта контрастного отношения, предложенного инженерами фирмы AVAGO [2], были найдены параметры фильтра при которых значение контрастного отношения выбранного дисплея, оснащённого им будет максимальным. Такой фильтр мы будем называть оптимальным. Задача поиска оптимального фильтра в общем случае представляет собой задачу многомерной оптимизации. Значимыми параметрами для расчёта являются спектры отражения и пропускания нанесённого фильтра, спектр отражения дисплея, а также спектр внешнего освещения, за который принимается спектр излучения солнца.

Для дисплеев с постоянным спектром излучения оптимальный фильтр будет иметь сложный спектр пропускания. Задача много-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы мерной оптимизации по поиску этого спектра не имеет аналитического решения и ранее не рассматривалась. В настоящей работе эта задача была решена численно при помощи алгоритма основанного на методе имитации отжига [3][4].



Была проведена проверка полученных решений на соответствие экспериментальным данным показавшая хорошее совпадение теории с экспериментом.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- Теоретические результаты, полученные при помощи выбранной модели, показывают совпадение с экспериментальными данными с точностью порядка 5%.
- Решение задачи многомерной оптимизации при помощи численных алгоритмов позволяет для дисплеев с постоянным спектром излучения найти фильтры, характеризуемые контрастным отношением дисплея, большим, чем при использовании контрастно-нейтральных фильтров.

#### Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики, М. 1970 г. 856 с.
2. AVAGO. Application Note 1015.2016.
3. Лопатин А.С. Метод Отжига. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург. 2005. 148 с.
4. Metropolis N., Rosenbluth A. W., Rosenbluth M. N., Teller A. H., and Teller E. Equation of State Calculations by Fast Computer Machines // J. Chemical Physics. 21. 6. June. 1953. P. 1087-1092.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СО<sub>2</sub>- ЛАЗЕР С АКТИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД  
ИЛИ МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА**

**А.А. Ионин<sup>1</sup>, И.О. Киняевский<sup>1</sup>, Ю.М. Климачев<sup>1</sup>,  
А.Ю. Козлов<sup>1</sup>, А.А. Котков<sup>1</sup>, В.В. Степанищев<sup>1, 2</sup>, И.Ж. Хафизов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,  
Москва*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

8-985-927-52-29, [ilshat\\_khafizov@yahoo.com](mailto:ilshat_khafizov@yahoo.com)

Освоение терагерцового диапазона частот – одно из наиболее активно развивающихся направлений современной прикладной физики. Одним из способов получения терагерцового излучения является генерация разностной частоты (ГРЧ) излучения СО<sub>2</sub>-лазеров в кристаллах ZnGeP<sub>2</sub> [1] или GaSe [2]. В указанных работах использовались два СО<sub>2</sub>-лазера с возможностью перестройки длины волны, но с общей активной средой и с отдельными резонаторами. Однако известны публикации (см., например [3]), в которых СО<sub>2</sub>-лазер работал одновременно на нескольких (до 10) колебательно-вращательных переходах. Задачей данной работы было получение мощного многочастотного излучения на установке СО<sub>2</sub>-лазера с одним резонатором и одной активной средой для ГРЧ в терагерцовую область спектра.

Для получения наносекундных импульсов излучения сначала исследовался режим активной синхронизации мод в электроионизационном (ЭИ) СО<sub>2</sub>-лазере с помощью акустооптического модулятора (АОМ). Были рассмотрены различные режимы работы: при отключенном АОМ, минимальной, средней и максимальной мощности АОМ.

При минимальной мощности АОМ (Рис.1) энергия всего импульса излучения равнялась 11.2 мДж, а максимальная пиковая мощность составила ~2.1 кВт (на Рис. 1 первый пикок «обрезан»). Полный импульс излучения состоял из цуга пичков длительностью ~7 нс по полувысоте, следующих с частотой 27.65±0.05 МГц. Стоит отметить, что при дальнейшем увеличении мощности АОМ, пички уширялись, а пиковая мощность излучения падала.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

Полученная мощность ЭИ СО<sub>2</sub>-лазера с активной синхронизацией мод достаточно для преобразования излучения в нелинейных кристаллах. Но, к сожалению, спектр излучения этого лазера состоял из одной колебательно-вращательной линии 9 R(22) с длиной волны  $\lambda=9.568$  мкм.

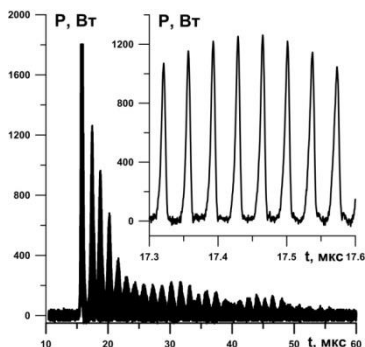


Рис. 1. Форма импульса излучения ЭИ СО<sub>2</sub>-лазера с активной синхронизацией мод

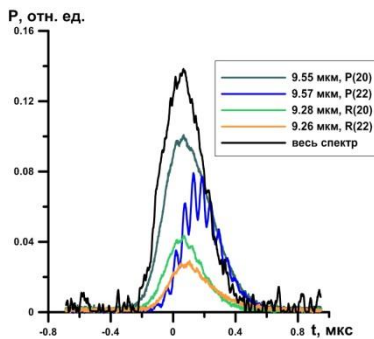


Рис. 2. Форма импульсов излучения СО<sub>2</sub>-лазера с МДР.

Для получения многочастотной генерации СО<sub>2</sub>-лазера применяется модуляция добротности резонатора (МДР). В эксперименте использовался СО<sub>2</sub>-лазер с накачкой разрядом постоянного тока в режиме МДР вращающимся зеркалом. Спектр генерации содержал 9 линий из 9-ти микронной полосы, т.к. окна лазерной трубки были сделаны из пластинок из ВаF<sub>2</sub>. Две наиболее сильные линии 9 R(18) и 9 R(22) с длинами волн  $\sim 9.28$  и  $\sim 9.56$  мкм, соответственно, содержали 85% мощности СО<sub>2</sub>-лазера. При этом генерация на отдельных линиях в достаточной степени перекрывалась по времени (см. Рис.2). Суммарно по всем линиям генерации пиковая мощность достигала 1 кВт. Самые сильные линии могут дать ГРЧ на длине волны  $\sim 310$  мкм. Длины волн ГРЧ от других линий попадают в диапазон  $263 \div 8100$  мкм.

Работа поддержана Грантом РФФ 16-19-10619.

Литература

1. Andreev Yu.M., et al., J. Korean Phys. Soc. Vol.33. Issue 3. 320-325 (1998).
2. Zhiming Rao et al., Optics Comm. Vol.284. 5472–5474 (2011).
3. Richardson M. C., Applied Physics Letters Vol.25. 31-33 (1974).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ  
КРИСТАЛЛОВ  $\text{LiYF}_4:\text{Ho}$  В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

**Чикунова Г.П.<sup>1,2</sup>, Болдырев К.Н.<sup>1</sup>, Попова М.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный  
+7(977)8114590, [galina.chikunova@phystech.edu](mailto:galina.chikunova@phystech.edu)

Кристаллы с общей формулой  $\text{LiYF}_4$ , активированные редкоземельными элементами, используются как лазерные среды, а также интересны как модельные системы для изучения различных физических явлений. Данные кристаллы представляют интерес в связи с возможностью их применения в качестве сред для хранения квантовой информации (реализации так называемой трехуровневой  $\Lambda$ -схемы, см. рис.1) и лазерного охлаждения твердых тел.

Для реализации кубита на атоме Ho в кристалле двойных фторидов в качестве уровней  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  можно использовать уровни сверхтонкой структуры (СТС), переход между которыми запрещен, а для управления информацией взять метастабильный уровень в оптическом диапазоне. Поэтому результаты спектроскопического исследования взаимодействия редкоземельных ионов в кристаллах могут быть полезны для применения в квантовой информатике.

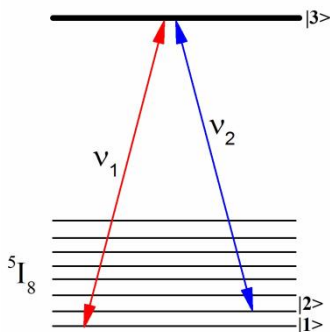


Рисунок 1. Трехуровневая  $\Lambda$ -схема

Целью работы было исследование СТС гольмия в матрице  $\text{LiYF}_4$  во внешнем магнитном поле, направленном вдоль тетраго-



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы

нальной оси  $c$  кристалла, с помощью оптической спектроскопии высокого разрешения. В ходе работы были обнаружены эффекты смешивания состояний сверхтонких компонент и, как следствие, неэквидистантность сверхтонкой структуры, появление запрещенных уровней в спектрах, асимметрия подуровней. Был проведен анализ зависимости изотопического расщепления сверхтонкой структуры для  $\text{Ho}^{3+}$  с моноизотопным окружением и с окружением, когда один из изотопов  ${}^6\text{Li}$  замещен на  ${}^7\text{Li}$  [1]. Зарегистрированный изотопический сдвиг вызван слабым изменением кристаллического поля в окружении атома  $\text{Ho}^{3+}$ . Результаты позволили вычислить разницу магнитных  $g$ -факторов для обоих типов центров.

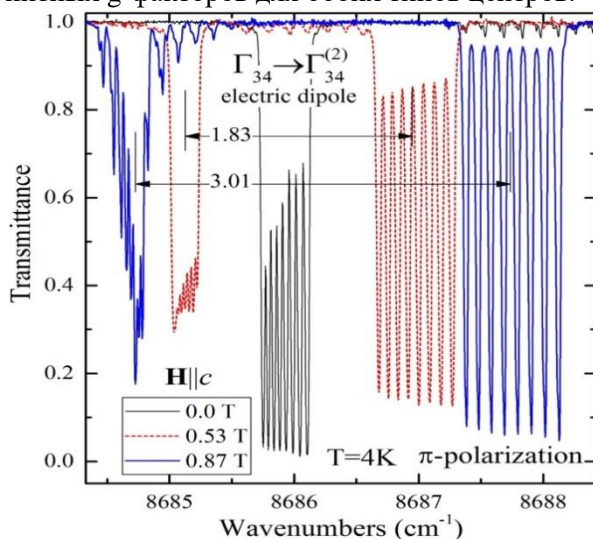


Рисунок 2. Расщепление СТС во внешнем магнитном поле

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-02-07451а и гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых МК-3577.2017.2.

Литература

1. M.N.Popova, K.N. Boldyrev, Optical Materials (2016)

*Шайкомалова Е.С.*

*Кемеровский государственный университет, г.Кемерово  
8-960-907-5107, 16930@mail.ru*

В настоящее время расширение нашего понимания воды является актуальной темой в науке и технике. Вода распространена по всей Вселенной и имеет основополагающее значение во всех биологических процессах и промышленности.

Основную сложность в экспериментальных исследованиях представляют фазы льда из области высоких давлений и низких температур. Однако развивающиеся методы компьютерного моделирования помогают проводить теоретические расчеты с высокой точностью [1].

Задачей данной работы является исследование из первых принципов физических свойств тетрагональной VIII фазы на базе программного пакета CRYSTAL14, где применяются метод Хартри-Фока и DFT в форме гибридного функционала B3LYP [2].

Элементарная ячейка изучаемой фазы является устойчивой упорядоченной структурой из 4 молекул  $H_2O$  и имеет форму параллелепипеда. Геометрические параметры кристаллической решетки  $a=b=4,537\text{\AA}$ ,  $c=6,665\text{\AA}$ , валентный угол  $106,68^\circ$ , погрешность относительно экспериментальных данных порядка 2%. Было установлено, что критерии механической стабильности для данной фазы полностью выполняются [3]. В таблице 1 представлены механические и термодинамические параметры. Также на рисунке 1 изображены карты электронной и деформационной плотностей, по которым видно, что в молекулах  $H_2O$  связь между атомами ковалентная полярная.

Таким образом, в данном исследовании были рассчитаны физические параметры, описывающие механические, термодинамические и структурные свойства VIII фазы льда. Установлена высокая точность соответствия геометрии молекул и кристаллической решетки литературе, подтверждена стабильность структуры.

Таблица 1. Механические и термодинамические параметры VIII фазы льда

Объемный модуль	Модуль сдвига	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона	Полная энергия (4 молекулы)	Энтродипия	Теплоемкость
27,89 ГПа	19,44 ГПа	47,32 ГПа	0,22 ГПа	305,78 AU	72,04 кДж/моль	98,07 кДж/моль

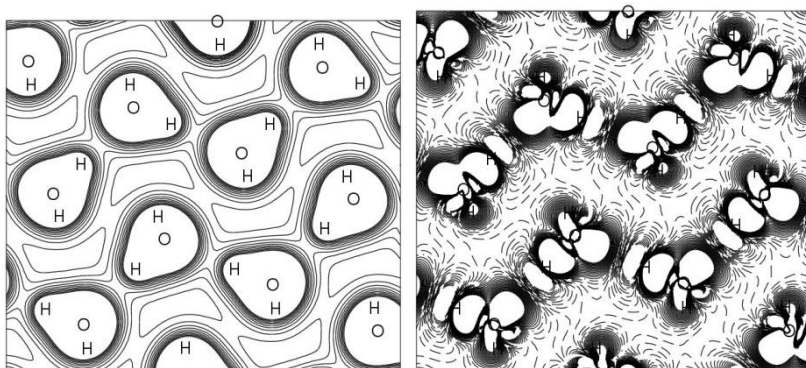


Рис.1. Распределение электронной плотности (слева) и деформационной плотности (справа) в VIII фазе льда

### Литература

1. R. Xu, Z. Liu, Y. Ma, T. Cui, B. Liu and G. Zou. Ab initio investigation of hydrogen bonding and electronic structure of high-pressure phases of ice. Cornell University Library, [arXiv:0801.0400](https://arxiv.org/abs/0801.0400) (2007).
2. Dovesi, R. CRYSTAL14 User's Manual / R. Dovesi, V.R. Saunders, C. Roetti [et al.] // Torino: University of Torino. - 2014.
3. F. Mouhat and F.X. Coudert. Necessary and Sufficient Elastic Stability Conditions in Various Crystal Systems. Published as: Phys. Rev. B 90, 224104 (2014)

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**СТРУКТУРА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК  
СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ**  
**L<sub>4-8</sub>, L<sub>5-7</sub>, L<sub>3-12</sub> и L<sub>4-6-12</sub>**

**Шаповалова К.Э.<sup>1</sup>, Беленков Е.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Челябинский государственный университет, Челябинск  
+7(351)7997117, shapovalovake@gmail.com

Модельно углеродные нанотрубки (УНТ) могут быть получены в результате сворачивания узких лент, вырезанных из графеновых слоев [1]. Реальный механизм формирования структуры углеродных нанотрубок другой, тем не менее, модельный подход позволяет классифицировать углеродные нанотрубки и объяснить возможность варьирования их свойств от полупроводниковых до металлических. Поверхность углеродных нанотрубок синтезированных к настоящему времени состоит из атомов углерода, которые располагаются на поверхности нанотрубок в вершинах шестиугольников, т.е. эти нанотрубки сформированы на основе гексагонального графена. Слои графена бывают различных полиморфных разновидностей [2,3], поэтому возможно существование и различных структурных разновидностей углеродных нанотрубок на основе этих слоев. В данной работе изучены углеродные нанотрубки на основе графеновых слоев L<sub>4-8</sub>, L<sub>5-7</sub>, L<sub>3-12</sub> и L<sub>4-6-12</sub>.

Расчеты геометрически оптимизированной структуры углеродных нанотрубок были выполнены методом молекулярной механики ММ+. Из слоев вырезались ленты различной ширины и с различной ориентацией углерод-углеродных связей относительно их оси, затем в результате сворачивания этих лент и сшивки по краям получалась исходная структура УНТ для последующей геометрической оптимизации. После геометрической оптимизации полуэмпирическим квантово-механическим методом РМЗ рассчитывались энергии сублимации для всех УНТ.

В результате выполненных модельных исследований была рассчитана структура 45 различных углеродных нанотрубок, на основе графеновых слоев L<sub>4-8</sub>, L<sub>5-7</sub>, L<sub>3-12</sub> и L<sub>4-6-12</sub>. Нанотрубки были с зигзагообразной, креслообразной и хиральной структурой.

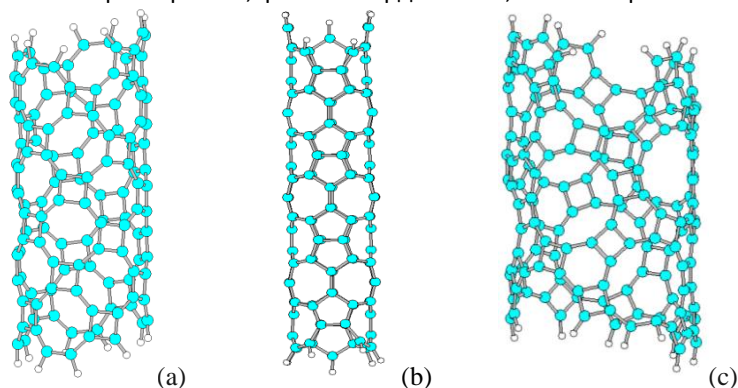


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура углеродных нанотрубок полученных при сворачивании графеновых лент вырезанных из слоев: (a)  $L_{4-8}$ ; (b)  $L_{5-7}$ ; (c)  $L_{4-6-12}$ .

Структура УНТ оказалась цилиндрической (все атомы составляющих эти нанотрубки располагались на гладких цилиндрических поверхностях составляющих стенки нанотрубок). Однако для нанотрубок на основе графенового слоя  $L_{5-7}$  при увеличении диаметра цилиндрическая структура нарушалась, так что в сечении нанотрубка становилась не круглой, а овальной. Энергия сублимации углеродных нанотрубок зависит от их диаметра – чем больше диаметр, тем больше величина энергии сублимации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

#### Литература

1. M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, Ph. Avouris Carbon nanotubes: synthesis, structure, properties, and applications. Topics Appl. Phys. 80. (Berlin: Springer-Verlag. 2001).
2. E.A. Belenkov, A.E. Kochengin Structure and electronic properties of crystals consisting of graphene layers  $L_6$ ,  $L_{4-8}$ ,  $L_{3-12}$  and  $L_{4-6-12}$ . Physics of the Solid State. Vol.57. Issue 10. P.2126-2133 (2015).
3. А.Е. Коченгин, Е.А. Беленков Новые полиморфные разновидности графена, сформированные из карбиновых цепочек. Перспективные материалы. № 2. С. 5-13 (2017).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ВЛИЯНИЕ МАГНИТО-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
НА УДЕЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ АНСАМБЛЕМ  
КЛАСТЕРОВ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ**

**Шершнев Р.В.<sup>1</sup>, Ермаков С.В.<sup>1</sup>, Усов Н.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup>ИЗМИРАН, Троицк, Москва

конт. тел. (910) 5977651, e-mail: RVShershnev@yandex.ru

Одной из центральных проблем современных исследований по магнитной гипертермии [1] является анализ влияния сильного магнито- дипольного взаимодействия на интенсивность поглощения энергии переменного магнитного поля ансамблем магнитных наночастиц. В данной работе с помощью численного решения стохастического уравнения Ландау- Лифшица вычисляется удельное поглощение энергии переменного магнитного поля ансамблем кластеров наночастиц магнетита, широко используемых в биомедицинских исследованиях. В развиваемом подходе принимаются во внимание как тепловые флуктуации магнитных моментов наночастиц, так и влияние сильного магнито- дипольного взаимодействия между наночастицами плотного кластера на его магнитные характеристики. Показано, что интенсивность магнито- дипольного взаимодействия определяется плотностью заполнения кластера  $\eta = N_p V / V_{cl}$ , где  $N_p$  есть среднее число магнитных наночастиц в типичном кластере ансамбля,  $V$  есть объем наночастицы, а  $V_{cl}$  есть объем квази- сферического кластера. Рис. 1 показывает удельное поглощение энергии переменного магнитного поля с амплитудой  $H = 100$  Э и частотой  $f = 400$  кГц ансамблем случайных кластеров наночастиц магнетита с различной плотностью заполнения в интервале  $0.005 \leq \eta < 0.4$ . Как видно из Рис. 1, для разреженного кластера наночастиц магнетита удельное поглощение энергии может достигать значений порядка 250 – 300 Вт на грамм вещества. Однако с увеличением параметра  $\eta$  удельное поглощение энергии существенно уменьшается. Зависимость удельного поглощения энергии от среднего диаметра наночастиц, характерная для ансамбля слабо взаимодействующих магнитных наночастиц [2], сохраняется и при увеличении параметра  $\eta$ , но становится менее выраженной. В рабо-

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы те показано также, что наличие корреляций в пространственном распределении направлений легких осей анизотропии отдельных наночастиц кластера слабо влияет на удельное поглощение энергии кластером в переменном магнитном поле.

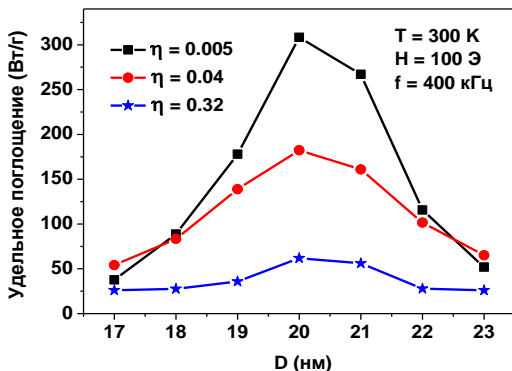


Рис.1. Удельное поглощение энергии ансамблем кластеров наночастиц магнетита с различной средней плотностью  $\eta$  в зависимости от среднего диаметра наночастиц  $D$ .

### Литература

1. Ф. Е.А. Périgo, G. Hemery, O. Sandre, D. Ortega, E. Garaio, F. Plazaola, and F. J. Teran. Fundamentals and advances in magnetic hyperthermia. Applied Physics Review. Vol. 2, P.041302 (2015).
2. N. A. Usov. Low frequency hysteresis loops of superparamagnetic nanoparticles with uniaxial anisotropy. Journal of Applied Physics. Vol. 107, P.123909 (2010).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СКАНДАТНЫХ  
КАТОДОВ СВЧ-ПРИБОРОВ**

**Шуманов А.В.<sup>1,2</sup>, Капустин В.И.<sup>2</sup>, Ли И.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ОАО «Плутон», Москва*

<sup>2</sup> *Московский технологический университет (МИРЭА), Москва  
8-963-614-96-55, [alexeyshumanov@yandex.ru](mailto:alexeyshumanov@yandex.ru)*

В настоящее время при производстве электровакуумных приборов СВЧ диапазона длин волн применяют металлопористые катоды (МПК) на основе вольфрамовой губки, пропитанной алюминатом бария – кальция. Плотность тока термоэмиссии такого катода при температуре 1050–1100 °С составляет 10–15 А/см<sup>2</sup> [1-3]. Имеются публикации о свойствах «скандатных» катодов (СК) [4-5], которые содержат скандий в виде оксида или интерметаллида и обеспечивают получение плотности тока катода до 100 А/см<sup>2</sup>, а в «рекордных» случаях – до 400 А/см<sup>2</sup>, что открывает возможности создания принципиально новых типов СВЧ ЭВП. Однако в литературе отсутствуют обоснованные представления о физическом механизме работы СК [5].

Проведены исследования электронной структуры оксида бария, определяющего эмиссионные свойства катодов СВЧ - приборов, методами ЭСХА, СХПЭЭ и оптической спектроскопии. Установлено, что элементы (Ca, Al, Sc, W), входящие в состав катодных материалов, незначительно растворяются в оксиде бария, но при этом существенно влияют на его электронную структуру и на эмиссионные свойства. В качестве примера в таблице 1 приведены результаты исследований обычного МПК, а также варианта СК, в котором оксид алюминия полностью заменен на оксид скандия.

В результате установлено, что после пропитки вольфрамовой матрицы оксидной фазой концентрация кислородных вакансий в СК в 1.62 раза меньше, чем в стандартном МПК, то есть и эмиссионная способность полностью «скандатного» катода будет ниже, чем у МПК [6]. В то же время внедрение атомов скандия в кристаллическую решетку оксида бария уменьшает искривление энергетических зон вверх, то есть снижает работу выхода оксида бария.



Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
 Таблица 1. Параметры электронной структуры оксида бария в оксидной фазе  $2.5\text{BaO}\cdot 0.4\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (МПК) и  $2.5\text{BaO}\cdot 0.4\text{CaO}\cdot \text{Sc}_2\text{O}_3$  (СК)

Параметр	МПК	СК
Эффективный заряд вакансии $e^*$	1.66	1.46
Расщепление зоны кислородных вакансий $\Delta$ , meV	62	25
Эффективная масса электронов кислородных вакансий $m^*/m$	$6.43\cdot 10^{-4}$	$2.60\cdot 10^{-4}$
Ширина запрещенной зоны $E_g$ , eV	4.71	4.63
Концентрация вакансий в объеме, $N_{\text{vol.}}$ , $\text{m}^{-3}$	$6.02\cdot 10^{25}$	$3.72\cdot 10^{25}$
Концентрация вакансий на поверхности, $N_{\text{surf.}}$ , $\text{m}^{-3}$	$3.72\cdot 10^{25}$	$3.90\cdot 10^{25}$
Концентрация кислородных вакансий в объеме, %	1.01	0.63
Расстояние между уровнем Ферми и верхом валентной зоны, эВ	3,05	4,00
Искривление энергетических зон вверх, эВ	+ 0,77	- 0,26

Полученные результаты объясняют экспериментально подобранную в литературе схему выбора состава СК, содержащего 98% алюминатной фазы и 2% скандатной [5]: алюминатная фаза обеспечивает формирование кристаллитов оксида бария с высокой концентрацией кислородных вакансий, а «скандатная» фаза - легирование оксида бария атомами скандия.

#### Литература

1. Дюбуа Б.Ч., Поливникова О.В. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. Вып. 4(519). С. 187-190. (2013).
2. Дюбуа Б.Ч., Култашев О.К., Поливникова О.В. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. Вып. 4 (497). С. 3-22. (2008).
3. Дюбуа Б.Ч., Королев А.Н. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. Вып. 1(509). С. 5-25. (2011).
4. Brodie, I. IEEE Trans. Electron Devices, Vol.58, No.4, p.1247. (2011).
5. Gartner G., Geintter P., Ritz A. Appl. Surf. Sci. No 111. p. 11-17. (1997).
6. Капустин В.И. Перспективные материалы. № 2. С. 5 – 17. (2000).

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ DMLD ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА BT6

Щекин А.С.<sup>1</sup>, Сергеев К.Л.<sup>1</sup>, Ишкиняев Э.Д.<sup>1</sup>, Быковский Д.П.<sup>1</sup>,  
Петровский В.Н.<sup>1</sup>, Осицев А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва  
89167625731, alex-shekin@yandex.ru

Технология DMLD (Direct metal laser deposition) относится к одному из видов аддитивных технологий. Аддитивные технологии (от английского Additive Fabrication) – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия методом послойного добавления материала. Получение изделия происходит послойно, шаг за шагом путем формирования (тем или иным способом) слоя материала и соединения каждого последующего слоя с предыдущим [1].

Используемым материалом был выбран титановый сплав BT6, так как титановые сплавы имеют широкий спектр применения в различных сферах жизнедеятельности:

- Авиастроение, ракетостроение
- Космическая промышленность
- Судостроение
- Автомобилестроение
- Химическая промышленность
- Пищевая промышленность
- Медицина

Титан и его сплавы широко применяются в разных отраслях промышленности благодаря особым механическим и химическим свойствам. Сегодня почти все трубы, используемые в производстве самолетов и в космической промышленности, сделаны из титана и его сплавов [2]. Сплавы титана применяют для создания протезов, имплантатов, инструментов.

Мы предлагаем использовать технологию DMLD для получения титановых деталей из порошкового материала, так как данная технология позволяет формировать прочные титановые детали сложной формы, которые трудно получить традиционными способами

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы создания деталей. Данная технология подразумевает собой плавление металлического порошка, подаваемого через сопло коаксиально с излучением. При движении сопла над поверхностью на ней после затвердевания образуется новый слой металла. Таким образом, можно послойно выращивать детали нужной формы.

В работе представлены результаты исследования механических свойств и микроструктуры образцов, полученных технологией DMLD при различных режимах.

#### Литература.

1. М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутьлина. Аддитивные технологии в машиностроении. (Издательство политехнического университета Санкт-Петербург 2013).
2. К.Л. Александров. Применение титана в машиностроении. Молодежный научно-технический вестник #12 (2015).

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА  
СТРУКТУРУ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

**Яббарова Д.Р., Кузнецова Е.В., Носков А.И., Салихов Р.В.**

*КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, каф. ЛТ  
89503150874, [yabbarova\\_dinara@mail.ru](mailto:yabbarova_dinara@mail.ru)*

Углепластики, полимерные композиционные материалы из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице полимерных смол, благодаря своим уникальным свойствам, а именно, высокой удельной прочности и жесткости, в совокупности с малой массой, находят широкое применение во многих отраслях производства – от медицины в качестве материала для создания искусственных органов и тканей, имплантатов, ввиду его высокой биологической совместимости с организмом человека, до авиакосмической промышленности, как материал для изготовления конструкций, работающих при высоких температурах, за счет высоких коэффициентов значений жаростойкости и жаропрочности.

Производство изделий из углерод-углеродных композитов любого назначения включает в себя две важных технологических операции: раскрой и формообразование, которые можно осуществлять широко распространенными в производстве методами фрезерования или гидроабразивной резки, которые обладают рядом важных недостатков таких, как: сильный износ режущего инструмента и необходимость использования твердосплавных и алмазных вставок; расслоение материала, возникновение трещин и махрение кромок из-за ударных и вибрационных нагрузок на обрабатываемый материал со стороны режущего инструмента; ограничения, накладываемые контуром раскроя; высокий процент отходов; образование углеродной пыли, а значит, чрезвычайно вредные условия труда [1].

Все вышеперечисленные недостатки традиционных методов модификации поверхности углеродных композитов обусловили целесообразность применения мощных технологических лазеров, как возможность улучшения производства изделий из композиционных материалов и перевода технологии механического раскроя и

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы формирования отверстий и пазов в них на более высокий качественный уровень.

Основными характеристиками лазерного раскроя являются ширина и глубина реза, качество формируемых кромок, ширина зоны термического влияния (ЗТВ).

Проблемы, возникающие при раскрое углеродных композиционных, не присущи металлическим сплавам и связаны с уникальными физическими свойствами углерода. Прежде всего, при нормальном давлении углерод не плавится, поэтому основным механизмом лазерной резки углеродных материалов является механизм испарения [2]. Как следствие, высокая температура испарения углерода обуславливает образование значительной ЗТВ. Также при лазерном раскрое возникают проблемы ухудшения прочностных характеристик и графитизации поверхности в местах обработки.

Все это указывает на необходимость проведения исследований влияний параметров лазерного излучения на структуру УКМ и формирование ЗТВ.

#### Литература

1. Гуреев Д.М., Кузнецов С.И., Петров А.Л. Лазерный раскрой углеродных композиционных материалов [Текст] / Д.М. Гуреев, С.И. Кузнецов, А.Л. Петров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – №2 – С. 255–264.

2. Freitag C., Onuseit V., Weber R., Graf T., Kononenko T.V., Komlenok M.S, Konov V.I. Oxygen-assisted multipass cutting of carbon fiber reinforced plastics with ultra-short laser pulses [Текст] / C. Freitag, V. Onuseit, R. Weber, T. Graf, T. V. Kononenko, M. S. Komlenok, V. I. Konov // Journal of Applied Physics. – 2014. – №115 – С. 103–107.

3. Finger J, Weinand M., and Wortmann D. Ablation and cutting of carbon-fiber reinforced plastics using picosecond pulsed laser radiation with high average power [Текст] / J. Finger, M. Weinand, D. Wortmann // Journal of Laser Applications. – 2013. – №25 – С. 71–75.

Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы  
**ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОРОДНОГО ПУЧКА В  
МОЩНОМ ИНЖЕКТОРЕ**

**Яриков С.А.<sup>1,2</sup>, Панасенков А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт», Москва  
8-926-338-85-14, ser.yarikov@gmail.com

Измерение профиля плотности пучка инжектора необходимо для определения угла расходимости пучка и настройки оси пучка на центр входного окна в токамак, так как мощность пучка, вводимого в плазму токамака, при заданной мощности ионного источника, определяется, в том числе и вышеупомянутыми параметрами.

На начальных этапах развития инжекционного нагрева диагностика пучка осуществлялась ленгмюровскими зондами, находящимися непосредственно в пучке, вблизи приёмника. Но с увеличением мощности и длительности пучка диагностика ленгмюровскими зондами стала невозможной из-за высокой тепловой нагрузки.

В данной работе рассматривается метод диагностики, использующий систему коллекторов электронов ион-электронной эмиссии, которые находятся вне пучка в тени первого ряда трубок приёмника (рис.1).

Цель данной работы — определение зависимости тока на коллекторы вторичных электронов при различных давлениях остаточного газа в камере для определения вклада тока электронов из вторичной плазмы в ток коллектора и уточнения необходимости внесения поправочных коэффициентов при измерении профиля плотности нейтрального пучка.

Работа выполнялась на экспериментальной установке ИРЕК (НИЦ «Курчатовский институт»), представляющей собой прототип инжектора Т15. Максимальная мощность пучка 2 МВт, из которых 1 МВт мощности в ионах и 1 МВт в нейтральных частицах. Энергия пучка до 50 кэВ при токе пучка 40 - 45 А. [2]

Поток нейтральных атомов водорода

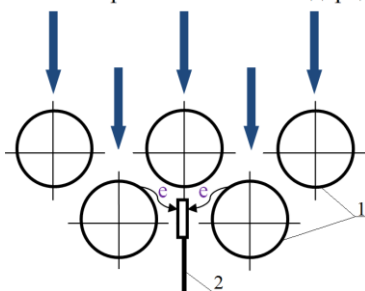


Рис.1. Схема расположения и принцип работы коллектора электронов (1 - трубки приёмника, 2 - коллектор вторичных эмиссионных электронов)

В рамках данной работы были спроектированы, изготовлены и установлены коллекторы вторичных электронов. Была произведена оценка токов, приходящих на коллекторы от вторичной эмиссии и от электронов вторичной плазмы, для этого оценивались параметры вторичной плазмы в тракте инжектора, эффективность перезарядки пучка.

#### Литература

1. Способ измерения профиля нейтрального пучка в длинноимпульсных мощных инжекторах/ А. Панасенков, В. Смирнов - ИФТ, НИЦ Курчатовский институт, Москва, Россия
2. Neutral beam heating system. Plasma Devices and Operations/Gordon and Breach, Science Publishers, 1992, Vol. 1, pp. 277-288.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- A**  
*Anikin M.N.* 47  
*Anikin V.N.* 62
- B**  
*Baktybekov K.S.* 23  
*Baloshin Yu. A.* 29  
*Baratova A.A.* 23  
*Batiashvili L.A.* 25  
*Bobrovsky T.L.* 41  
*Bogatov N.M.* 39  
*Buzin S.G.* 27
- C**  
*Chadeeva M.V.* 37  
*Chernushich A.K.* 49  
*Chuprunov K.O.* 62
- D**  
*Damdinov B. B.* 29  
*Danilov P.N.* 69  
*Demin A.S.* 29  
*Dezhkina M.A.* 31  
*Dzugkoeva E.M.* 33
- F**
- G**  
*Garrakhova D.S.* 35  
*Gonchukov S.A.* 69  
*Grachev P.V.* 35  
*Gusev A.S.* 64
- I**
- K**  
*Kargin N.I.* 64  
*Karpov N.V.* 49  
*Khmelnitskii R.A.* 69  
*Khomich A.A.* 31  
*Kinyaevsky I.O.* 58  
*Konov V.I.* 31  
*Klimachev Yu.M.* 58  
*Kokatev A.N.* 66  
*Komlenok M.S.* 31  
*Kononenko V.V.* 31  
*Koromyslov A.L.* 49  
*Korpachev S.S.* 37  
*Koshelev Y.S.* 56  
*Kostarev V.A.* 56  
*Kovalenko M.S.* 39  
*Kryuchkov D.S.* 58  
*Kudryashov S.I.* 69  
*Kuzenkova D.S.* 41
- L**  
*Lazarenko G.E.* 33, 41, 43, 45, 52  
*Lazarenko D.G.* 33, 41, 43, 45, 52  
*Loschenov V.B.* 35, 60
- M**  
*Makarov V.I.* 35  
*Maklygina Yu.S.* 60  
*Maksimova E.M.* 25  
*Mikhalev A.V.* 45  
*Molodov P.A.* 47  
*Muratov A.V.* 54



АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

**N**

*Nauhatsky I.A.* 25  
*Naytmushin A.G.* 47  
*Nguyen T.H.T.* 69

*Nikitaev V.G.* 73  
*Novoselsky D.V.* 29

**P**

*Pavlov N.D.* 29  
*Polevov K.A.* 49  
*Polyakov E.V.* 73  
*Popovich A.F.* 31

*Prihod'ko A.A.* 52  
*Prishchepa A.R.* 54  
*Pronichev A.N.* 73, 75

**R**

*Rodionova O.V.* 75  
*Rudanov M.V.* 56  
*Rudenko A.A.* 69

*Ryabova A.V.* 35  
*Ryndya S.M.* 64

**S**

*Sadakov A.V.* 54  
*Sagitova A.M.* 58  
*Saraeva I.N.* 69

*Sharova A.S.* 60  
*Sinitsyn D.Y.* 62

**T**

*Tariverdiyev S.C.* 64  
*Terleckaya M.A.* 66

*Tupitsyn I.M.* 49

**U**

*Usoltsev A.S.* 54

**V**

*Vasiliev S.G.* 66  
*Vorobyev V.S.* 71

*Voronin V.S.* 56

**Y**

*Yakovleva N.M.* 66

**Z**

*Zadeba E.A.* 27, 71  
*Zakharenko Y.V.* 73

*Zavarzin A.A.* 75  
*Zayarny D.A.* 69

**A**

*Аббасов Т.С.* 232  
*Абрамова Е.Н.* 143  
*Абраменко Д.Б.* 257  
*Аверкина М.И.* 145  
*Агафонов А.В.* 302  
*Андреев С.Е.* 157  
*Анкудинов В.Х.* 78

*Анищенко И.В.* 147  
*Антоновская В.В.* 149  
*Антошина И.А.* 181  
*Арутинов Н.Э.* 151  
*Астахов Д.И.* 251  
*Атрощенко И.Г.* 274

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### Б

- Бадиков В.В.* 163  
*Бадиков Д.В.* 163  
*Бардакова К.Н.* 208  
*Безотосный П.И.* 153  
*Беленков Е.А.* 198, 308, 328  
*Беленкова Т.Е.* 154  
*Белявцев И.П.* 80  
*Беляев А.И.* 82  
*Бердоносков П.С.* 161  
*Бобров А.А.* 156  
*Богачев Г.В.* 84  
*Богачев Н.Н.* 157  
*Богданкевич И.Л.* 157

### В

- Важинский О.Т.* 171  
*Вартапетов С.К.* 188  
*Василенко А.Н.* 174  
*Васильев В.Е.* 176  
*Ваулин А.А.* 178  
*Вениаминов А.В.* 176

### Г

- Гаврилкин С.Ю.* 153, 183  
*Гайнанов Б.Р.* 259  
*Галуцкий В.В.* 304, 312  
*Ганин Д.В.* 188  
*Гасилин С.Г.* 190  
*Гачковский Д.А.* 88  
*Герасимов Е.Г.* 306  
*Глухов И.А.* 192  
*Гонцова С.С.* 194  
*Гончарова П.С.* 287  
*Горбунков М.В.* 166  
*Горбунов А.А.* 90

### Д

- Далевич С.Д.* 96  
*Данилов И.В.* 204  
*Денисов П.А.* 206  
*Денисултанов А.Х.* 176  
*Долгушкин Д.А.* 261

- Болдырев К.Н.* 159, 212, 255, 324  
*Бражский В.В.* 204  
*Брик Е.Б.* 320  
*Брюханов В.В.* 268  
*Будкин И.В.* 161, 163  
*Булаева Е. А.* 165  
*Бурдукова О.А.* 166  
*Бурдуковский В.Ф.* 208  
*Буримов Н.И.* 223  
*Бурмистрова И.В.* 86  
*Бутаев М.Р.* 169  
*Быковский Д.П.* 334

- Вишератин Р.К.* 181  
*Власенко В.А.* 183  
*Волегов А.С.* 306  
*Волков И.В.* 185  
*Волова Л.Т.* 261

- Гордиенко А.Б.* 316  
*Горенков Е.С.* 92  
*Горкун О.П.* 94  
*Горлова Д.А.* 196  
*Грешняков В.А.* 198  
*Грибова В.В.* 282  
*Григорьев А.А.* 200  
*Григорьев В.В.* 185  
*Громницкая Е.Л.* 204  
*Губарев В.М.* 202  
*Губкин А.Ф.* 178  
*Гусейн-заде Н.Г.* 157

- Должиков С.В.* 310  
*Дудова Д.С.* 208  
*Дукина А.Е.* 98  
*Дуль М.В.* 210  
*Дю В.Г.* 314

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

**Е**

- Егоров А.Д.* 100  
*Ермаков С.В.* 320, 330  
*Ерофеев А.С.* 212  
*Ефремов В.П.* 214  
*Ефремова Т.А.* 86

**Ж**

- Журавлев Ю. Н.* 291  
*Жучков М.М.* 102

**З**

- Закатилова Е.И.* 214  
*Закураев В.В.* 131  
*Замковская А.И.* 216  
*Зарипов А.Р.* 300  
*Захаров В.В.* 176  
*Зеленер Б.Б.* 156  
*Земцов Д.С.* 218, 247  
*Зимовец И.А.* 221  
*Злобин А.О.* 223  
*Зубова Н.Г.* 249  
*Зюбин А.Ю.* 268

**И**

- Иванов А.А.* 145  
*Иванов В.В.* 257  
*Ивацук О.О.* 273  
*Идилов Р.Х.* 225  
*Иорисов Р.Ф.* 229  
*Ильин Н. В.* 310  
*Ильина М.А.* 105  
*Ионин А.А.* 218, 247, 322  
*Исаев Е.А.* 90, 110  
*Ишемгулов А.Т.* 231  
*Ишкиняев Э.Д.* 334

**К**

- Казакевич В.С.* 233  
*Казакевич П.В.* 233  
*Калинников А.И.* 232  
*Каменев О.Т.* 282  
*Камынина Д.А.* 233  
*Капустин В.И.* 332  
*Киняевский И.О.* 218, 247, 322  
*Клемазов К.В.* 235  
*Кленин А.А.* 273  
*Климанова Е.В.* 107  
*Климачев Ю.М.* 218, 247, 322  
*Климин С.А.* 161, 163, 237  
*Клишин Ю.А.* 239  
*Ковров А.Э.* 176  
*Кожанов А.А.* 241  
*Козлов А.Ю.* 218, 247, 322  
*Колесников А.Г.* 243  
*Колесов В.В.* 80  
*Колпаков В.А.* 263  
*Кольшеницына М.А.* 110  
*Константинова Е.И.* 268  
*Корнилова Д.С.* 143  
*Коробов А.В.* 112  
*Коротков С.В.* 245  
*Котков А.А.* 322  
*Кочетков Ю.В.* 218, 247  
*Кочнева А.В.* 249  
*Крайнов П.В.* 251  
*Крайнова Г.С.* 310  
*Кривцун В.М.* 257  
*Криштоп В.В.* 287  
*Кубанкин А.С.* 273  
*Кузнецова Е.В.* 253, 336  
*Кузнецова Е.С.* 161  
*Кузьмин Н.Н.* 255  
*Кучерявый С.И.* 320

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### Л

Лазарева А.И. 114  
Лакатош Б.В. 257  
Лапишин К.Э. 188  
Легчиков Д.К. 80  
Летута С.Н. 231  
Ли И.П. 332

Литвинов А.В. 318  
Лопаев Д.В. 293  
Лыков А.Н. 153  
Лулицкая Ю. А. 165  
Ляпин А.Г. 204

### М

Маерин Б.Н. 163, 295  
Майорова Е.В. 259  
Максимов А.В. 78, 107  
Максимова Е.М. 194, 216  
Малкина К.А. 249  
Маркова М.Д. 261  
Маркушин М.А. 263  
Матвеева К.И. 268  
Мартьянов А.К. 266  
Масленникова А.В. 116  
Медведев В.В. 257, 295  
Мезенин Е.И. 270  
Менушенков А.П. 259

Милль Б.В. 237  
Милов С.В. 272  
Минаев Н.В. 208  
Минеев Н.А. 147  
Михеев Л.Д. 169  
Мишунин М.В. 273  
Моисеев С.Г. 192  
Молчанова А.Д. 212  
Москалев Т.Ю. 169  
Мухаметхафизова Л.С. 274  
Мухин И.С. 176  
Мышев А.В. 121, 129  
Мышев П.И. 119

### Н

Нагулин К.Ю. 297  
Наухацкий И.А. 216  
Некрасов С.А. 206  
Немченко А.Е. 276  
Нефёдов В.И. 157  
Никитин П.И. 239

Никитов С.А. 243  
Никифоров С.Д. 278  
Никулина О.В. 274  
Ноздря Д.А. 318  
Носков А.И. 253, 336  
Нугманов Р.Р. 280

### О

Олейник А.Н. 273  
Орищенко А.В. 241

Осинцев А.В. 334

### П

Панасенков А.А. 245, 338  
Пастушак Р.Л. 121  
Пашелов С.Г. 314  
Пашкевич С.Н. 231  
Петров Д.В. 300  
Петров М.Ю. 282  
Петрова Е.В. 194  
Петровский В.Н. 334  
Петухов В.А. 166

Плотников В.С. 310  
Подвысоцкий Р.Г. 84, 102, 123  
Подгорная А.В. 284  
Покровский С.В. 147  
Поликарпова У.А. 204  
Попов В.В. 259  
Попова А.В. 287  
Попова М.Н. 237, 324  
Порохнов А. Н. 289

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

*Пирогов А.Н.* 306

*Празян Т. Л.* 291

*Радаев А.В.* 112  
*Ральченко В.Г.* 266  
*Рассейкин Д.А.* 304  
*Рахлинский В.В.* 293

*Саакян А.Т.* 232  
*Саакян С.А.* 156  
*Садаков А.В.* 183  
*Садовников А.В.* 243  
*Салихов Р.В.* 297, 336  
*Самардак А.С.* 243  
*Самодуров В. А.* 90  
*Сандул В.В.* 127  
*Саутенков В.А.* 156  
*Светогоров Р.Д.* 259  
*Сединкин Д.О.* 300  
*Седов В.С.* 266  
*Селезнев Л.В.* 218, 247  
*Семёнов М.А.* 166  
*Сергеев К.Л.* 334  
*Сёмкин М.А.* 306  
*Синицын Д.В.* 218, 247  
*Скоморохов А.О.* 88, 92, 125, 136  
*Слежкин В.А.* 268

*Тимашев П.С.* 208  
*Тимохин Р.А.* 133  
*Тимченко П.Е.* 261  
*Тиньгаев М.И.* 308  
*Ткачев В.В.* 310

*Усов Н.А.* 330

*Фахриев Б.Р.* 232  
*Федорец А. Н.* 310  
*Федюк Р.С.* 133  
*Филимонова А.С.* 112  
*Филатов А.А.* 136

**Р**

*Решетняк В.В.* 295  
*Рзаев Р.А.* 149, 190, 225, 276, 280  
*Россоленко А.Н.* 145  
*Рябцева В.В.* 125

**С**

*Слипченко Е.А.* 143  
*Смоляков А.К.* 133  
*Соколов Д.В.* 314  
*Соловьев О.В.* 129  
*Сорокин Т.А.* 143  
*Ставровский Д.Б.* 169  
*Старков С.О.* 78, 80, 107  
*Стародуб А.Н.* 232  
*Стеблий М.Е.* 243  
*Степанищев В.В.* 322  
*Степанов В.А.* 181  
*Степанов Д.С.* 302  
*Степанов П.А.* 274  
*Степанов П.И.* 131  
*Строганова Е.В.* 304, 312  
*Строева О.А.* 274  
*Судариков К.В.* 304  
*Суслопарова А.Е.* 306

**Т**

*Ткачев Д.С.* 312  
*Токмашев Т.Д.* 314  
*Тулина Н.А.* 145  
*Тюмченкова А.С.* 261

**У**

**Ф**

*Филатов Д.О.* 221  
*Филиппов Д.И.* 316  
*Филипчук Д.В.* 318  
*Фролов А.М.* 310  
*Фурминский А.А.* 320

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### Х

*Хаймович П.А.* 181  
*Хатырев Н.П.* 185  
*Хафизов И.Ж.* 322

*Холхоев Б.Ч.* 208  
*Хомич А.А.* 266  
*Хорт А.М.* 143

### Ц

*Цветков А.Ю.* 153  
*Цесарская А.К.* 310

*Цымбалов И.Н.* 196  
*Цыпунов М.П.* 138

### Ч

*Чайков Л.Л.* 278  
*Чеблаков П.Б.* 105  
*Чеботкевич Л.А.* 243  
*Чепурнов А.С.* 273

*Чернов В.М.* 154  
*Чичунова Г.П.* 324  
*Чириков С.Н.* 278

### Ш

*Шайкомалова Е.С.* 326  
*Шалин А.С.* 176  
*Шандаров С.М.* 223  
*Шаповалова К.Э.* 328  
*Шахматов В.С.* 272  
*Шевченко А.И.* 151  
*Шерстобитова Е.А.* 178  
*Шершнев Р.В.* 330

*Шишкин Д.А.* 178  
*Шкирин А.В.* 278  
*Школьников Э.Я.* 302  
*Шмидт А.А.* 223  
*Шошин Д.А.* 140  
*Шульга Д.В.* 284  
*Шуманов А.В.* 332

### Щ

*Щагин А.В.* 273

*Щекин А.С.* 334

### Э

*Этрекова М.О.* 318

### Я

*Яббарова Д.Р.* 253, 297, 336  
*Ягофарова Е.Ф.* 261  
*Яковенко А.Г.* 143  
*Яковлев Г.А.* 194

*Якушев О.Ф.* 232  
*Яресько П.С.* 233  
*Яриков С.А.* 338



Подписано в печать 17.04.2017  
Формат 60×84 1/16 Заказ № 58в. Тираж 70 экз. Печ. л. 21,75

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Типография НИЯУ МИФИ  
115409, Москва, Каширское ш., 31