

Ассоциация студентов-физиков и молодых учёных России

Башкирский государственный университет

Уральский федеральный университет

Челябинский государственный университет

Институт электрофизики УрО РАН

при участии

Магнитогорского государственного технического университета

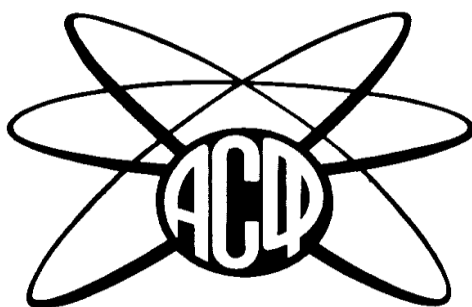
Института проблем сверхпластичности металлов РАН

Института физики молекул и кристаллов Уфимского ФИЦ РАН

Детского оздоровительного образовательного центра «Уральские Зори»

В Н К С Ф – 26

**Двадцать шестая Всероссийская
научная конференция студентов-физиков и молодых учёных**



Россия

**Материалы конференции
Информационный бюллетень**

Уфа, Башкортостан, 2020

Альтаир

Ростов-на-Дону

2020

ISBN 978-5-93667-204-0

УДК 53

ББК В3я431

В 850

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК:
Александр Арапов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Связь по интернет, общее редактирование: Александр Арапов (Екатеринбург)

Обработка содержательной части тезисов по секциям: научные секретари – эксперты секций - члены научного комитета конференции ВНКСФ-26, данные о которых напечатаны в разделе *«Состав научного комитета конференции ВНКСФ-26»*, *страницы 33-36*

Компьютерная верстка, редактирование: Арапов Александр, Арапова Елизавета, Бураева Елена (Ростов-на-Дону).

Составление информации первой части сборника: Арапов Александр, Вилена Валиуллина (Уфа).

Фото: Александр Арапов, Антон Харчевский (Москва), Роман Морячков (Красноярск).

Дизайн: Кайгородова Ольга (Екатеринбург), Александр Арапов, и творческий коллектив конференции.

Работа над диском, обработка базы данных флэш-диск: Арапова Елизавета, Арапов Александр.

Поддержка сайта: Александр Арапов.

Программирование, автоматизация: Алексей Исаков (Екатеринбург), Елизавета Арапова.

Сборник тезисов, материалы Двадцать шестой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-26, Уфа, Башкортостан): материалы конференции, тезисы докладов: В 1 т.Т.1 – Екатеринбург – Ростов-на-Дону – Уфа: ООО "Альтаир", 2020. – 444 стр.

В сборнике представлены тезисы докладов, посвященных различным аспектам современной физики, представленные на Двадцать шестой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, проходившей в г. Уфе, ДООЦ «Уральские зори» с 27 марта по 3 апреля 2020 г., а также итоги конференции ВНКСФ-25 и материалы, посвященные деятельности АСФ России за 2019 год.

289 тезисов, 442 страницы формата А4. Копия сборника на флэш-диске с персональными анкетами и фото участников конференции, а также архивы конференций ВНКСФ: 11-25 прилагается. С публикацией на сайте www.asf.ural.ru

Сборник предназначен для преподавателей, аспирантов, студентов, научных работников и прочих интересующихся современной физикой людей, работающих в области физических наук и смежных с нею областях.

ВНКСФ-26 проводится при поддержке: Института электрофизики УрО РАН, Башкирского государственного университета, Уральского федерального университета, Челябинского государственного университета, Института проблем сверхпластичности металлов РАН.

Оргкомитет конференции выражает благодарность всем ученым – физикам Уфы, Екатеринбургa, Челябинска, Магнитогорска и Российской Федерации за активное участие в конференции!

ISBN 978-5-91951-593-7

© Ассоциация студентов – физиков и молодых ученых России, 2020

© ООО "Альтаир", 2020

СОДЕРЖАНИЕ:

1. ВНКСФ снова на Урале! Добро пожаловать в Башкортостан..... 5

Мероприятия АСФ России в 2019 году:

2. ВНКСФ-25 – творческий и аналитический отчет оргкомитета и научного комитета 7
3. Официальные итоги конференции ВНКСФ-25..... 23

Общая информация о конференции ВНКСФ-26:

4. Состав оргкомитета ВНКСФ-26 30
5. Состав программного комитета ВНКСФ-26 32
6. Состав научного комитета ВНКСФ-26 и приглашенных лекторов 33
7. Статистика заявок, докладов и участия ВНКСФ-26 по секциям 39
8. Статистика заявок, докладов и участия ВНКСФ-26 по городам..... 40
9. Статистика всех конференций ВНКСФ 1-26..... 42

Тезисы участников конференции ВНКСФ-26:

10. Тезисы участников конференции с данными о каждом участнике конференции по секциям:
 - 01-Теоретическая физика, математическая физика..... 45
 - 02-Физика конденсированного состояния вещества 61
 - 03-Физика полупроводников и диэлектриков..... 109
 - 04-Физика атомного ядра и элементарных частиц. Физика высоких энергий. 139
 - 05-Электрофизика, электрофизические установки. Физика плазмы, плазменные технологии. 143
 - 06-Магнетизм. 161
 - 07-Оптика и спектроскопия 185
 - 08-Квантовая электроника и лазерная физика 215
 - 09-Физическая химия, химическая физика 221
 - 10-Астрофизика, физика космоса, современные и перспективные космические исследования и технологии..... 237
 - 11-Биофизика, медицинская физика 245
 - 12-Геофизика: земная кора, океан, атмосфера 263
 - 13-Акустика 281
 - 15- Механика. Теоретическая механика. Механика жидкости, газа и плазмы. Инженерная механика 291
 - 16-Материаловедение. Физика кристаллов. Наноматериалы и композиты..... 317
 - 17- Радиофизика. Электроника..... 361
 - 18-Приборы и методы экспериментальной физики. Информационные технологии в физических исследованиях 373
 - 19-Теплофизика и теплотехника. Процессы теплообмена..... 395
 - 20-Физика и экология. Экологические проблемы в энергетике..... 405
 - 21-Проблемы и методологии преподавания физики. История физики и техники 429
- Алфавитный указатель сборника по участникам конференции 441



Добро пожаловать в Башкортостан!

Столица Республики Башкортостан спустя 12 лет вновь рада приветствовать в своих стенах участников ВНКСФ-26! ВНКСФ проводится в Уфе уже во второй раз, и хочется надеяться, что не в последний. С каждым годом интерес студентов и преподавателей к ВНКСФ только растет, что не может не радовать. Представители Уфы, вузов и институтов республики ежегодно участвуют во всех конференциях ВНКСФ, привозят призы, дипломы и, конечно же, яркие эмоции и новые знакомства. Участники первых конференций ВНКСФ уже давно защитили кандидатские диссертации, многие преподают в БашГУ и других вузах города, некоторые уже стали доцентами. Поэтому, когда члены АСФ от БашГУ передали руководству Башкирского государственного университета о своем желании пригласить ВНКСФ в Уфу, уговаривать никого не пришлось.

Не всем известно, что один из первых в России физических институтов был открыт в Уфе в 1919(!) году и просуществовал до 1937 г., года. Директором УФИ был профессор К.П. Краузе, ученик О.Д. Хвольсона, автора известного курса физики того времени. Институт обеспечивал преподавание физики в учебных заведениях города, в экспериментальной мастерской института изготавливались серийно 23 наименования приборов, в том числе чувствительные гальванометры, для лекционных демонстраций и лабораторных работ в школах республики. В составе УФИ в 1933 г. функционировало 4 научно-исследовательские лаборатории: электрофизическая (руководитель профессор Е.Н. Грибанов), термическая (руководитель П.Г. Лавров), физико-техническая (руководитель доцент А.И. Глазырин), и химическая (руководитель профессор Е.М. Губарев).

Физики Уфы поддерживали активные контакты с коллегами других городов. С 1924 г. Уфимский физический институт входил в Российскую Ассоциацию физиков, а с 1929 г. функционировала Ассоциация физиков города Уфы во главе с К.П. Краузе.

Башкирский государственный университет фактически ведет свою историю с 1909 г., когда императорским указом был учрежден Уфимский Учительский Институт, преобразованный в 1919 г. в Институт народного образования (ИНО), а затем - в Башкирский государственный педагогический институт (1929), на базе которого в 1957 г. и был создан университет. При открытии ИНО одним из отделений было физико-математическое. Позднее оно было преобразовано в физико-математический факультет, который в 1974 г. уже в составе университета был разделен на физический и математический факультеты.

В Уфе сейчас несколько десятков университетов и НИИ различного профиля. Кроме институтов Академии наук Республики Башкортостан в городе действует Уфимский федеральный исследовательский центр РАН. Физика представлена в основном физическим факультетом Башкирского государственного университета, Институтом физики молекул и кристаллов (ИФМК), Институтом проблем сверхпластичности металлов (ИПСМ) РАН, Институтом механики (ИМех), а также кафедрами физики в Уфимском авиационном техническом университете, Башкирском государственном педагогическом университете, Башкирском государственном медицинском университете, Башкирском государственном аграрном университете и др.

Уфа - столица многонационального суверенного Башкортостана в составе Российской Федерации. Город основан в 1574 году. Роскошная природа Уфы и ее окрестностей обусловлена расположением в лесостепной зоне и близостью крупных рек. Неудивительно, что красоты края были замечены людьми еще в глубокой древности. На месте современного города археологи обнаружили остатки поселений первобытного человека. После падения Казанского ханства Башкирия добровольно вошла в состав Русского государства, и башкиры обратились к Ивану Грозному с просьбой о строительстве города - сторожа края. В 2007 г. Республика отпраздновала 450 лет присоединения Башкортостана к России.

Уфа находится в 550 км юго-западнее Екатеринбурга, в 1600 км от Москвы и 1750 км от Ростова-на-Дону. Чуть более ста километров отделяют город от хребтов седого Урала, одного из

красивейших мест России. Город живописно расположен на холмах, имеет неповторимый исторический, архитектурный и ландшафтный облик. Столица Башкортостана занимает возвышенное плато между обвивающими ее с трех сторон реками Агиделью (Белой рекой), Уфой и Демой. Современный город состоит из нескольких обособленных массивов, вытянут с юго-запада на северо-восток более чем на 50 км и занимает территорию в 468,4 кв. км. Население города более 1,1 миллиона человек. По промышленности в городе очень развито машиностроение, особенно нефтеперерабатывающее, химическая и нефтехимическая промышленность, производство двигателей. Также Уфа ценится приятным соседством с такими городами как Челябинск, Магнитогорск и Екатеринбург.

Соорганизатором ВНКСФ-26 в Челябинске является Челябинский государственный университет, физический факультет. Челябинский университет относительно молодой, он был организован в 1974 году и тем не менее стал первым "классическим" университетом на Южном Урале. Физический факультет был организован в 1978 г. и на сегодняшний день является ведущим физическим факультетом на Южном Урале. Сегодня на факультете ведётся подготовка специальностям: "Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем", "Медицинская физика", "Физика": "Теоретическая физика и астрофизика", "Физика наноструктур и оптоэлектроника", "Прикладная физика". Подготовка по специализации "Физическая гидродинамика" ведётся совместно с филиалом ЧелГУ на базе Федерального государственного унитарного предприятия "Государственный ракетный центр "КБ им. академика В.П. Макеева" (г. Миасс) и филиала кафедры общей и прикладной физики в Федеральном государственном унитарном предприятии "Российский федеральный ядерный центр "Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики" (г. Снежинск).

В Екатеринбурге основными соорганизаторами конференции являются Уральский федеральный университет и Институт электрофизики УрО РАН.

УрФУ является результатом слияния двух университетов: УрГУ и УГТУ-УПИ. Долгое время эти учреждения конкурировали между собой, но в 2010 году были объединены в одно учреждение, получившее статус федерального университета, датой рождения которого является дата учреждения Уральского государственного университета – 1919 год.

Самым активным участником ВНКСФ в УрФУ традиционно является Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета (бывший физфак УрГУ), который с 2011 года объединяет в себе физиков, химиков, биологов, а с 2016 года и математиков. Если говорить более конкретно, то основным организатором ВНКСФ в УрФУ является не весь ИЕНиМ, а один из его департаментов – "Физический факультет", который был образован еще в далеком 1931 году и обладает хорошей историей и достижениями. Основные направления в области физики: - магнетизм, теоретическая и математическая физика, физика конденсированного состояния и наноразмерных систем, астрономия, физическая химия. И так уже получилось, что именно здесь, в 1991 году появилась АСФ России, а в 1993 году была учреждена ВНКСФ.

Один из основных традиционных организаторов ВНКСФ – Институт электрофизики. Этот уникальный институт в системе РАН, был организован академиком Г.А. Месяцем и его коллегами в Екатеринбурге в 1986 году. Основные направления деятельности: - методы генерации мощных потоков корпускулярного и электромагнитного излучения, физика высоких плотностей энергии, проблемы импульсной энергетики, лазерная физика, нелинейная оптика, фазовые переходы и электродинамические процессы в конденсированных средах.

ВНКСФ-26 будут проходить также вблизи города Магнитогорска при участии Магнитогорского государственного технического университета имени Носова, созданного в 1934 году как центр подготовки инженерных кадров для горной и металлургической промышленности. Здесь же участники ВНКСФ смогут посетить крупнейший в России и один из самых крупных в мире Магнитогорский металлургический комбинат. А проживание и все мероприятия будут проходить в центре «Уральские зори», в одном из живописнейших мест Южного Урала.

Добро пожаловать в Уфу и солнечный Башкортостан!

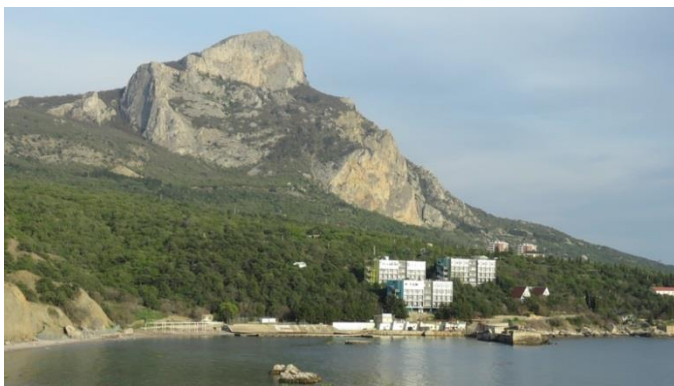
Добро пожаловать на Южный Урал, край металлургов, романтиков и физиков!

Творческий и аналитический ответ оргкомитета ВНКСФ-25

Двадцать пятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных проходила с 19 по 26 апреля 2019 года в Крыму, на территории Южного берега города Севастополь, детском оздоровительном центре «Ласпи».

Место проведения.

В этом году место для проведения этой конференции выбиралась особенно тщательно, с учетом расположения базы относительно крупных городов и научно-образовательных центров в сочетании с расстояниями до мест проведения экскурсионных программ. После решения Генеральной конференции АСФ России (в конце апреля 2018 года в Томске) – провести ВНКСФ-25 в Крыму, центральный оргкомитет ВНКСФ в сотрудничестве с коллегами из Крымского федерального университета (Симферополь) провел большую работу по поиску возможных мест проведения конференции.



Осенью 2018 года был проведен анализ информации обо всех наиболее подходящих базах (детские лагеря, пансионаты, санатории и т.п., всего более 50-ти вариантов). Далее были осуществлены поездки на автотранспорте по 12-ти отобранным организациям в три основных региона Крыма:



Евпатория, Алушта и Севастополь. В результате были отобраны три наиболее подходящих «кандидата»: - ДОЛ имени Юрия Гагарина (Евпатория); - пансионат «Волна» (Алушта) и ДОЦ «Ласпи» (Севастополь). В результате долгих обсуждений, в том числе с показом фото всех баз - кандидатов в интернет, - **был выбран ДОЦ «Ласпи»**. Основные преимущества: - относительная близость как к основным со-организаторам (80 км от КФУ, 60 км КрАО), так и к местам экскурсий (Ялта – 30 км, Севастополь – 20 км,

Горный Крым – 5 км), - очень красивое место расположения, - невысокая цена (750 р. с питанием в сутки), а также наличие множества универсальных площадок для нужд конференции (минус – не было большого актового зала).

По итогам проведения конференции ВНКСФ-25 её участниками была дана хорошая оценка работы данной базы, все согласились с тем, что место было выбрано удачно. Хотя, при этом, оргкомитету пришлось некоторые функции персонала брать на себя (выдача постельных принадлежностей, доставка воды, переноска мебели и подготовка залов, текущая уборка), иногда возникали некоторые сложности в оформлении отчетных финансовых документов.



Также впервые в истории ВНКСФ у неё было три места проведения: - день открытия 19 апреля в Симферополе (ФТИ КФУ), день проведения секции – семинара по астрофизике 22 апреля в Научном (КрАО), остальная работа проходила в Ласпи. Это была самая мобильная конференция за всю историю. Однако данная мобильность потребовала дополнительных затрат на транспорт.

Основные организаторы.

Традиционные основные организаторы конференции – Ассоциация студентов-физиков и молодых ученых России (АСФ России) и Институт электрофизики УрО РАН. **В этом году, в качестве основных со-организаторов в городе Южном федеральном округе и Республике Крым выступили:** Крымский федеральный университет - физико-технический институт (Симферополь), Крымская астрофизическая обсерватория РАН (Научный), Южный федеральный университет - физический факультет, институт физики (Ростов-на-Дону).



Из Севастополя принял участие Морской гидрофизический институт РАН: было проведено два визита – экскурсии в институт, специалисты МГИ также приняли участие в работе научного комитета.

Определенное участие также планировал Севастопольский государственный университет, однако впоследствии все намерения были сведены к участию всего нескольких студентов и преподавателей, что привело оргкомитет ВНКСФ к разочарованию в сотрудничестве с СевГУ в дальнейшем.

Реальную помощь в организации и работе конференции оказали: - студенты и преподаватели физического факультета, института физики Южного федерального университета, молодые ученые - сотрудники

ИЭФ УрО РАН, а также небольшой актив студентов и аспирантов ФТИ КФУ.

Традиционную активную организаторскую поддержку также оказали молодые ученые и студенты из других организаций и регионов России, которые приезжают индивидуально на ВНКСФ уже не впервые и всегда готовы принять участие в работе оргкомитета и научного комитета. В их числе наши коллеги и из Красноярска, Новосибирска, Екатеринбурга, Уфы, Москвы и других городов России.

Научная программа конференции. Анализ докладов по направлениям физики.

Основная особенность конференции ВНКСФ - широкий спектр научной тематики. В этом году секционные и пленарные доклады были представлены по **21** направлениям современной физики, в том числе в виде шести секций – семинаров (!), которые были сформированы по итогам принятых заявок от очных участников конференции, приглашенных лекторов (докладчиков) и анализа тем докладов. Внутри каждой секции последовательность выступлений докладчиков формировалась исходя из темы докладов, близкие по своим темам доклады в необходимых случаях формировались в «подсекции». Секции, которые имели в своем составе мало очных докладов, проводились в рамках одной секции – семинара с другой секцией, наиболее близкой по тематике и географии её участников. Таким образом, в этом году **было сформировано три группы секций**, которые были проведены в виде объединенных секций – семинаров. Это позволило увеличить посещаемость заседаний конференции и значительно сэкономить общее время. (см. данные на сайте ВНКСФ)





Наибольшее число докладов в этом году было представлено по физике конденсированного состояния вещества, материаловедению, магнетизму, оптике и спектроскопии, оптике и спектроскопии, а также астрофизике. Причем, в отличие от прошлого года, когда в Томске основную «погоду» в секциях делали местные участники конференции, в этот раз все сложилось иначе: коллеги из Крыма значительно повлияли на количество докладов лишь в двух секциях: физика конденсированного состояния вещества (ФТИ

КФУ), астрофизике (КрАО) и проблемам преподавания физики (СевГУ). В остальных секциях наибольшую активность проявили участники конференции из Красноярска (!), Томска, Екатеринбургa, Уфы и Ростова-на-Дону и других городов России.

Анализ многих докладов, особенно обзорных со стороны молодых ученых, подтверждает развитие сотрудничества и интеграции в совместных научных исследованиях университетов, институтов РАН с новыми научными центрами в университетах, центрами коллективного пользования, а также предприятиями, заинтересованными в перспективных (даже теоретических) исследованиях в данных направлениях, которые вскоре могут привести к конкретным разработкам.

Соотношение количества представленных работ из академической среды (молодые ученые), - к университетской осталось прежним - примерно «30» на 70». (хотя это деление весьма сейчас условно, зачастую студент сам - из университета, а научный руководитель, также молодой ученый, из института). Хотя в этом году представительство университетов было значительно больше, чем в прошлом году: 64 на 26. Результаты многих докладов были подготовлены к публикации заранее, а



некоторые уже опубликованы в других источниках. Многие представленные работы выполняются в рамках различных проектов, в том числе поддерживаемых РФФИ.

Однако особое внимание оргкомитет ВНКСФ привлекают доклады и тезисы, которые являются первыми для их авторов и потому оригинальными и весьма ценными. Таких было представлено в процентном отношении больше, чем в прошлом году: примерно 30% (!) (около 140 тезисов и 40 докладов от студентов 1-4 курсов).

Докладчики представляли результаты как «классических»: фундаментальных, теоретических и экспериментальных исследований, так и работ в различных смежных областях. Наиболее широко были представлены следующие актуальные направления исследований по секциям: - физика конденсированного состояния вещества: *мессбауэровские исследования материалов, ферромагнетики*; - магнетизм: *магнитные свойства материалов, изучение свойств ферромагнетиков, процессы перемагничивания в пленках*; - оптика – лазеры, квантовая электроника: *сингулярная оптика, акусто-оптика, синхротронное излучение, газоразрядные лазеры*; - материаловедение: *исследования структуры металлов, памяти форм в сплавах*; - астрофизика: *исследования переменных звезд, внегалактическая астрофизика, радиопульсары*. А также множество других актуальных исследований в других направлениях. Особенно часто в «смежной области» оказывались работы, где объект исследований из одного раздела физики, а методология исследования – из другой, а потому представляли интерес для коллег из разных направлений физических исследований и поэтому заседания данных секций были объединены в одну группу, или в один день.

Программа пленарных и обзорных докладов. «Физическая школа» ВНКСФ.

Оргкомитет ВНКСФ продолжает работу по развитию пленарной программы и проведению секций – семинаров, итогом которой стало появление на площадке конференции ВНКСФ второй большой и по сути уникальной программы – «физической школы ВНКСФ». В этой программе участвуют как молодые ученые, которые уже давно традиционно участвуют в работе конференции, начиная со студенческих лет – до кандидатов наук, так и их более взрослые коллеги. В рамках заседаний секций, или специальных пленарных программах они представляют доклады как в виде обзоров на актуальные темы исследований по тематикам секций, так и результаты передовых, новых исследований и разработках.



Также, как и в прошлые конференции, в этом году программа пленарных и обзорных докладов состоялась благодаря долгой и кропотливой работе организаторов конференции с приглашаемыми докладчиками из разных регионов России. Большую помощь в формировании программы оказали



наши коллеги из Физико-технического института Крымского федерального университета (Симферополь), Крымской астрофизической обсерватории (Научный) и физического факультета, института физики Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Таганрог). Оргкомитет также высоко оценил вклад в формировании программы наших коллег из Севастополя (МГИ, СевГУ), а также наших коллег из научных центров на Северном Кавказе (САО, БНО) и одного из основных организаторов конференции -

Института электрофизики УрО РАН.

В результате этой работы во время конференции удалось организовать 6 программ (!), которые были проведены в режиме секций - семинаров. Три из них, «самодостаточные», это: - физика конденсированного состояния вещества (проходила в свою очередь по трем подсекциям); - материаловедение и астрофизика, перспективные технологии для исследования космоса. Еще три секции – семинара представляли из себя группы из нескольких секций (см. табл. 1) и проводились по объединённой программе. Таким образом, нам удалось сделать программы секций насыщеннее, интереснее и поднять посещаемость секций.

К слову, **параметр посещаемости заседаний** является одним из основных для конференции любого уровня, а тем более ВНКСФ. Благодаря такой небольшой «модификации» работы секций, заинтересованность в посещении, не смотря на насыщенную экскурсионную программу, по сравнению с прошлым годом возросла.



Довольно много коллег посещало секции не своего профиля, что позволило некоторым небольшим секциям, имеющим в своем составе всего несколько докладчиков, получить приличную аудиторию до нескольких десятков человек. Однако, как и в прошлом году, нам не удалось добиться активного участия, хотя бы режиме слушателей от местных участников конференции. Таких массовых неявок, как в Томске, конечно, не было, но мы также обратили внимание, что, например, на пленарной



программе открытия снова были только почти все иногородние участники (не смотря на освобождение от занятий для местных), также наблюдались неявки на доклады во время работы конференции и т.д. Оргкомитет ВНКСФ связывает это в основном со слабой работой локального комитета и руководства местных организаторов по привлечению студентов к участию в программах ВНКСФ. Хотя в этом есть и недоработка оргкомитета в целом. Оргкомитет ВНКСФ проанализирует эти данные и сделает выводы.

Всего же, в данной программе, удалось провести **26 пленарных докладов (или лекций длительностью от одного часа до двух, при привлечении всей аудитории участников конференции), а также 36 обзорных доклада (длительностью от 30 до 50 минут), прочитанных во время работы секций и на программе открытия.**

Ведущие тематики пленарных докладов: теоретическая физика, физика конденсированного состояния вещества, магнетизм, астрофизика, электрофизика, оптика и спектроскопия, материаловедение, геофизика, автоматизация экспериментов и исследований, медицинская физика, проблемы преподавания физики. После каждого пленарного доклада (а по сути – лекции) по данным темам как правило задавалось большое количество вопросов и окончание пленарного заседания постепенно переходило в форму круглого стола (если позволяло время).



На ВНКСФ-25 оргкомитет привлек к участию молодых, но уже известных, а также опытных ученых из многих регионов России: - **Екатеринбурга, ИЭФ УрО РАН:** академик РАН Садовский Михаил Виссарионович, член.

кор. РАН Некрасов Игорь Александрович, молодые ученые: Чепусов Александр Сергеевич, Гусев Антон Игоревич; - **Новосибирска:** Двойнишников Сергей Владимирович, Исламов Дамир Ревинирович, Голицын Александр Андреевич; - **Красноярска:** Шауро Виталий Павлович, - **Уфы:** Закирьянов Фарит Кабирович, Габдрахманова Лилия Айратовна; - **Перми:** Ильин Владимир Алексеевич; - **Дубны:** Катков Всеволод Леонидович, Карпов Александр Владимирович, Мерц Сергей Павлович; - **Москвы:** Любутин Игорь Савельевич; - **п. Нейтрино (БНО):** Петков Валерий Борисович; - **п. Нижний Архыз (САО):** Трушкин Сергей Анатольевич; - **Новороссийск:** Шеманин Валерий Геннадьевич; - **Таганрог:** Усенко Ольга Александровна, Пивнев Пётр Петрович.



Настоящий десант из ученых прибыл из **Ростова-на-Дону**, Южного федерального университета по главе с директором института физики Вербенко Ильи Александровичем и зам. директора Бураевой Елены Анатольевны. В ставе делегации также были: Малышевский Вячеслав Сергеевич, Сарычев Дмитрий Алексеевич, Колосов Михаил Станиславович, Петрова Галина Григорьевна, Панчишкина Ирина Николаевна, Файн Евгений Яковлевич, Файн Марина Борисовна.

Оргкомитет ВНКСФ-25 выражает нашим коллегам огромную благодарность за решение, найти время и средства, чтобы принять участие в нашей конференции!

От коллег – физиков и соорганизаторов ВНКСФ-25 из **Симферополя**, физико-технического института Крымского федерального университета приняло участие более 30-ти ученых и



преподавателей (больше, чем студентов). Особенно хотелось бы отметить непосредственное участие и помощь в организации работы научного комитета конференции заведующих трех основных кафедр ФТИ КФУ: - экспериментальной физики (Бержанский Владимир Наумович), - общей физики (Воляр Александр Владимирович), - радиофизики и электроники (Старостенко Владимир Викторович) и Стругацкого Марка Борисовича (физика твердого тела).

Разумеется отдельно надо отметить подготовительную работу и проведение секции – семинара по астрофизике в КраО (**п. Научный**) : директор КраО Ростопчина-Шаховская Алла Николаевна, ученый секретарь КраО Бакланов Алексей Владимирович, председатель научного жюри секции Гранкин Константин Николаевич. Особо также хотелось бы выделить лекцию Кувшинова Владимира Михайловича (ФТИ КФУ).

Оргкомитет конференции также выражает большую благодарность за участие в работе конференции наших коллег – физиков из **Севастополя**: Багаев Андрей Владимирович (МГИ РАН), Лисютин Виктор Александрович, Бойчук Любовь Ярославовна, Рогова Ольга Валентиновна (все- СевГУ).



Программа всех пленарных и обзорных докладов прилагается к отчету.

Анализ представительства участников конференции по регионам.

Традиционное широкое региональное представительство участников конференции: **50 городов России и стран ближнего зарубежья, 90 университетов и НИИ. Общее количество заявок на конференцию 384, общее количество участников – 331 человек.** Очное количество участников – около 220 человек (вместе с учеными, принимавшими участие в научном жюри и приглашенными докладами - 305 человек).

Одна из традиций ВНКСФ – её меняющееся ежегодно география, или место проведения. При этом



есть одно правило: год в Европейской части России, год – на Урале и год на востоке – в Сибири. И обычно представительство участников конференции по регионам зависело от того – в какой части России проводится ВНКСФ. Однако в этом году этот параметр практически не играл никакой роли. Единственный университет, кроме КФУ, который «вписался» в это правило – это Южный федеральный университет (практически вся делегация приехала на арендованном автобусе).

В этом году до ВНКСФ-25 было одинаково сложно добираться почти всем. Тем интереснее было оргкомитету узнать – а что в итоге получилось? Итак, по регионам первое место за...Сибирью – более 60-ти очных участников (!), второе – за ...Уралом – 39 участников, а Южный регион (кроме Крыма) занял только почетное третье место – 38 человек. Впервые в нашей конференции приняли участие наши коллеги из Донецка. Центральная же часть России (в т.ч. Москва), вместе с севером и Поволжьем не более 30-ти человек. То есть ВНКСФ подтверждает своё «реноме» - как «Урало-



Сибирская» конференция, а история я Крымом дает повод задуматься над тем, что, вообще говоря, не в расстоянии дело, а в самом месте проведения. Достаточно привести один красноречивый пример: в прошлом году в Томск из Красноярска приехало всего 8 человек, а в Крым – 14! Так, или иначе, но фактор Крыма поднял общую численность участников ВНКСФ-25 почти на 25% и об этом стоит задуматься при подготовке уже следующей конференции. Особенно с учетом того, что посещаемость

конференции в последние годы почти никак не зависит от так называемого фактора «местных участников», они одинаково хорошо, или одинаково плохо поедут на конференцию как в пригороде, так и за 100 км от своего университета.

Так же на географию, количество приезжих молодых коллег, студентов влияют и местные школы физики. В этом году этот фактор довольно серьезно повлиял на приезд коллег по следующим направлениям: - астрофизика (научный центр - КрАО), - физика твердого тела, магнетизм (научные центры и образовательные школы ФТИ КФУ).

Подробнее о географии и составе участников конференции можно посмотреть в сборнике тезисов и на сайте конференции.



Формирование и деятельность научного комитета

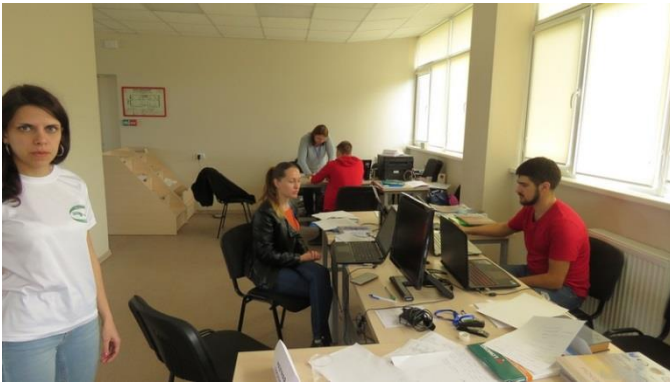
В этом году на ВНКСФ-25 приняло участие 88 ученых и преподавателей, из них в работе научного комитета приняли участие 63 человека, которые обладали специализацией почти во всех направлениях работы конференции. В том числе иногородних молодых и взрослых ученых – 28 (из них заочно приняли участие 8 в качестве экспертов).



По технологии, времени формирования и возрастному принципу, в первую часть научного комитета ВНКСФ вошли молодые ученые - физики и аспиранты, которые являются членами АСФ России из разных регионов и на конференции выполняют функции «научного секретаря», или «эксперта» секции. Они с самого начала просматривают все поступающие тезисы, ведут заочную работу с участниками конференции, а затем, уже на конференции, ведут работу секции и, совместно с

остальными членами НК данной секции, - подводят итоги. Эта часть научного комитета была **сформирована еще за четыре месяца до начала конференции.**

Остальная часть научного комитета, в которую входили в том числе и более возрастные и известные ученые, началась формироваться **за три месяца до начала конференции.** Окончательное формирование состава научного комитета, вместе с программой пленарных и обзорных докладов, произошло примерно **за месяц до конференции.**



Работа научного комитета (или программного комитета) состояла из двух этапов: заочное, предварительное рассмотрение работ (через интернет, перед публикацией), в которой **приняли участие 22 эксперта** – молодых ученых из разных городов России (научные секретари, или эксперты секций). На данном этапе во многих случаях работы не просто просматривались, но также велось их обсуждение, дискуссии и давались полезные рекомендации по исправлению и улучшению работ участников конференции. На втором

этапе, непосредственно на ВНКСФ, научный комитет работал уже в полном составе непосредственно на заседаниях секций и итоговых совещаниях научного комитета по секциям (подведение итогов).

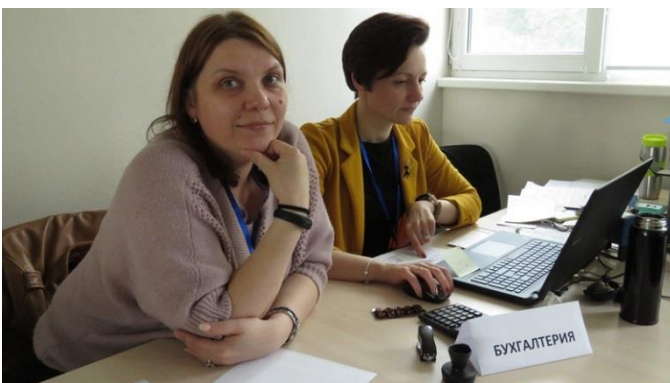
По итогам каждой секции все члены научного жюри заполняли итоговый протокол и далее сводный протокол работы секции с выставлением оценок каждому участнику секции, в том числе по стендовым докладам. После итогового совещания жюри секции оргкомитет конференции также старался, по мере наличия времени и возможности, **проводить итоговое заседание секции**, где представители научного жюри подводили итоги работы, давали рекомендации молодым коллегам и затем вручали сертификаты участникам конференции.

Составы научного и программного комитетов формировались с ноября 2018 года. Местная часть научного комитета (Симферополь, Научный, Севастополь) стала формироваться с середины декабря 2018 года. Полностью научный комитет вместе с приглашенными учеными – докладчиками был сформирован в начале марта 2019 года.

При этом в программный комитет вошли представители руководства двух университетов (КФУ, ЮФУ), двух институтов (ИЭФ УрО РАН, КраО РАН), как со-проводящие организации (отвечающие за проведение конференции), а также выбранные руководители местного научного комитета.

По научным направлениям небольшая нехватка специалистов в Крыму в области молекулярной физики, электрофизики, атомной, ядерной физики, физики низких температур, биофизики, физической химии, геофизики автоматизации эксперимента и радиофизики была также практически устранена благодаря участию наших коллег из Ростова-на-Дону, Новороссийска, Волгограда, Екатеринбурга, Дубны и Новосибирска.

Формирование и деятельность оргкомитета



В сферу деятельности оргкомитета входит как предварительная подготовка, так и все основные организационные моменты в работе конференции: проживание и питание на месте проведения, транспорт, издание материалов конференции и атрибутики, работа залов и оборудования, регистрация участников, оформление всех необходимых документов, организация и проведение всей программы ВНКСФ в комплексе, экскурсии, культурная программа и многое другое.

Отметим при этом что ВНКСФ – единственная конференция в России, которая, на наш взгляд, **использует правильный термин** –

«Оргкомитет» - это те люди, которые занимаются именно организацией и непосредственной работой на конференции. Руководство организаций, которые участвуют в проведении конференции, авторитетные ученые входят в так называемый «программный комитет», состав которого также публикуется на сайте и в материалах конференции.

Начало работы оргкомитета данной конференции – с конца октября, а окончание – не ранее конца мая. В подготовительном периоде в его работе принимают участие в постоянном режиме – от 2 до 4 человек с привлечением на общественных началах до 10-ти человек. Режим работы оргкомитета во время конференции – практически круглосуточный.

ВНКСФ-25 традиционно подготавливались оргкомитетом, состоящим из студентов - физиков и молодых ученых, в том числе - членов Ассоциации студентов - физиков и молодых учёных из разных регионов России.

В этом году в отличие от последних нескольких лет состав оргкомитета был небольшим - всего 16 человек из Екатеринбурга (ИЭФ, УрФУ), Симферополя (ФТИ КФУ), Научного (КрАО), Ростова-на-Дону (ЮФУ) и Тамбова. В силу небольшого опыта в проведении конференций, местный оргкомитет



был представлен не так широко как обычно – всего 5 человек. Но благодаря этому нам удалось в этом году сформировать единый коллектив и провести большой объем работ небольшим коллективом на высоком уровне. Ядром оргкомитета ВНКСФ-25 стали более опытные коллеги из регионов и организаций России: Екатеринбург (ИЭФ УрО РАН, УрФУ), Ростов-на-Дону (ЮФУ) и 3 человека из физико-технического института КФУ. Большую помощь во время проведения первого дня в Симферополе оказали

руководство ФТИ КФУ (Глумова Мария Всеволодовна, Яворский Максим Александрович), студенты и сотрудники Крымского федерального университета. Непосредственно же в ДОО Ласпи любую посильную помощь оргкомитету оказывали сами участники конференции.

Итоговая нагрузка, таким образом, распределилась следующим образом: в этом году при подготовительных работах конференции более 70% нагрузки выпало на межрегиональную часть оргкомитета. При подготовительных мероприятиях в самом Крыму основную нагрузку на себя взяли небольшой актив из ФТИ КФУ (3-4 человека), студенческая же часть оргкомитета смогла включиться в работу только непосредственно перед конференцией, всего на несколько дней. При этом мы отмечаем возрастающую в последние годы инертность и отсутствие желания принимать участие в какой-либо организации от студентов, магистрантов и аспирантов.

В связи с данными процессами оргкомитет ВНКСФ все больше приходит к выводу о формировании активного «ядра» оргкомитета из разных регионов России и всю основную работу проводить, опираясь именно на этот состав. Но местных участников также необходимо включать в работу в качестве «стажировки» и далее, при обоюдном желании, приглашать их в свой состав на следующий год.



Тем не менее, оргкомитет справился с поставленной задачей: на итоговом заседании конференции работе оргкомитета была дана высокая оценка в подготовке и проведении конференции – 4,2 балла из 5-ти. Состав оргкомитета прилагается к отчету, а также публикуется на сайте ВНКСФ.

Итоги конкурсной программы

Традиционно на ВНКСФ проводится конкурс представленных работ, по итогам которого его участникам вручаются дипломы в торжественной обстановке во время закрытия конференции. В этом году конкурс проводился по трем «возрастным категориям»: студенты младших курсов (1-4), студенты старших курсов (5,6, магистратура), а также аспиранты и молодые ученые.



Дипломами конференции отмечены 58 докладов. Из них в том числе: студентов младших курсов – 23, студентов старших курсов и магистрантов – 19, аспирантов и молодых ученых – 16. То есть, основное внимание было уделено самым молодым участникам конференции. ВНКСФ продолжает отмечать рост активности студентов самых младших курсов по отношению к магистратуре и аспирантуре уже третий год. В конкурсе также принимали участие около 10-ти заочных докладов, представленные в виде стендов, которые получили в том числе несколько дипломов. Конкурс на получение дипломов был довольно высоким: по отношению к общему количеству очных участников конференции дипломы получил только каждый четвертый участник конференции, что повысило их значимость. Оргкомитету нашей конференции всё же удастся постепенно изменять ситуацию по форме участия местных участников конференции: практически все доклады были представлены в очном виде (устно, или в виде стенда с представлением участника). Процент неявки



среди местных участников был гораздо ниже, чем в прошлом году в Томске. Исключение составил лишь Севастопольский университет, где из 10-ти заявившихся участников на конференцию приехали всего четверо. В дальнейшем организаторы ВНКСФ будут продолжать работу в этом направлении, конечной целью которой является полноценное и осознанное участие на всей программе конференции всех зарегистрированных участников.

По мнению научного жюри конференции почти все работы, получившие дипломы, являются оригинальными научными исследованиями, выполненными на хорошем профессиональном уровне. Список участников, чьи работы были наиболее интересными и отмечены дипломами конференции, публикуется на сайте конференции отдельно с демонстрацией их фото, координат и анкетных данных, включая информацию о научном руководителе и научном центре, где они выполняют свою работу.



Кроме дипломов всем участникам конференции (которые присутствовали на всей программе своей секции) были вручены сертификаты – благодарности за очное участие в конференции в торжественной обстановке, в конце работы каждой секции.

Сайт, трансляции и интерактивная база данных ВНКСФ

В течение всего года постоянно работал сайт конференции (АСФ России – www.asf.ural.ru) – это постоянный сайт ВНКСФ, с возможностью интерактивного заполнения заявок на конференцию.

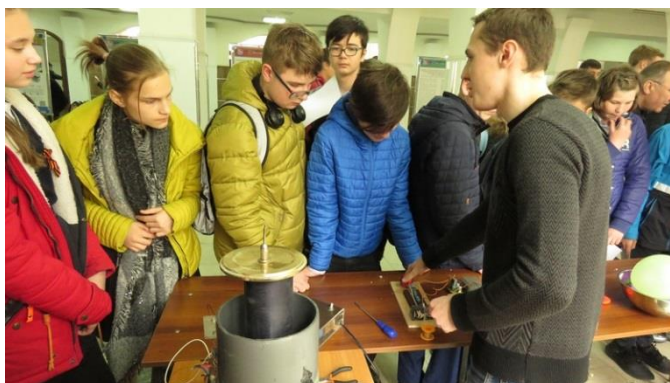


При подготовке конференций ВНКСФ активно используются современные информационные интернет - технологии и развитие в этом направлении продолжается. На сегодня на сайте конференции доступны тезисы девятнадцати (!) из всех проведенных конференций. Непрерывно увеличивается объем полезной информации на сайте ВНКСФ по всем двадцати пяти проведенным конференциям – от научной – до сугубо информационной и культурной. На сайте

можно увидеть не только тезисы, состав научных, оргкомитетов всех конференций, фотогалереи, но также и полезные советы и рекомендации по оформлению тезисов, составлению докладов, общих организационных советов студентам и молодым ученым. Также на сайте работает уникальный раздел с описанием программы устных докладов секций, с представлением их презентаций и итоговыми оценками научного жюри (итоговый рейтинг участника).

Работает также т.н. «мобильный» интерфейс сайта с возможностью просмотра на смартфонах и группа в социальной сети «В контакте».

Второй год в истории проведения ВНКСФ была организована непрерывная интернет-трансляция почти всех заседаний конференции (в том числе пленарных программ, программы закрытия и вечерних программ), с одновременной записью. Пока только по одному каналу, с одного – большого зала, с применением одной камеры. Но это новшество уже успели оценить многие наши коллеги из других городов России. В следующем году планируется запустить уже два канала (с двух залов), с применением более удобных компактных микрофонов и режиссурой прямого эфира. В связи с введением интернет-трансляций заседаний ВНКСФ готовится к выпуску раздел с видео докладов и лекций на конференции.



Редколлегия сайта ВНКСФ работает в течение всего года, есть также форум.

Оргкомитет, АСФ России также ведут работу по созданию и обновлению базы данных «Физики в России», которая доступна (по принципу «Википедии») для общего пользования в сети интернет.

Дополнительные научные программы и акции

В этом году продолжила свое развитие программа ВНКСФ - **проведение во время официального открытия – «фестиваля физики»**. В этом году её организацию почти



полностью взяли на себя творческие студенческие научные коллективы из физико-технического института Крымского федерального университета и физического факультета Южного федерального университета. Суть фестиваля в том, что за четыре часа до начала открытия в холлах 1 и 2 этажей здания ФТИ на проспекте Вернадского – 4 силами студентов-физиков, преподавателей из этих университетов и АСФ России был организован показ одновременно более 20-ти физических опытов и опытных роботизированных установок за которыми в восторге наблюдали и вникали в суть эксперимента не только участники конференции, но и приглашенные школьники, гости и представители прессы.



Также была попытка продолжения еще одной новой программы – презентации магистерских программ университетов России. Такую программу мы впервые проводили в прошлом году в Томске и, в принципе, идея многим понравилась. К стендам 5-ти университетов тогда подходили участники конференции, местные студенты, однако посещаемость была невысокой. В этом году были представлены всего два стенда: от КФУ и ЮФУ, а также презентационные материалы технополиса Министерства

обороны РФ «Эра» (Анапа). Кроме того в рамках данной программы и пленарной программы открытия состоялись выступления - презентационные доклады об истории физики и астрономии в Крыму и своих организациях: ФТИ КФУ (директор Глумова М.В.) и КраО (директор Раstopчина-Шаховская А.Н.) Оргкомитет ВНКСФ намерен в дальнейшем развивать данные программы на следующих конференциях.

Таким образом, открытие конференции ВНКСФ приобрело не просто живой и праздничный вид, но также стало приносить свой вклад в вовлечение старшеклассников на поступление в университет и помогать студентам в их будущей ориентации в поступлении на магистратуру.



Конференция ВНКСФ, таким образом, становится универсальной площадкой, способной привлечь во время своего проведения множество других форм и программ, имеющих, в конечном итоге одну цель – повышение интереса к физике, уровня физического образования в России.

Программа визитов в научно-технические центры

Одно из самых интересных направлений деятельности ассоциации студентов-физиков России - программа визитов в крупнейшие научно-технические центры России. Эта программа появилась



почти сразу же после возникновения АСФ России и впервые была проведена во время первой Всероссийской научной конференции студентов-физиков (ВНКСФ-1) в 1992 году. Первым объектом посещения тогда стала Белоярская АЭС (город Заречный под Екатеринбургом).

За 29 лет в рамках данной программы, только во время проведения конференций ВНКСФ, было организовано множество интереснейших экскурсий - визитов в научно-технические и образовательные центры России в:

Екатеринбурге, Заречном, Снежинске, Томске, Красноярске, Железногорске, Санкт-Петербурге, Москве, Новосибирске, Кемерово, Ростове-на-Дону, Уфе, Омске, Волгограде, Архангельске, космодроме Плесецк, Ижевске...

АСФ России придаёт этой программе большое значение, так как она позволяет ее участникам осознать роль физики, физических и физико-технических исследований - в современных достижениях Российских технологий, стимулировать профессиональный рост студентов-физиков и придать более четкую ориентацию для своей будущей карьеры.

В этом году участники конференции посетили в день открытия несколько лабораторий физико-технического института КФУ



(Симферополь), музей минералогии, ботанический сад. В Научном был проведен целый комплекс экскурсий в три группы по Крымской астрофизической обсерватории. Кроме того была организована отдельная поездка в Симеиз. В Севастополе участники конференции дважды посетили с визитом Морской гидрофизический институт с его уникальным музеем. Вообще же Крым и освоение космоса связывает очень многое. И в последний день конференции мы смогли также посетить в Евпатории



Центр дальней космической связи (однако, нам показали всего лишь музей воинской части с некоторыми «уникальными» экспонатами, а сами антенны мы наблюдали только из за забора) а несколько человек даже побывали на историческом полигоне в п. Школьное, где испытывались советские Луноходы.

После проведения этой программы и конференции оргкомитет создает специальную фотогалерею на сайте ВНКСФ. Развитие данных программ, не смотря на

большие временные затраты будет продолжено.

Культурная программа конференции.

Кроме обязательной научной программы конференции её оргкомитетом были организованы: широкая культурная программа: Вечер знакомств (игра «100 к 1») между четырьмя сформированными командами физиков из разных регионов России и СНГ: «АБИА», «Три таблетки», «12 подвигов физиков», «Таверна 79 слитков». В дальнейшем эти же команды участвовали в конкурсах: «А Ну – Ка, Физики!», «Мисс Физика», «Дядя Физик», видео-фото конкурсе «Виртуальные Дни Физика», празднике «Экватор». Также была проведена небольшая спортивная программа:, в том числе матч по волейболу на открытой площадке вечером, под свет софитов, а также «Веселые старты» и ночной «квест». Необычность расположения базы ВНКСФ-25 – в заповедном горном районе, непосредственно на берегу моря привела в восторг наших коллег – физиков из Урала и Сибири. Для многих из них на конференции это было впервые – оказаться в конце апреля почти летом! Некоторые даже смогли скупаться в море и совершить самостоятельные пешие походы на близлежащие вершины... Все



культурные и спортивные мероприятия проводились в основном после ужина, без ущерба для основной, научной программы конференции.

В течение всей конференции работал музей АСФ, ВНКСФ и клуб конференции, под который было выделено отдельное большое помещение с удобными местами для отдыха и общения.



Оргкомитет ВНКСФ-25 в этом году предложил участникам конференции не просто большую, а потрясающую программу экскурсий по основным достопримечательностям Крыма и Севастополя. Было предложено 6 вариантов (!) экскурсионных программ по Южному берегу Крыма и Горному Крыму. Дополнительно две полноценные экскурсии – путешествия на весь день по Севастополю для всех участников ВНКСФ-25, без исключения. Для того, чтобы данные экскурсии были не в

ущерб проведению научной программы, - они дублировались: например, если кто то не мог посетить в данный день данную экскурсию, то в другой день предлагалась точно такая же экскурсия. Учитывая то уникальное место, в котором мы находились, основная научная программа конференции также была сформирована с учетом экскурсионных программ (особенно с учетом визитов в Крымскую астрофизическую обсерваторию и Севастополь).

Фото-отчет о данных программах также публикуется на сайте ВНКСФ.

Издательские материалы конференции.

Работа над конференцией начинается задолго до ее начала – с подготовки к выпуску ее изданий. На эту работу уходит более двух месяцев. Сборник тезисов конференции подготавливался её оргкомитетом и творческим коллективом Ассоциации студентов-физиков России. Кроме его безусловного распространения среди участников конференции и её гостей, Ассоциацией и оргкомитетом организовано распространение сборника по библиотекам вузов России.



Как и в прошлом году основной тираж сборника вышел в виде специального фирменного флэш – диска и одновременно бейджа, объемом до 16 Гбт, тиражом до 400 экземпляров. Диск конференции является, по сути, уникальной базой данных, содержащей анкеты каждого участника конференции и своим уникальным интерфейсом и навигацией. В него вошли не только материалы данной конференции, но и всех конференций ВНКСФ, начиная с ВНКСФ-6 (с 1999 г.), а также с большой базой данных по всем участникам конференций, начиная с ВНКСФ-11 (с 2004 года), фотогалереями и даже видеоклипами. Научный комитет отмечает, что ВНКСФ на сегодня до сих пор является единственной конференцией в России, обладающей не только подобным изданием в электронном и печатном виде. Тем не менее, выпуск в твердом, бумажном виде сохраняется и выпускается тиражом до 200 экземпляров. Общий объем сборника формата А4 составил 602 страницы с публикацией 403 тезисов. Большинство тезисов опубликовано в РИНЦ.



Кроме сборника и диска отдельным тиражом

также были выпущены: программа конференции в виде буклета, оригинальные ручки, папки, значки, буклеты и постеры. Весь дизайн атрибутики разрабатывался творческим коллективом оргкомитета ВНКСФ-25 из Екатеринбурга и Симферополя.

По итогам конференции ВНКСФ-25 на сайте АСФ России подготавливается к выпуску подробный отчет, фотогалерея, видеофильм о конференции, а также другие материалы научного, культурного и аналитического плана.

На итоговом заседании конференции ВНКСФ- 25 была дана положительная оценка работе оргкомитета конференции, а также принято решение о проведении очередной конференции ВНКСФ-26 в конце марта 2020 года на Южном Урале (Уфа - Челябинск).

Общие итоги, анализ и развитие программ ВНКСФ.

Во время конференции проводится специальное анкетирование, или опрос её участников. Сейчас оргкомитетом получено множество предложений по улучшению качества и эффективности проводимых программ. Основной «посыл» всех предложений - как добиться большей популярности ВНКСФ, посещаемости её мероприятий,



показать участникам конференции, что эта конференция не для формального участия, а для реальной работы и общения, сделать конференцию ВНКСФ «универсальной платформой» для проведения различных форм мероприятий. Основные предложения следующие:

- обновление сайта, создание более простого и доходчивого интерфейса, в том числе адаптированного к смартфонам. Развитие мультимедийной составляющей и в дальнейшем;
- создание видеоклипа – обращения к потенциальным участникам конференции с рассказов об основных целях нашей конференции, для чего она вообще нужна и проводится;
- повышение дисциплины участников, ужесточение регламента;
- повышение эффективности работы оргкомитета, модернизация его состава и структуры;
- более плотная и непосредственная работа с учеными – членами научного комитета и другие предложения.

Основные нововведения, принятые в прошлом году приняты и частично осуществлены.

Если же говорить о конференции ВНКСФ, как о явлении среди научных молодежных мероприятий в России, то можно отметить следующее:

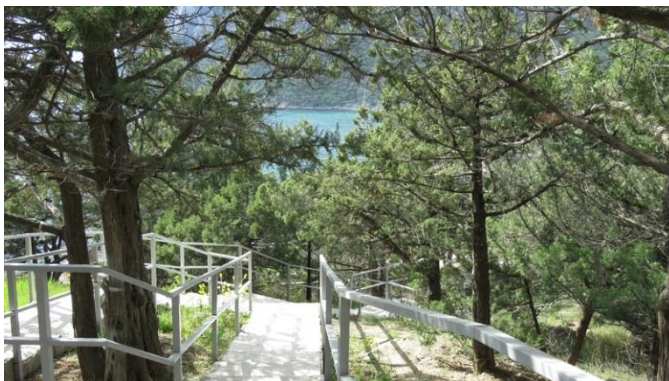
- такого рода конференции оказываются чрезвычайно полезными в стратегическом плане - **в профессиональном росте студентов, становления молодого ученого:** здесь происходит непосредственный обмен информацией о новых перспективных направлениях и задачах в физике, **получение независимой квалифицированной оценки своей работы** (направления исследований);



- на конференциях, подобных ВНКСФ, где **одновременно имеют возможность выступить как опытные участники – аспиранты и молодые ученые, так и студенты младших курсов** - участники приобретают неоценимый опыт работы на конференциях, получают положительный импульс в своем дальнейшем обучении и научной карьере;
- такие **универсальные конференции**, как ВНКСФ, где представлены практически все направления физических исследований, дают возможность появляться во время ее работы, "на стыке" различных направлений исследований в области физики, - обсуждениям на уровне "круглых столов", или «смешанных секций», где вполне определенные научные темы, или доклады обсуждаются

участниками из разных секций конференции, что несомненно вызывает повышенный интерес. Кроме того, ВНКСФ дает возможность ее участникам принять участие в работе других секций, где они могут найти для себя определенный интерес;

- кроме того, такие **конференции, организуемые самими студентами и студенческими организациями**, важны и потому, что студенты приобретают неоценимый опыт в организации научных мероприятий, которые в свою очередь благодаря именно этим факторам **становятся очень популярными среди студенчества России** и, таким образом, стимулируют участие студентов России в подобных конференциях. В итоге создается



саморазвивающаяся система, способная самостоятельно работать при определенной минимальной поддержке на благо образования и науки России. **Организация конференций подобных ВНКСФ самими студентами и молодыми учеными, имеет большое значение, так как дает возможность в полной мере проявить инициативу и приобрести богатый опыт организаторской работы.**

- **самым большим преимуществом ВНКСФ является предоставление возможности непосредственного общения, знакомств, совместной деятельности и отдыха** пусть и на небольшой промежуток времени **между студентами – физиками и молодыми учеными России**, что необычайно укрепляет общность физиков в России и способствует развитию контактов между различными научными центрами. А это, в конечном счете, влечет за собой стимулирование развитие физики в России в целом.

Оргкомитет ВНКСФ обращает также внимание на проблемы с финансированием и формальным подходом со стороны руководства многих университетов к поездкам студентов и молодых ученых на молодежные конференции, а также продолжающееся снижение мобильности студентов-физиков и молодых ученых в России!



2. Физика конденсированного состояния вещества

Студенты младших курсов

Шихова Евгения Петровна (стендовый доклад)

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Мессбауэровское исследование магнитных свойств твердого раствора $\text{ViFe1-xCr}_x\text{O}_3$

Кубрин Станислав Петрович, к.ф.-м.н.

e-mail: zhes1999@yandex.ru

Бурдуковский Владимир Николаевич

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический

Исследование тонкой кристаллической структуры спеченных керамик ZrO_2 и $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ после ударно-волнового компактирования

Кульков Сергей Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: vladimirburdukovsky@gmail.com

Студенты старших курсов

Снегирёв Никита Игоревич

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Мёссбауэровские исследования структурных фазовых превращений в ферроборате FeBO_3 при высокотемпературном отжиге

Стругацкий Марк Борисович, д.ф.-м.н.

e-mail: niksnegir@yandex.ru

Замковская Анастасия Игоревна

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт

Исследование размерно-напряженных эффектов в боратах ABO_3 ($A=\text{In, Fe, Ga}$)

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

e-mail: trabem.z@gmail.com

Прилепский Дмитрий Юрьевич (стендовый доклад)

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Магнитоупругие эффекты в тригональных слабых ферромагнетиках

Стругацкий Марк Борисович, д.ф.-м.н.

e-mail: rockaroller@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Драганюк Оксана Николаевна

Красноярск, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, физики и астрономии

Влияние локального окружения на магнитные свойства силицидов марганца

Замкова Наталья Геннадьевна, д.ф.-м.н.

e-mail: don-oks@mail.ru

Могиленец Юлия Александровна (стендовый доклад)

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Магниторезонансные исследования тонкой эпитаксиальной пленки FeVO_3

Селезнева Кира Андреевна; Стругацкий Марк Борисович, к.ф.-м.н.; д.ф.-м.н.

e-mail: mogilenecya@cfuv.ru

3. Физика полупроводников и диэлектриков

Студенты младших курсов

Залялов Тимур Маратович

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Выявление корреляции между концентрациями нейтральных и заряженных ловушек в тонких пленках оксида гафния

Исламов Дамир Ревинирович, к.ф.-м.н.

Студенты старших курсов

Васильев Никита Николаевич

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Магнетотранспорт толстых пленок HgTe

Савченко Максим Леонидович, Козлов Дмитрий Андреевич, "аспирант; к.ф.-м.н."

e-mail: nikita31415@gmail.com

4. Молекулярная физика, физика жидкостей и газов

Аспиранты и молодые ученые

Хисамов Артур Альфирович

Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт

Моделирование нестационарной фильтрации вокруг скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва

Хабибуллин Ильдус Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

e-mail: khisamovartur@list.ru

5. Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии

Студенты младших курсов

Ломов Константин Андреевич

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Диагностика высокочастотных возмущений азимутального магнитного поля в установке СМОЛА

Судников Антон Вячеславович, к.ф.-м.н.

e-mail: k.lomov@g.nsu.ru

Аспиранты, молодые ученые

Фролова Валерия Петровна

Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, электронной техники

Генерация двухкомпонентных ионных пучков в вакуумном дуговом ионном источнике с катодами на основе композита меди и хрома

e-mail: Frolova_Valeria_90@mail.ru

Мамонтов Юрий Игоревич

Екатеринбург, Институт электрофизики УрО РАН

Влияние неоднородного электрического поля на динамику электронов в субнаносекундных разрядах сверхвысокого давления

Уйманов Игорь Владимирович, к.ф.-м.н.

e-mail: mamontov.ura.1994@yandex.ru

7. Физика низких температур, сверхпроводимость

Студенты младших курсов

Луценко Артем Витальевич

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Моделирование резонансного упругого рассеяния рентгеновского излучения на зарядовом упорядочении в купратах

Мясникова Анна Эдуардовна, д.ф.-м.н.

e-mail: arluценко@yandex.ru

Аспиранты, молодые ученые

Ясинская Дарья Николаевна

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики

Критическое поведение двумерной спин-псевдоспиновой модели в случае сильного обмена

Панов Юрий Демьянович, к.ф.-м.н.

e-mail: daria.iasinskaia@urfu.ru

8. Магнетизм

Студенты младших курсов

Пушкарев Илья Александрович

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики

Сравнительное исследование процессов перемангничивания в сплошных и наноперфорированных пленках GdCo с перпендикулярной магнитной анизотропией

e-mail: ilya.empire@gmail.com

Ростовцев Никита Дмитриевич (стендовый доклад)

Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, институт космических исследований и технологий

Синтез монокристаллов и исследование влияния замещений в трехвалентной подсистеме на структурные и магнитные свойства людвигитов $\text{Cu}_2\text{Mn}_{1-x}\text{GaxBO}_5$

Евгений Михайловна Мошкина, к.ф.-м.н.

e-mail: Nick.romero@bk.ru

Студенты старших курсов

Шуйский Александр Александрович

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, физико-технический институт
Применение интегро-дифференциальных уравнений к моделированию электромагнитного поля вихревых токов

Филиппов Дмитрий Максимович, к.т.н.

e-mail: a.a.shuiskii@gmail.com

Аспиранты, молодые ученые

Ярыгина Екатерина Александровна

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Влияние биквадратичного обменного взаимодействия на фазовые состояния сильно анизотропного антиферромагнетика

Клевец Филипп Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: yarigina.kate@yandex.ru

9. Оптика и спектроскопия

Студенты младших курсов

Костиков Денис Андреевич

Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт инженерной физики и радиоэлектроники

Электрооптический отклик холестерического жидкого кристалла с планарно-коническими граничными условиями

Крахалев Михаил Николаевич, к.ф.-м.н.

e-mail: deniskostikov13@gmail.com

Студенты старших курсов

Викулин Дмитрий Вячеславович

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Управляемая акустической поляризацией генерация оптических вихрей

Яворский Максим Александрович, к.ф.-м.н.

e-mail: yikulindmitriy@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Петрова Ольга Викторовна

Сыктывкар, Федеральный исследовательский центр 'Коми научный центр', физико-математический институт

Расчет степени линейной поляризации синротронного излучения на выходе канала RGLB BESSY II

e-mail: teiou@mail.ru

Зеневич Сергей Геннадьевич

Москва, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), проблем физики и энергетики

Прецизионное измерение контура линии поглощения CO₂ в атмосфере методом лазерной гетеродинной спектроскопии в ближнем ИК диапазоне

Родин Александр Вячеславович, к.ф.-м.н.

e-mail: zenevich09@mail.ru

Брецько Михаил Владимирович (стендовый доклад)

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Метод определения амплитуды и орбитального углового момента парциальных мод в массивах оптических вихрей

Воляр Александр Владимирович, д.ф.-м.н.

e-mail: mihailbretcko4@gmail.com

10. Квантовая электроника

Студенты старших курсов

Капуста Дмитрий Николаевич

Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, физико-технический

Новый импульсный газоразрядный лазер на электронных переходах нейтральных атомов неона с длиной волны 743.89 нм

Ражев Александр Михайлович, д.ф.-м.н.

e-mail: dmitriikapusta@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Васнев Николай Александрович

Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, отделение спектроскопии атмосферы

Визуализация объектов с помощью моностатической и бистатической схемы лазерного монитора

Тригуб Максим Викторович, к.т.н.

e-mail: vasnev.nickol@yandex.ru

11. Астрофизика, физика космоса

Студенты младших курсов

Поваров Артем Русланович

Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, фундаментальной физики

Новые переменные звезды в созвездии Кассиопея

Лапухин Евгений Геннадьевич

e-mail: tema.povarov@gmail.com

Студенты старших курсов

Игнатов Владимир Константинович

Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, институт физики

Наблюдение транзитных явлений у избранных звёзд с экзопланетами

Шляпников Алексей Алексеевич

e-mail: ivk@crao.ru

Аспиранты, молодые ученые

Тимиркеева Мария Андреевна

Пушино, Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Пушинская радиоастрономическая обсерватория

О рентгеновском излучении радиопульсаров

Малов Игорь Федорович, д.ф.-м.н.

e-mail: marika-ko@yandex.ru

Сосновский Алексей Александрович

Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, лаб. двойных звезд

Циклическое изменение периода отрицательных сверхгорбов у катаклизмической переменной NY Her

Павленко Е.П., д.ф.-м.н.

e-mail: demartin@ukr.net

12. Биофизика, медицинская физика

Студенты младших курсов

Чеблакова Ирина Георгиевна

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Исследование усовершенствованной оптической модели тромбоцита с использованием светорассеяния

Литвиненко Алёна Леонидовна,

e-mail: cheblakovairina@gmail.com

Студенты старших курсов

Суюндукова Алмагуль Туктаровна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический

Моделирование передаточной функции вестибулярного импланта

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

e-mail: demkin@ido.tsu.ru

Аспиранты, молодые ученые

Морячков Роман Владимирович

Красноярск, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, лаб. физики магнитных явлений

Исследование пространственной структуры биомолекул ДНК-аптамеров с помощью синхротронного рентгеновского излучения

Соколов Алексей Эдуардович, к.ф.-м.н.

e-mail: mrv@iph.krasn.ru

13. Физическая химия, химическая физика

Студенты старших курсов

Дабеева Адиса Баясхалановна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический

Исследование характеристик горения смесей на основе перхлората аммония с добавкой бора

Горбенко Татьяна Ивановна, к.ф.-м.н.

e-mail: adisa.dabaeva.1997@mail.ru

14. Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

Студенты младших курсов

Шевченко Анастасия Викторовна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Экспериментальные исследования вертикального атмосферно-электрического тока вблизи земной поверхности

Панчишкина Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.

e-mail: georgpu@rambler.ru

Студенты старших курсов

Купинская Анна Игоревна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Содержание природных радионуклидов и характеристики ионизации атмосферы на КВНС ИФА им. А.М.Обухова РАН

Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.

e-mail: georgpu@rambler.ru

15. Радиофизика

Студенты младших курсов

Безверхняя Екатерина Ивановна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический

Температурная зависимость диэлектрических свойств почв Васюганских болот

Кочеткова Татьяна Дмитриевна, к.ф.-м.н.

e-mail: bezverhnyaya.ekaterina@mail.ru

16. Акустика, гидро- и газодинамика

Студенты младших курсов

Матюшенко Сергей Алексеевич, 4 курс

Омск, Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, физический

Однопузырьковая сонолюминесценция

Болецкая Татьяна Константиновна, к.ф.-м.н.

e-mail: sergey199622@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Хисамов Артур Альфирович

Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт

Моделирование фильтрации в пластах с трещиной гидроразрыва

Хабибуллин Ильдус Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

e-mail: khisamovartur@list.ru

17. Средства автоматизации и информационные технологии в физике (включая информационно-телекоммуникационные системы)

Студенты младших курсов

Крикунов Станислав Александрович

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Разработка светильника, управляемого дистанционно по Wi-Fi сети

Орлов Сергей Валентинович, к.ф.-м.н.

e-mail: stanislav_krikunov@mail.ru

Абрамян Вильмен Леонович

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Создания и эксплуатации ЧПУ станков малых размеров

e-mail: 9882016alpha@gmail.com

Студенты старших курсов

Фадеева Анастасия Борисовна

Таганрог, Южный федеральный университет, институт радиотехнических систем и управления

Алгоритмы контрастирования изображений для задач автоматизированного обнаружения и распознавания образов

Пилипенко Александр Михайлович, к.т.н.

e-mail: nastasya-fadeeva@inbox.ru

Аспиранты, молодые ученые

Деркачев Владимир Александрович

Таганрог, Южный федеральный университет, институт радиотехнических систем и управления

Особенности обнаружения целей в полуактивных радиолокационных станциях

Потипак Михаил Владимирович, к.т.н.

e-mail: soprascey@gmail.com

18. Материаловедение

Студенты младших курсов

Бессонова Ирина Геннадьевна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический

Температурная зависимость эффекта памяти формы в сплавах FeMnCrNiSi при γ - ϵ мартенситном превращении

Киреева Ирина Васильевна, д.ф.-м.н.

e-mail: 79516284172@yandex.ru

Хацаюк Вероника Викторовна

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Двухрезонансный плазмон-поляритонный сенсор

Бержанский Владимир Наумович, д.ф.-м.н.

e-mail: veronika74069@yandex.ru

Студенты старших курсов

Евтухова Екатерина Андреевна

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Исследование поверхностных и магнитных свойств сенсорных элементов методами оптической и зондовой микроскопии

Михайлова Татьяна Владиславовна, к.ф.-м.н.

e-mail: kate.ri@list.ru

Аспиранты, молодые ученые

Майрамбекова Айкол Майрамбековна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический

Влияние структурного состояния титана VT1-0 и сплава Zr-1 мас.%Nb при гигацикловой усталости

Шаркеев Юрий Петрович, д.ф.-м.н.

e-mail: aikol@ispms.tsc.ru

Гонцова Светлана Сергеевна (стендовый доклад)

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

Рентгеноструктурные и металлографические исследования троилита в метеоритах

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

e-mail: sgoncova@gmail.com

19. Физика и экология

Студенты младших курсов

Ляхова Наталья Викторовна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Радионуклиды в атмосферных аэрозолях

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

e-mail: llia.2013@yandex.ru

Гардт Мария Витальевна (стендовый доклад)

Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт фундаментальной биологии и биотехнологий

Изучение влияния трития на моноферментную реакцию бактериальной люциферазы

Кудряшева Надежда Степановна, д.ф.-м.н.

e-mail: gardt1998@list.ru

Ковалева Алина Андреевна (стендовый доклад)

Новороссийск, Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета, промышленного и гражданского строительства

Расчет коэффициентов ослабления многоволнового излучения лазера на парах стронция в цементном аэрозоле

Чартий Павел Валикович, к.ф.-м.н.

e-mail: Stas_14@rambler.ru

Студенты старших курсов

Пронина Екатерина Вячеславовна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Распределение радионуклидов в почвах и растениях по элементам рельефа в условиях сухих степей

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

e-mail: ev_pronina_105@mail.ru

Кацаева Елизавета Александровна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Статистическая обработка и анализ данных элементного состава атмосферных аэрозолей

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

e-mail: lizakashaeva1997@gmail.com

20. Проблемы преподавания физики

Студенты младших курсов

Мандрик Василина Олеговна

Томск, Томский государственный педагогический университет, физико-математический

Профильная подготовка учащихся 7 классов по физике в рамках внеурочной деятельности в среде дополнительного образования

Власова Анна Алексеевна, Аржаник Алексей Ремович, к.п.н.

e-mail: vasilina.mandrik@yandex.ru

Новосёлова Ксения Алексеевна (стендовый доклад)

Томск, Томский государственный педагогический университет, физико-математический

Разработка заданий для командного мероприятия по физике

Власова Анна Алексеевна, к.п.н.

e-mail: kseniabelova97@gmail.com

Студенты старших курсов

Лашина Кристина Александровна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Методика разработки учебных материалов для дистанционного обучения физике на примере раздела «Магнитное поле»

Файн Марина Борисовна, -

e-mail: kristina.lashina15@mail.ru

Крайнова Дарья Владимировна

Севастополь, Севастопольский государственный университет, гуманитарно-педагогический институт

Опыт преподавания дисциплины «Астрономия» как сетевого образовательного модуля

Рогова Ольга Валентиновна, к.ф.-м.н.

e-mail: elcom131@mail.ru

21. Теплофизика

Студенты младших курсов

Рябова Анастасия Михайловна

Ижевск, Удмуртский государственный университет, ИМИТиФ

Исследование эффективной теплопроводности порошков AlSi10Mg и нержавеющей стали 03X17H13M2 методом периодического нагрева

Анкудинов Владимир Евгеньевич, к.ф.-м.н.

e-mail: hfmm_19@mail.ru

Адрес центрального оргкомитета конференций ВНКСФ:

620063, Екатеринбург, а.я 759, Телефон: (863) 522-48-18, 8-923-422-74-34

E-mail: asf@asf.ur.ru <http://www.asf.ural.ru>

Председатель оргкомитета конференций ВНКСФ: Александр Арапов (АСФ России)

e-mail: arapov@asf.ur.ru, телефон: (863) 522-48-18, 8-923-422-74-34

Сектора деятельности оргкомитета:

- общая организация и диспетчерская служба, регистрация, в.т.ч.: - хозяйственные вопросы, размещение, питание, транспорт;
- информационно - техническая группа (компьютеры сеть, мульти-медиа, аудио -оборудование, фото, видео-съемка, редактирование материалов), работа с СМИ
- научная программа (в комплексе)
- культурная, спортивная программы, мини-путешествия, экскурсии (в комплексе)
- специальные программы (открытие, закрытие, Виртуальные дни физика, Генеральная конференция АСФ и другие)

Состав оргкомитета по городам

Уфимский локальный комитет

Башкирский государственный университет:

Адрес оргкомитета: 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32 Физико-математический корпус, 3 этаж, каб. 306, тел: +7 (347) 229-96-40

- **Габдрахманова Лилия Айратовна**, зам. директора по учебной работе физико-технического института БашГУ, тел: +7-917-807-12-51, e-mail: la-gabdrahmanova@mail.ru
направление: общая организация, научная программа
- **Закирьянов Фарит Кабирович**, зам. директора по научной и инновационной деятельности физико-технического института БашГУ e-mail: farni@rambler.ru ,
тел: 7-917-406-52-35
направление: научная программа
- **Баишева Алия Хазинуровна**, магистрант кафедры общей физики ФТИ БашГУ
e-mail: aliya-baisheva@yandex.ru , тел: 8-917-466-40-94
направление: культурная программа
- **Валиуллина Вилена Ильшатовна**, магистрант кафедры прикладной физики ФТИ БашГУ, e-mail: vilenches@gmail.com , тел: 8-917-769-47-60
направление: общая организация, культурная программа
- **Латыпова Резеда Рамилевна**, студент кафедры прикладной физики ФТИ БашГУ
e-mail: latypova.rezeda98@mail.ru , тел: 7-929-754-49-62
направление: общая организация, регистрация
- **Трочина Арина Михайловна**, студент кафедры теоретической физики ФТИ Башкирского государственного университета, e-mail: arina.trochina@bk.ru
- **Фахреева Регина Рафисовна**, студент кафедры прикладной физики ФТИ БашГУ
e-mail: regina599@mail.ru , тел: 7-917-352-03-37
направление: культурная программа, спортивная программа
- **Хисамов Артур Альфирович**, аспирант кафедры прикладной физики ФТИ БашГУ
e-mail: khisamovartur@list.ru , тел: 7-917-469-62-63
направление: общая организация, культурная программа

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

Адрес оргкомитета: 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, д. 39

- **Ильясов Рафис Раисович**, м.н.с. лаборатории материаловедения и технологии легких сплавов ИПСМ РАН e-mail: diesel874@yandex.ru , тел: 7-937-352-99-63
направление: общая организация, координация (по ИПСМ РАН)

Екатеринбург:

Институт электрофизики УрО РАН:

Адрес: 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена – 106, каб. 310. Телефон: (343) 267-8821

- **Кайгородова Ольга Анатольевна**, вед. инженер по патентной и изобретательной работе ИЭФ УрО РАН, тел: +7(922)223-96-83, e-mail: o.kaygorodova@gmail.com
- **Чепусов Александр Сергеевич**, м.н.с. Институт электрофизики УрО РАН, chepusov@iep.uran.ru

Уральский федеральный университет

Адрес оргкомитета: Екатеринбург, Куйбышева 48а, здание ИЕНиМ УрФУ, каб. 373.

- **Мальцева Виктория Евгеньевна**, магистрант кафедры магнетизма и магнитных нанноматериалов ИЕНиМ УрФУ, e-mail: viktoria.maltseva@urfu.ru , тел: +7-912-226-30-31

Челябинск

Челябинский государственный университет

Адрес оргкомитета: 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129, деканат физического факультета, тел: +7(351)799-71-19

- **Ульянов Максим Николаевич**, доцент кафедры общей и прикладной физики физического факультета, e-mail: max-39@yandex.com тел: +7-904-977-19-71

Ростов-на-Дону:

- **Бураева Елена Анатольевна**, зав. лабораторией радиэкологических исследований НИИ физики ЮФУ, тел. 89185973011, e-mail: buraeva_elena@mail.ru,

Красноярск

- **Косырев Николай Николаевич**, к.ф.-м.н., н.с. лаб. магнитодинамики Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск e-mail: kosyrev@inbox.ru

Тамбов

- **Воробьев Максим Олегович**, инженер, преподаватель. НИИ нанотехнологии и наноматериалы" Тамбовского государственного университета, г. Тамбов, школа № 3 г. Котовска, e-mail: vorob--yov@mail.ru

Москва

- **Бельский Илья Евгеньевич**, инженер компании «Тэсто Рус» e-mail: ilyabelskiy@mail.ru

Председатели программного комитета:

- **Шпак Валерий Григорьевич**, д.т.н., академик РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург
- **Чайковский Станислав Анатольевич**, д.ф.-м.н. директор Института электрофизики УрО РАН
- **Захаров Вадим Петрович**, д.х.н., профессор, проректор по научной и инновационной работе Башкирского государственного университета
- **Кружаев Владимир Венедиктович**, проректор по науке Уральского федерального университета
- **Бычков Игорь Валерьевич**, д.ф.-м.н., профессор, проректор по научной работе Челябинского государственного университета

Екатеринбург, Уральский федеральный университет

- **Васьковский Владимир Олегович**, д.ф.-м.н., зав. кафедрой магнетизма, зав. лаб. Института естественных наук и математики Уральского федерального университета

Уфа, Башкирский государственный университет

- **Якшибаев Роберт Асгатович**, д.ф.-м.н., директор Физико-технического института Башкирского государственного университета
- **Закирьянов Фарит Кабирович**, к.ф.-м.н., зам. дир. по научной и инновационной деятельности ФТИ, доцент
- **Габдрахманова Лилия Айратовна**, к.ф.-м.н., ассистент кафедры общей физики Физико-технического института Башкирского государственного университета

Уфа, Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

- **Мулюков Радик Рафикович**, д.ф.-м.н., член-корр. РАН, директор Института проблем сверхпластичности металлов РАН

Уфа, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

- **Пшеничнюк Станислав Анатольевич**, д.ф.-м.н., врио директора Института физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

Челябинск, Челябинский государственный университет

- **Захарьевич Дмитрий Альбертович**, к.ф.-м.н., декан физического факультета Челябинского государственного университета
- **Беленков Евгений Анатольевич**, д.ф.-м.н., профессор
- **Бучельников Василий Дмитриевич**, д.ф.-м.н., зав кафедрой, профессор
- **Тюменцев Василий Александрович**, д.х.н., профессор

Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет

- **Тулупов Олег Николаевич**, д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной работе Магнитогорского государственного технического университета
- **Мезин Игорь Юрьевич**, д.т.н., профессор, директор института естествознания и стандартизации МГТУ

1. Теоретическая физика, математическая физика

- **Некрасов Игорь Александрович**, д.ф.-м.н., член.-корр. РАН, в.н.с. Института электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: Nekrasov@ier.uran.ru
- **Шарафуллин Ильдус Фанисович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической физики, физико-технический институт, Башкирский государственный университет, г. Уфа. e-mail: sharafullinif@ya.ru
- **Давыдов Александр Петрович**, к.ф.-м.н., доцент каф. физики, Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск, e-mail: ap-dav@yandex.ru
- **Гусаревич Евгений Степанович***, к.ф.-м.н., с.н.с., доцент кафедры теоретической физики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, e-mail: gusarevich@gmail.com, (АСФ России)
- **Терещенко Алексей Анатольевич**, кафедра математической и теоретической физики, Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета. г. Екатеринбург, e-mail: tenxor@mail.ru
- **Лаврухин Иван Владимирович***, аспирант 3 года обучения, Омский государственный университет, г. Омск, e-mail: jovanni.omsu@gmail.com, (АСФ России)

2. Физика конденсированного состояния вещества

- **Альмухаметов Рафаил Фазыльянович**, д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики, физико-технический институт, Башкирский государственный университет, г. Уфа e-mail: almukhametovrf@rambler.ru
- **Беленков Евгений Анатольевич**, д.ф.-м.н., профессор каф. физики конденсированного состояния, физический фак-т Челябинского государственного университета, г. Челябинск e-mail: belenkov@csu.ru
- **Якшибаев Роберт Асгатович**, директор физико-технического института, Башкирский государственный университет, г. Уфа, e-mail: fti_bsu@mail.ru
- **Катков Всеволод Леонидович**, к.ф.-м.н., с.н.с., лаб. теоретической физики сектора физики наноструктур. Объединенный институт ядерных исследований, Дубна. e-mail: katkov@theor.jinr.ru
- **Хазимуллин Максим Вильевич**, к.ф.-м.н., м.н.с. лаборатории физики твердого тела, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, e-mail: maximhk@gmail.com
- **Дубский Геннадий Алексеевич**, к.ф.-м.н., доцент каф. физики, Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск, e-mail: arkulis78@mail.ru
- **Лебедев Николай Геннадьевич***, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики и волновых процессов, Волгоградский государственный университет, Волгоград e-mail: nikolay.lebedev@volsu.ru
- **Максимова Елена Михайловна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики конденсированных сред и физических методов в медицине, Физико-технический институт Крымского федерального университета, г. Симферополь, e-mail: maksimovaem@cfuv.ru
- **Меренцов Александр Ильич**, к.ф.-м.н., ассистент КФКС и наноразмерных систем ИЕНиМ УрФУ, Екатеринбург, e-mail: alexander.merentsov@urfu.ru (АСФ России)

3. Физика полупроводников и диэлектриков

- **Балапанов Малик Хамитович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой общей физики, физико-технический институт, Башкирский государственный университет, г. **Уфа**
e-mail: balapanovmk@mail.ru
- **Лачинов Алексей Николаевич**, д.ф.-м.н., профессор БГПУ, зав. лабораторией полимеров, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, Бг. **Уфа**
e-mail: lachinov_a@mail.ru
- **Перевалов Тимофей Викторович**, к.ф.-м.н., с.н.с., Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН, г. **Новосибирск**
e-mail: timson@isp.nsc.ru
- **Исламов Дамир Ревинирович**, к.ф.-м.н., с.н.с. Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН, г. **Новосибирск** (АСФ России), e-mail: damir@isp.nsc.ru (АСФ России)

4. Физика атомного ядра и элементарных частиц . Физика высоких энергий.

- **Давыдов Александр Петрович**, к.ф.-м.н., доцент каф. физики, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск**, e-mail: ap-dav@yandex.ru
- **Батюк Павел Николаевич**, с.н.с. лаб. физики высоких энергий ОИЯИ, г. **Дубна** e-mail: pavel.batyuk@jinr.ru
- **Осинов Алексей Сергеевич***, директор Научно- производственное отделения развития технологий радиотерапии АО НИИТФА г. **Москва** e-mail: okdf2007@mail.ru (АСФ России)

5. Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии (секция-семинар)

- **Шпак Валерий Григорьевич**, д.т.н., академик РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: radan@ier.uran.ru
- **Чепусов Александр Сергеевич**, к.т.н., н.с. Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: chepusov@ier.uran.ru (АСФ России)

6. Магнетизм

- **Екомасов Евгений Григорьевич**, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики, физико-технический институт, Башкирский государственный университет, г. **Уфа**.
e-mail: ekomasoveg@gmail.com
- **Гареева Зухра Владимировна**, д.ф.-м.н., зав. лаб., лаб.теоретической физики, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. **Уфа**, e-mail: gzv@anrb.ru
- **Овчинников Александр Сергеевич**, д.ф.-м.н., профессор, каф. теоретической и математической физики ИЕНиМ УрФУ, Екатеринбург, e-mail: alexander.ovchinnikov@urfu.ru
- **Косырев Николай Николаевич**, к.ф.-м.н., н.с., лаб. магнитодинамики Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. **Красноярск**, e-mail: kosyrev@inbox.ru
- **Лебедев Николай Геннадьевич***, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики и волновых процессов, Волгоградский государственный университет, **Волгоград**
e-mail: nikolay.lebedev@volsu.ru
- **Чичай Ксения Анатольевна**, к.ф.-м.н., н.с. группы исследования магнитных явлений на рентгеновских источниках нового поколения МНИЦ «Когерентная рентгеновская оптика для установок Мегасайенс», Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. **Калининград**
e-mail: ks.chichay@gmail.com
- **Ульянов Максим Николаевич**, к.ф.-м.н., доцент каф. общей и прикладной физики, физический факультет, Челябинский государственный университет, г. **Челябинск**, н.с. группы исследования магнитных явлений на рентгеновских источниках нового поколения МНИЦ «Когерентная рентгеновская оптика для установок Мегасайенс», Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. **Калининград** e-mail: max-39@yandex.ru

7. Оптика и спектроскопия

- **Соломонов Владимир Иванович**, д.ф.-м.н., в.н.с., Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: plasma@ier.uran.ru
- **Меренцов Александр Ильич***, к.ф.-м.н., ассистент КФКС и наноразмерных систем ИЕНиМ УрФУ, Екатеринбург, e-mail: alexander.merentsov@urfu.ru (АСФ России)
- **Дышлюк Антон Владимирович***, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории прецизионных оптических методов измерений, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: anton_dys@iacp.dvo.ru (АСФ России)

8. Квантовая электроника и лазерная физика

- **Бычков Игорь Валерьевич**, д.ф.-м.н., профессор, проректор по научной работе, физический факультет, Челябинский государственный университет, г. Челябинск
e-mail: bychkov@csu.ru
- **Кузьмин Дмитрий Александрович**, к.ф.-м.н., зам. проректора по научной работе физический факультет, Челябинский государственный университет, Челябинск
e-mail: kuzminda@csu.ru
- **Телегин Андрей Владимирович**, к.ф.-м.н., в.н.с., зав. лаб. магнитных полупроводников Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: telegin@imp.uran.ru
- **Бессонов Владимир Дмитриевич**, к.ф.-м.н., с.н.с., лаб. магнитных полупроводников Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург
- **Дышлюк Антон Владимирович***, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории прецизионных оптических методов измерений, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: anton_dys@iacp.dvo.ru (АСФ России)

9. Физическая химия, химическая физика

- **Пшеничнюк Станислав Анатольевич**, д.ф.-м.н., врио директора Института физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, e-mail: sapsh@anrb.ru
- **Асфандиаров Наиль Лутфурахманович**, д.ф.-м.н., зав. лаб. физики атомных столкновений, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, e-mail: nail_asf@mail.ru
- **Доломатов Михаил Юрьевич** д.х.н., профессор, каф. физической электроники и нанофизики ФТИ, Башкирский государственный университет, г. Уфа, e-mail: mdolomatov@bk.ru
- **Байбулова Галия Шафкатовна**, ст.преподаватель кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Башкирский государственный педагогический университет, г. Уфа, e-mail: 102galiya102@rambler.ru
- **Лебедев Михаил Сергеевич**, к.х.н., н.с., Институт неорганической химии им А. В. Николаева СО РАН. г. Новосибирск, e-mail: lebedev@niic.nsc.ru
- **Свечникова Наталья Юрьевна**, к.т.н., доцент каф. металлургии и химической технологии, Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск
e-mail: natasha-svechnikova@ya.ru
- **Рогозина Марина Викторовна**, к.ф.-м.н., с.н.с. лаб. разработки катализаторов, Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти (ВНИИ НП) Москва e-mail: marinkarogozina@yandex.ru (АСФ России)

10. Астрофизика, физика космоса – (секция – семинар)

- **Замоздра Сергей Николаевич**, к.ф.-м.н., доцент каф. теор. физики физический факультет, Челябинский государственный университет, г. Челябинск, e-mail: sezam@csu.ru
- **Назаров Сергей Валентинович**, н.с. Крымская астрофизическая обсерватория РАН. e-mail: astrotourist@gmail.com
- **Попова Мария Эриковна**, с.н.с., Коуровская астрономическая обсерватория, Уральский федеральный университет, e-mail: maria.porova@urfu.ru

11. Биофизика, медицинская физика

- **Шарипов Талгат Ишмухамедович**, к.ф.-м.н., доцент физической электроники и нанофизики, физико-технический институт, Башкирский государственный университет, г. **Уфа**.
e-mail: sha-t@ya.ru
- **Закирьянов Фарит Кабирович**, зам. дир. по научной и инновационной деятельности, к.ф.-м.н., доцент каф. теор. физики ФТИ Башкирского государственного университета, г. **Уфа**
e-mail: farni@rambler.ru (АСФ России)

12. Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

- **Петрова Галина Григорьевна***, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики физического факультета, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону**,
e-mail: georgpu@rambler.ru
- **Панчишкина Ирина Николаевна***, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики физического факультета, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону** e-mail: georgpu@rambler.ru
- **Зотов Леонид Валентинович**, д.ф.-м.н., доцент каф. прикладной математики и физики, Московский институт электроники и математики им. А. Н. Тихонова, г. Москва, e-mail: wolftempus@gmail.com
- **Давлетшин Филюс Фанизович**, аспирант 2-го года обучения кафедры геофизики, Физико-технический институт, Башкирский государственный университет, г. **Уфа**,
e-mail: felix8047@mail.ru
- **Тарантин Михаил Викторович***, к.т.н., научный сотрудник, Горный институт УрО РАН, г. **Пермь**, e-mail: gptmv@mi-perm.ru (АСФ России)

13. Акустика

- **Савченко Юрий Иванович**, к.ф.-м.н., доцент, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск**, e-mail: arkulis78@mail.ru
- **Ильин Владимир Алексеевич**, к.ф.-м.н., доцент, кафедры физики фазовых переходов, физический факультет ПермГУ, **Пермь** e-mail: ilin1@psu.ru (АСФ России)

14. Статистическая механика жидкости, газа и плазмы. Молекулярная физика.

- **Чернов Андрей Александрович**, д.ф.-м.н., в.н.с., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, г. **Новосибирск**, e-mail: chernov@itp.nsc.ru
- **Рогозина Марина Викторовна**, к.ф.-м.н., с.н.с. лаб. разработки катализаторов, Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти (ВНИИ НП), Москва e-mail: marinkarogozina@yandex.ru (АСФ России)
- **Ильин Владимир Алексеевич**, к.ф.-м.н., доцент, кафедры физики фазовых переходов, физический факультет ПермГУ, **Пермь** e-mail: ilin1@psu.ru (АСФ России)

15. Механика. Теоретическая механика. Механика жидкости, газа и плазмы. Инженерная механика.

- **Замоздра Сергей Николаевич**, к.ф.-м.н., доцент каф. теор. физики, физический факультет, Челябинский государственный университет, г. **Челябинск**, e-mail: sezam@csu.ru
- **Харченко Максим Викторович**, к.т.н., доцент каф. механики, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск** e-mail: kharchenko.mv@bk.ru
- **Ильин Владимир Алексеевич**, к.ф.-м.н., доцент, кафедры физики фазовых переходов, физический факультет ПермГУ, **Пермь** e-mail: ilin1@psu.ru (АСФ России)

16. Материаловедение. Физика кристаллов. Наноматериалы и композиты.

- **Гундеров Дмитрий Валерьевич**, д.ф.-м.н., в.н.с., зав. лаб. физики наноструктурных материалов, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, Институт физики перспективных материалов, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. **Уфа**, e-mail: dimagun@mail.ru
- **Бучельников Василий Дмитриевич**, д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. физики конденсированного состояния, физический фак-т Челябинского государственного университета, г. Челябинск
- **Смовж Дмитрий Владимирович**, к.ф.-м.н., зав. лаб., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, г. **Новосибирск**, e-mail: smovzh@itp.nsc.ru
- **Мусабилов Ирек Ильфирович**, к.ф.-м.н., с.н.с. группы электронно-микроскопических исследований, Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. **Уфа** e-mail: irekmusabirov@mail.ru
- **Молочкова Ольга Сергеевна**, к.т.н., доцент каф. литейного произв-ва и материаловедения, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск** e-mail: opetrochenko@mail.ru
- **Максимова Елена Михайловна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики конденсированных сред и физических методов в медицине, Физико-технический институт Крымского федерального университета, г. **Симферополь**, e-mail: maksimovaem@cfuv.ru
- **Песин Александр Моисеевич**, д.т.н., профессор кафедры технологий обработки материалов, зам. зав. лаб. механики градиентных наноматериалов, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск** e-mail: pesin@bk.ru
- **Валитов Венер Анварович**, д.т.н., профессор, в.н.с. ФТИ Башкирского государственного университета, Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, лаб. материаловедения труднодеформируемых сплавов, г. **Уфа** e-mail: valitov_va@imsp.ru
- **Габдрахманова Лилия Айратовна**, к.ф.-м.н., доцент каф. инфокоммуникационной технологии и наноэлектроники Физико-технического института Башкирского государственного университета, **Уфа** e-mail: a-gabdrahmanova@mail.ru (АСФ России)
- **Полянский Дмитрий Александрович***, к.ф.-м.н. доцент кафедры физики низкоразмерных структур Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук, г. **Владивосток**, e-mail: rambo192@mail.ru (АСФ России)

17. Радиофизика

- **Салихов Ренат Баязитович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой инфокоммуникационных технологий и наноэлектроники, Физико-технический институт Башкирского государственного университета, г. **Уфа**, e-mail: salikhovrb@yandex.ru
- **Кузьмин Дмитрий Александрович**, к.ф.-м.н., зам. проректора по научной работе физический факультет, Челябинский государственный университет, г. **Челябинск** e-mail: kuzminda@csu.ru
- **Голицын Александр Андреевич**, к.т.н., н.с., Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирский национальный исследовательский университет г. **Новосибирск** e-mail: aag-09@yandex.ru (АСФ России)

18. Приборы и методы экспериментальной физики. Информационные технологии в физических исследованиях.

- **Белов Валерий Константинович**, к.ф.-м.н., профессор каф. физики, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск**, e-mail: arkulis78@mail.ru
- **Бутько Леонид Николаевич**, к.ф.-м.н., доцент каф. общей и прикладной физики, физический факультет, Челябинский государственный университет, г. Челябинск, e-mail: lnbutko@yandex.ru
- **Голицын Александр Андреевич**, к.т.н., н.с., Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирский национальный исследовательский университет **Новосибирск** e-mail: aag-09@yandex.ru (*АСФ России*)
- **Шауро Виталий Павлович**, к.ф.-м.н., Институт физики СО РАН, **Красноярск** e-mail: Shaurkin@hotmail.com , (*АСФ России*)

19. Теплофизика и теплотехника. Процессы тепломассобмена.

- **Чернов Андрей Александрович**, д.ф.-м.н., в.н.с., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, г. **Новосибирск**, e-mail: chernov@itp.nsc.ru
- **Смовж Дмитрий Владимирович**, к.ф.-м.н., зав. лаб., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, г. **Новосибирск**, e-mail: smovzh@itp.nsc.ru
- **Анкудинов Владимир Евгеньевич***, к.ф.-м.н., н.с. теоретический отдел, Институт физики высоких давлений им. Верещагина РАН, г. **Москва**, e-mail: vladimir@ankudinov.org (*АСФ России*)

20. Физика и экология. Экологические проблемы в энергетике.

- **Хабибуллин Ильдус Лутфурахманович**, д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной физики, Физико-технический институт Башкирского государственного университета, г. **Уфа** e-mail: habibi.bsu@mail.ru
- **Буряева Елена Анатольевна**, к.х.н., доцент, зав. лаб. радиозоологических исследований, зам. директора НИИ физики Южного федерального университета, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: buraeva_elen@mail.ru (*АСФ России*)

21. Проблемы и методологии преподавания физики. История физики и техники.

- **Плугина Наталья Александровна**, к.п.н., доцент каф. физики, Магнитогорский государственный технический университет, г. **Магнитогорск**, e-mail: natalia2209@ya.ru
- **Панчишкина Ирина Николаевна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики физического факультета ЮФУ, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: georgpu@rambler.ru
- **Аржаник Алексей Ремович**, к.п.н., доцент кафедры общей физики Томского государственного педагогического университета, г. **Томск**, e-mail: iii_75@inbox.ru
- **Воробьев Максим Олегович**, инженер, преподаватель. НИИ нанотехнологии и наноматериалы" Тамбовского государственного университета, г. **Тамбов**, школа № 3 г. Котовска, e-mail: vorob--yov@mail.ru (*АСФ России*)

Примечания:

- *курсивом отмечены* (или АСФ России) члены научного комитета, которые участвуют в нем по приглашению АСФ России (или являются членами АСФ) и представляют мнение Ассоциации в научном комитете конференции.

Они же являются научными секретарями секций (предварительное рассмотрение тезисов, их редактирование, работа с научным комитетом своей секции и на самой конференции – проведение секции).

«*» - обозначены возможно заочные участники научного комитета (в стадии решения)

Информация по количеству заявок и докладов по секциям ВНКСФ-26

Секция	заявки	тезисы	Устные доклады	Обзорные, пленарные	стендовые	заочные
01 - Теоретическая физика. Математическая физика	15	13	7 (1)	3	0	6
02 - Физика конденсированного состояния вещества	35	34	10	7	5(+2)	19
03 - Физика полупроводников и диэлектриков	26	26	8(1)	4	10(+2)	8
04 - Физика атомного ядра и элементарных частиц, высоких энергий.	3	3	1	1	0	2
05 - Электрофизика. Физика плазмы, плазменные технологии.	12	11	7	1	0	4
06- Магнетизм.	23	20	10	5	2	8
07 - Оптика и спектроскопия.	23	20	10	1	2(+1)	8
08 - Квантовая электроника и лазерная физика.	4	4	2	4	1	1
09 - Физическая химия, хим. физика.	13	12	5	5	3	4
10 - Астрофизика, физика космоса Космические технологии	10	8	5(2)	4	2(+1)	2
11 - Биофизика, медицинская физика.	14	13	11	2	1	1
12 - Геофизика: земная кора, океан, атмосфера.	12	12	10	4	1	1
13 - Акустика.	6	6	4	0	0	2
14 - Статистическая механика жидкости, газа и плазмы. Молекулярная физика.	1	0	0	1	0	0
15 - Механика. Теоретическая механика. Механика жидкости, газа и плазмы. Инженерная механика.	19	18	12	1	1	5
16 - Материаловедение. Физика кристаллов. Наноматериалы, композиты.	39	33	15	8(1)	4(+2)	14
17 - Радиофизика. Электроника.	7	7	0	2	0	7
18 – Приборы и методы экспериментальной физики. Информационные технологии в физических исследованиях.	19	16	7	3	1	8
19 - Теплофизика и теплотехника. Процессы тепломассобмена.	6	6	2	0	2	2
20 - Физика и экология	22	18	1	2	(+2)	17
21 – Проблемы и методологии преподавания физики. История физики.	10	9	6(1)	2(1)	(+1)	3
Всего, по всем секциям	318 (397)	289	133	58	36(+11)	122

Примечания:

- в итоговом количестве заявок ВНКСФ-25 в скобках дополнительно учтено количество ученых, принимающих участие в конференции, но не прошедших регистрацию в базе данных (+79 человек, в том числе 8 заочных)
- в столбце пленарных докладов в скобках, в том числе, указаны лекции, которые вынесены в пленарные программы открытия конференции; – в столбце «устные доклады» в скобках –проходящие как обзорные;
- в столбце «стендовые доклады» в скобках указаны + стенды заочных участников

**Статистика заявок, тезисов и докладов ВНКСФ-26
по городам и регионам (с востока на запад)**

Город	заявки	тезисы	очные	заочные
Дальний Восток, Забайкалье				
Владивосток	1	1	0	1
Якутск	5	5	2	3
Всего по региону:	6	6	2	4
Сибирь				
Иркутск	1	1	1	0
Красноярск	7	5	6*	1
Томск	23	19	10	9
Кемерово	3	3	0	3
Новосибирск	16	15	18*	2
Всего по региону:	50	44	34	15
Большой Урал				
Екатеринбург	28	23	22*	8
Тюмень	8	7	5	2
Челябинск	34	29	30*	6
Магнитогорск	5	4	5*	2
Пермь	4	4	3*	1
Уфа	91	85	78*	28
Стерлитамак	2	2	2	0
Ижевск	2	2	1	1
Оренбург	1	0	0	0
Киров	1	1	1	0
Всего по региону	176	157	147	31
Северный регион				
Санкт-Петербург	6	6	1	5
Гатчина	1	1	1	0
Великий Новгород	7	7	0	7
Калининград	0	0	2*	0
Архангельск	1	1	0	1
Всего по региону	15	15	4	13
Поволжье				
Казань	2	2	2	0
Ярославль	3	3	0	3
Ульяновск	1	1	0	1
Волгоград	12	11	3	8
Всего по региону	18	17	5	12
Центральная часть России				
Дубна	2	1	3*	0
Москва	2	2	2	0
Тамбов	1	1	1	0
Всего по региону:	5	4	6	0

Южный регион				
Ростов-на-Дону	37	35	13*	25
Симферополь	4	3	1	2
Севастополь	1	1	0	1
Нейтрино	2	2	2	0
Научный	2	2	2	0
Элиста	1	1	0	1
Всего по региону:	47	44	18	29

Примечания:

- все города внутри региона расположены не по алфавиту, а по географическому расположению с востока на запад (примерно);
- * в количество очных участников также входят члены оргкомитета и научного комитета конференции, поэтому оно может отличаться от количества докладов (как правило в большую сторону). Эта цифра отмечена звездочкой
- ** в некоторых случаях один человек может представить два доклада, в количество докладов также включены доклады ученых от данного города, которые не проходят общую регистрацию (приглашенные докладчики)
- жирным шрифтом выделены города – лидеры по количеству участников в своих регионах.

Дальний восток	6	7	13	9	10	15	20	24	29	22	37	33	22	27	27	19	17	**	**	**	**	**	**	**		
Республика Крым, Севастополь	5	56	7	6	6	5																				
ВНКФ, №	26	25	24	23	22	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Распределение заявок по возрасту участников																										
школьников	-	3	2	2	-	1	-	-	4	1	1	5	1	2	2	1	2	2	1	0	6	0	0	0	1	0
1 курс	15	17	23	12	4	6	5	4	2	3	1	2	1	1	4	5	6	13	8	0	5	4	1	0	1	0
2 курс	22	29	43	30	30	17	27	8	5	10	12	10	11	11	10	7	14	24	16	7	22	4	5	5	3	1
3 курс	27	42	48	49	33	53	29	19	34	23	15	24	19	27	29	16	53	25	20	20	24	18	6	15	10	4
4 курс	79	51	97	83	112	79	58	36	64	52	70	87	52	59	86	55	84	73	55	45	52	36	29	34	24	17
5 курс, маг 1*	45	77	58	75	76	39	44	46	49	65	89	131	84	122	84	82	152	135	87	31	0	38	50	52	41	40
6 курс, маг 2*	36	44	55	52	46	12	6	20	27	30	43	37	25	32	56	21	53	43	22	50	0	10	5	7	6	2
аспирант 1-2*	27	39-14	54	46	31	80	61	65	65	62	63	36	32	26	21	52	52	43	52	69	116	17	0	0	0	0
аспирант 3-4*	16	9-3	28	24	33	99	117	88	150	143	163	164	152	135	169	193	280	289	175	197	69	64	35	35	28	14
прочих из них:	52	61	51	54	77	69	77	97	63	61	87	101	96	76	75	74	130	126	60	20	18	4	2	6	4	1
женщин	146	198	202	170	219	176	177	144	187	167	201	244	183	177	178	178	300	248	161	113	85	46	23	26	23	15
Средний возраст	22,3	23,1	23	22,1	22,5	23,2	23,6	23,7	23,5	23,8	24	23	24,3	24,2	22,5	23,3	23	22	23	24,7	23,4	23	23,5	21,6	22,3	22

Примечания:

В статистике конференций ВНКФ 1–8 по регионам:

- в Европейскую часть России входили Поволжский и Южный регионы (*), а Урал,
- Сибирь и Дальний Восток были объединены в один регион (Азиатская часть России) (**);
- в «Европейскую часть» РФ входят т. н. Центральный и Северный федеральные округа;
- к Дальневосточному региону здесь также относится Якутия.

По количеству участников по форме участия:

- в очные участники входят участники с полным пансионом (иногородние) и с неполным пансионом (местные, или иногородние на неполный срок)
- в количество конкурсных докладов входят устные и стендовые доклады (с 2016 года, до этого года – сюда входили и заочные участники)
- с 2015 года в статистику включается также количество ученых, которые принимали участие в конференции без регистрации в базе данных (участие в работе научного жюри, лекции и т.д.). Это количество ученых идет ДОПОЛНИТЕЛЬНО к общему количеству участников конференции
- с 2015 года в статистику включаются обзорные и пленарные доклады ученых (дополнительное количество докладов, вне регистрации), данная информация по прошлым конференциям будет заполняться постепенно, по архивным данным

По участникам по возрастам и категориям учащихся:

- с 2016 года 5 курс объединен с магистрантами 1 года обучения
- с 2016 года 6 курс объединен с магистрантами 2 года обучения
- с 2016 года аспиранты разделены на две возрастные категории: 1-2 года обучения и 3-4 года обучения

01 – Теоретическая физика. Математическая физика

Девалят Дмитрий Алексеевич, 2 курс

Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, естествознания и стандартизации

Моделирование волновой функции фотона в координатном представлении в электрическом дипольном приближении

Давыдов Александр Петрович, к.ф.-м.н.

e-mail: dimadevalyut@mail.ru стр. 47

Киреева Гульдар Милхатовна, магистрант 2 года обучения

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им.М. Акмуллы, институт физики и математики

Расчет энтропии кротовой норы Дамура-Солодухина

Рамиль Наилевич Измаилов, к.ф.-м.н.

e-mail: kireevaguldar11@gmail.com стр. 48

Куличкина Туяра Петровна, 1 курс

Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Физико-технический институт

Моделирование движения частиц различной плотности под действием потока воды

Яковлев Борис Васильевич, д.ф.-м.н.

e-mail: turaret_2017@mail.ru стр. 49

Родионов Егор Сергеевич, аспирант 1 года обучения

Челябинск, Челябинский государственный университет, физический

Моделирование высокоскоростного соударения металлов методом гидродинамики сглаженных частиц с учетом дислокационной пластичности

Майер Александр Евгеньевич, д.ф.-м.н.

e-mail: zlatigor@mail.ru стр. 51

Сафина Элина Рустамовна, 2 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики

Исследование параметров гравитационного линзирования заряженных черных дыр ГМГГС

Камал Канти Нанди, PhD

e-mail: fmf.bspu1967@gmail.com стр. 52

Слижевский Кирилл Васильевич, 4 курс

Иркутск, Иркутский государственный университет, физический

Оператор эволюции дираковских фермионов в среде и нейтринные осцилляции

Калошин Александр Евгеньевич, д.ф.-м.н.

e-mail: sqlk12@mail.ru стр. 52

Сорокин Андрей Владимирович, 2 курс

Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, естествознания и стандартизации

Однофотонные интерференционные явления с точки зрения волновой функции

Давыдов Александр Петрович, к.ф.-м.н.

e-mail: Skainet3002@rambler.ru стр. 53

Спевак Евгений Львович, магистрант 1 года обучения

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики

Свойства трехфазной полосы на фазовой диаграмме системы локальных бозонов

Панов Юрий Демьянович, к.ф.-м.н.

e-mail: spevak155@gmail.com стр. 55

Судоргин Сергей Александрович, доцент
Волгоград, Волгоградский государственный аграрный университет, электроэнергетический
Термоэлектрические свойства бездефектных двухслойных графеновых нанолент в сильном внешнем электрическом поле
e-mail: sergsud@mail.ru стр. 56

Терещенко Алексей Анатольевич, 6 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики
Исследование деформации растяжения магнитной солитонной решетки при помощи просвечивающей электронной микроскопии Лоренца.
Овчинников Александр Сергеевич, д.ф.-м.н.
e-mail: tenxor@mail.ru стр. 57

Шадрин Антон Викторович, 5 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики
Детектирование фрустраций основного состояния в двумерной разбавленной модели Изинга в магнитокалорическом эффекте
Панов Юрий Демьянович, к.ф.-м.н.
e-mail: fynjygame@rambler.ru стр. 58

Юлдашева Алина Рифовна, инженер
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование магнитоэлектрических и поверхностных свойств в сверхрешетках и нанопленках мультиферроиков
Шарафуллин Ильдус Фанисович, д.ф.-м.н.
e-mail: alina.yulasheva.92@mail.ru стр. 59

Юсупова Розалия Мансуровна, 2 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмиллы, институт физики и математики
Свойства тонких аккреционных дисков черной дыры Тауб-НУТ
Камал Канти Нанди, PhD
e-mail: yu.rose@mail.ru стр. 60

Моделирование волновой функции фотона в координатном представлении в электрическом дипольном приближении

Девалют Дмитрий Алексеевич

Давыдов Александр Петрович

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Давыдов Александр Петрович, к.ф.-м.н.

dimadevalyut@mail.ru

В настоящее время проводятся опыты с однофотонной интерференцией по схемам, эквивалентным опыту Юнга, например с интерферометром Маха-Цендера. При анализе этих опытов используется терминология, выражающая метафизическое утверждение, будто на делителях фотон «как бы расщепляется» на две части и, затем, интерферирует сам с собой. На квантовом языке однофотонная интерференция в литературе объясняется с помощью постулируемых амплитуд вероятностей, использующих понятие оператора напряженности электрического поля. Однако, очевидно, можно утверждать, что излучение фотона отдельным атомом нельзя описывать напряженностью поля, так как энергия кванта излучения $\hbar\omega$ не распределяется непрерывно по всему пространству. Поэтому излучение фотона атомом на самом деле представляет собой как бы распределенную в пространстве и во времени *волновую функцию фотона (ВФФ) в координатном представлении* [1-4], которая и определяет вероятность его обнаружения в любой точке пространства. Тем не менее, волновая функция является математическим, а не физическим объектом, поэтому ее «как бы» излучение, распространение, интерференция, коллапс и т. п. должны рассматриваться условно, подразумевая, что волновая функция (ВФ) определенным образом лишь *отображает* некие реальные соответствующие процессы, происходящие в физическом вакууме. Однако пока суть этих процессов не будет установлена, объяснение интерференционных явлений с помощью ВФФ, по нашему мнению, дает наглядное «метафизическое» представление о наблюдаемых явлениях и значительно ослабляет проблему корпускулярно-волновых свойств света и «микрочастиц», поскольку в таком случае все явления могут рассматриваться на одной основе – с помощью ВФ в координатном представлении. Цель статьи – проиллюстрировать возможность объяснения опыта Юнга с помощью ВФФ, построенной в рамках квантовой механики, исходя из напряженностей электромагнитного поля, излучаемого атомом в дипольном приближении классической электродинамики.

Пусть классический электрический диполь совершает гармонические колебания вдоль оси z с частотой $\omega_0 = k_0 c$, излучая в волновую зону электромагнитное поле, напряженности которого (в системе СГС) равны

$$E_r = E_\varphi = 0, \quad E_\theta = A \sin\theta_r \cos(\omega_0 t - k_0 r)/r, \quad H_r = H_\theta = 0, \quad H_\varphi = A \sin\theta_r \cos(\omega_0 t - k_0 r)/r. \quad (1)$$

Согласно [1], используя (1) и переходя от сферической системы координат к декартовой, составляем вектор

$$\xi = \begin{pmatrix} \xi_x \\ \xi_y \\ \xi_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_x + H_x \\ E_y + H_y \\ E_z + H_z \end{pmatrix} = A \frac{\sin\theta_r \cos(\omega_0 t - k_0 r)}{r} \begin{pmatrix} \cos\theta_r \cos\varphi_r - i \sin\varphi_r \\ \cos\theta_r \sin\varphi_r + i \cos\varphi_r \\ -\sin\theta_r \end{pmatrix} \quad (2)$$

и подставляем его в формулу для коэффициентов разложения ($e_{\pm 1}(\mathbf{k})$ – комплексные векторы поляризации [1])

$$b(\mathbf{k}, \pm 1) \equiv \frac{1}{8\pi^2 \sqrt{\hbar k c}} \int d^3 \mathbf{r} [e_{\pm 1}(\mathbf{k})]^+ e^{-i(\mathbf{k}\mathbf{r} \mp k c t)} \xi(\mathbf{r}, t) \quad (3)$$

волновой функции фотона («волнового пакета») в координатном представлении произвольного состояния

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \int \frac{b(\mathbf{k}, +1)}{(2\pi)^{3/2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} e_{+1}(\mathbf{k}) e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - k c t)} d^3 \mathbf{k} + \int \frac{[b(-\mathbf{k}, -1)]^*}{(2\pi)^{3/2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} e_{-1}(\mathbf{k}) e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - k c t)} d^3 \mathbf{k}. \quad (4)$$

Поскольку формулы (1) имеют место лишь для волновой зоны, интегралы в (4) расходятся. Поэтому под знак интегралов приходится вводить обрезрующие множители $\exp(-\varepsilon r)$ и после их взятия устремлять ε к нулю. В результате, в важном случае $ak_0 \gg 1$ и $|z| \ll a$, применимом в частности, к объяснению опыта Юнга, где $a = \sqrt{x^2 + y^2}$, в предположении $z/a \cong z/r = \cos\theta_r$, из (4) получается [5] приближенная формула для ВФФ:

$$\Psi^{(+)}(\mathbf{r}, t) = \frac{A e^{-ik_0 c t}}{4a \sqrt{\pi \hbar k_0 c}} \left[\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -i \cos(ak_0) \\ \sin(ak_0) \cos\theta_r \\ -i \sin(ak_0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -i \cos(ak_0) \\ -\sin(ak_0) \cos\theta_r \\ -i \sin(ak_0) \end{pmatrix} \right]. \quad (5)$$

Из общих физических соображений, с учетом (1) и выражения для плотности энергии электромагнитного поля классической электродинамике, в формуле (5) величину a следует заменить на r , принимая во внимание, что формула (5) получена в нулевом приближении. Возникающее при этом выражение почти совпадает по структуре с ВФФ, полученной в [5], исходя из других соображений и для другого вида моделирования. Тогда волновая функция фотона, проходящего «через оба отверстия» в первом экране опыта Юнга принимает вид

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \Psi_1(\mathbf{r}, t) + \Psi_2(\mathbf{r}, t) = \frac{B e^{-ik_0 ct}}{r_1} \left[\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -i \cos(r_1 k_0) \\ \sin(r_1 k_0) \cos \theta_{r_1} \\ -i \sin(r_1 k_0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -i \cos(r_1 k_0) \\ -\sin(r_1 k_0) \cos \theta_{r_1} \\ -i \sin(r_1 k_0) \end{pmatrix} \right] +$$

$$+ \frac{B e^{-ik_0 ct}}{r_2} \left[\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -i \cos(r_2 k_0) \\ \sin(r_2 k_0) \cos \theta_{r_2} \\ -i \sin(r_2 k_0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -i \cos(r_2 k_0) \\ -\sin(r_2 k_0) \cos \theta_{r_2} \\ -i \sin(r_2 k_0) \end{pmatrix} \right] \equiv \Psi_1\left(\mathbf{r}_1 + \frac{\mathbf{d}}{2}, t\right) + \Psi_2\left(\mathbf{r}_2 - \frac{\mathbf{d}}{2}, t\right), \quad (6)$$

где B включает все константы, вектор \mathbf{d} соединяет отверстия; r_1, r_2 – расстояния от отверстий до точки наблюдения P , находящейся на втором экране (отстоящем от первого на расстоянии ℓ). Записав плотность вероятности обнаружения фотона [1] как $\Psi^+(\mathbf{r}, t)\Psi(\mathbf{r}, t)$, получаем в ней интерференционный член, который после преобразований и пренебрежения слагаемым, включающим произведение $\cos \theta_{r_1} \cos \theta_{r_2}$, сводится к виду

$$\rho_{\text{int}} = \frac{4B^2}{r_1 r_2} \left[\sin(k_0 r_1) \sin(k_0 r_2) + \cos(k_0 r_1) \cos(k_0 r_2) \right] = \frac{4B^2}{r_1 r_2} \cos[k_0(r_2 - r_1)] = \frac{4B^2}{r_1 r_2} \cos \delta, \quad (7)$$

где предполагается, что $r_1 + r_2 \approx 2\ell$, $r_2 - r_1 = \Delta$, где Δ – оптическая разность хода лучей, исходящих из обоих отверстий, $\delta = 2\pi\Delta/\lambda_0$ – их разность фаз с точки зрения классической электродинамики, $k_0 = 2\pi/\lambda_0$.

Таким образом, ВВФ в координатном представлении, объясняет волновые явления на равноправной основе для всех квантовых частиц и фотонов, испускаемых в эксперименте заведомо поодиночке.

Список публикаций:

- [1] Давыдов А. П. Волновая функция фотона в координатном представлении: монография. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова. 2015. 180 с.
 [2] Davydov A. P., Zlydneva T. P. // 2018 14th International scientific-technical conf. APEIE – 44894 proceedings: Novosibirsk. 2018. V. 1. Part. 4. P. 58-69.
 [3] Davydov A. P., Zlydneva T. P. // Proc. of the IV Int. research conf. "Information technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine" (ITSMSSM 2017). 2017. P. 257-265.
 [4] Давыдов А. П., Злыднева Т. П. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23 (8). С. 27-38.
 [5] Давыдов А. П., Злыднева Т. П. // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: сб. науч. ст. II Всерос. науч. конф. Тольятти: Издатель Качалин А. В., 2019. Часть 1. С. 136-144.

Расчет энтропии кротовой норы Дамура-Солодухина

Киреева Гульдар Милхатовна

Каримов Рамис Халилович

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Измаилов Рамиль Наилевич, к.ф.-м.н.

kireevaguldar11@gmail.com

На сегодняшний день интересным исследованием в физике является исследование квантовых процессов проходящих в компактных астрофизических объектах. Одним из таких возможных процессов является энтропия. В работе будет рассчитана энтропия кротовой норы Дамура-Солодухина [1], используя термодинамические законы механики компактных астрофизических объектов.

Энтропию черных дыр впервые рассматривали Хокинг и Беккенштейн [2,3], где они вывели соотношение между энергией E и энтропией S , которое имеет вид:

$$dE = T_H dS, \quad (1)$$

где T_H – температура Хокинга.

Следовательно, для того, чтобы найти энтропию кротовой норы Дамура-Солодухина, необходимо сначала найти температуру Хокинга. Температуру Хокинга кротовой норы Дамура-Солодухина, можно найти, используя метод Гауса-Бонне [4]:

$$T_H = \frac{1}{4\pi} \int_{r_{th}} \sqrt{g} R, \quad (2)$$

где r_{th} – радиус горловины кротовой норы, g – определитель метрики двумерного Евклидового пространства, получающегося в результате поворота Вика $\tau = it$ в экваториальной плоскости $\theta = \pi/2$ и R – скаляр кривизны Риччи.

Подставляя $E = Mc^2$ в уравнение (1) получаем, что энтропия кротовой норы может быть получена из уравнения

$$dS = \frac{c^2}{T_H} dM. \quad (3)$$

Таким образом, энтропию кротовой норы Дамура-Солодухина можно получить из уравнения (1). Однако, для этого нужно найти температуру Хокинга, согласно уравнению (2).

Список публикаций:

- [1] Damour T., Solodukhin S.N. // *Physical Review D*. 2007. Vol. 76. P. 024016.
 [2] Hawking S.W. // *Communications in Mathematical Physics*. 1976. Vol. 46. P. 206.
 [3] J. D. Bekenstein // *Physical Review D*. 1973. Vol. 7. P. 2333.
 [4] Övgün A., Sakallı İ. // *Annals of Physics*. 2020. Vol. 413. P. 168071.

Моделирование движения частиц различной плотности под действием потока воды

Куличкина Туяра Петровна

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

Яковлев Борис Васильевич д.ф.-м.н.

turaret_2017@mail.ru

При гравитационном обогащении полезных ископаемых используют различные устройства, в том числе сепараторы с применением потока воды [1]. Для усовершенствования или проектирования устройств необходимо знание параметров устройств и материалов обогащения при различных режимах работы [2]. С целью оптимизации этих параметров разрабатываются математические модели процессов сепарации в устройствах обогащения. В настоящей работе представлены результаты исследования движения частиц в наклонной плоскости под действием потока воды. Разработанный в Лаборатории полезных ископаемых ИГДС СО РАН крутонаклонный концентратор для обогащения россыпей является усовершенствованием такого устройства.

На рис.1 представлена схема исследуемого устройства. Из угла 1 выходит изотропный поток воды (пунктирная линия 2). Не далеко от точки 1 в поток попадает исследуемая частица и движется под действием силы потока воды, силы реакции наклонной плоскости (угол наклона β), силы трения и силы тяжести по некоторой траектории (сплошная кривая 3) в зависимости от начальной скорости. При этом начальная скорость частицы имеет произвольное направление от 0^0 до 90^0 (угол отсчитывается от нижнего горизонтального ребра).

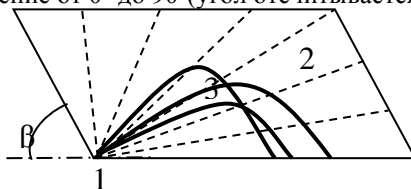


рис.1.

Целью данной работы является определение вероятности положения частицы на наклонной плоскости при заданных условиях.

Задача определения вероятности положения одной частицы в устройстве появляется при разработке математических моделей коллективного движения частиц. Для определения вероятности положения частицы используется изложенный в работах [3] метод ансамблей Гиббса. Согласно этому методу определяются все возможные положения частицы в произвольный момент времени при различных начальных значениях положений и скорости частицы. При этом начальные параметры зависят от начального значения распределения вероятностей. Множество возможных положений представляет собой пространство состояний. Таким образом,

функция распределения будет величиной пропорциональной плотности распределения возможных положений частицы в заданной области. Возможные положения частицы на рабочей поверхности устройства определяются законом движения, который получается интегрированием уравнения движения

$$m\ddot{\mathbf{R}} = \mathbf{F}_v + m\mathbf{g} + \mathbf{F}_f + \mathbf{N} \quad (1)$$

где \mathbf{R} – радиус вектор тела, m – его масса, $\mathbf{F}_v = a(\mathbf{u} - \mathbf{v})$ – сила действия потока воды, здесь используется формула Стокса, a – коэффициент сопротивления при движении тела в среде, зависящая от характеристики среды, формы и свойств тела, \mathbf{u} – скорость потока воды, \mathbf{v} – скорость движения тела, $\mathbf{g} = -g\mathbf{e}_z$ – ускорение свободного падения, $\mathbf{F}_f = Nf\frac{\mathbf{v}}{v}$ – сила трения о поверхность, $\mathbf{N} = -mg \sin \beta \cos \beta \mathbf{e}_y + mg \cos^2 \beta \mathbf{e}_z$ – сила реакции поверхности, β – угол наклона плоскости.

Исследования по определению вероятности положений частицы на рабочей поверхности устройства состоит из следующих этапов:

1. Определение распределения вероятности положения частицы в начальный момент времени;
2. Разработка математической модели движения одной частицы в устройстве, т.е. получение уравнения движения, определение закона движения частицы и ее траектории. Определение возможных положений частицы вдоль траектории за равные промежутки времени;
3. Разработка математической модели движения множества невзаимодействующих частиц с различными значениями начальных параметров в соответствии с начальным распределением вероятности, определение всевозможных положений частиц вдоль траекторий их движения за одинаковые промежутки времени;
4. Определение концентрации всевозможных точек расположения частицы, то есть распределения вероятности положений частицы в устройстве.
5. Проведение целенаправленных натуральных экспериментов.
6. Обработка экспериментальных данных.
7. Сравнение теоретических результатов с данными натурального эксперимента.

На рис. 2 представлены графики сравнения теоретических результатов с экспериментальными при исследовании движения маркеров с различной массой при скорости 2,58 м/с потока воды, угле наклона плоскости 60° .

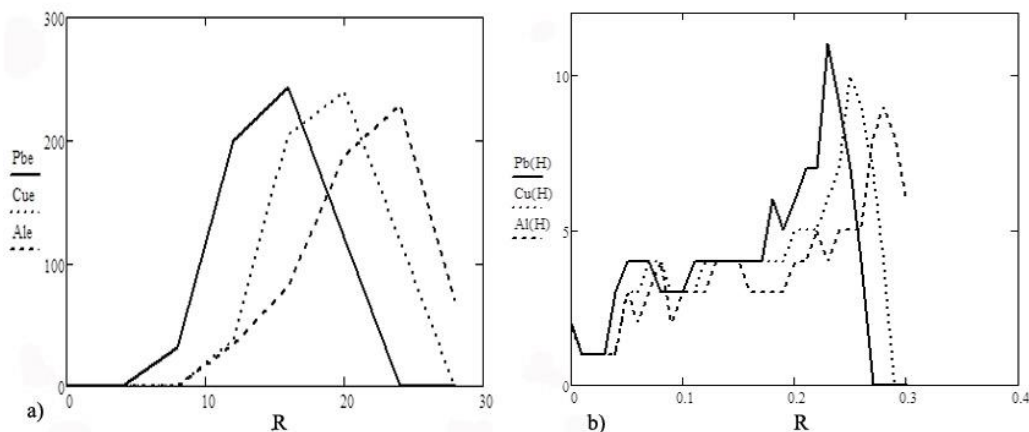


рис.2. а). Экспериментальная зависимость количества маркеров от расстояния источника (в м). б) Теоретические распределения вероятности местонахождения маркеров в нижней части устройства. По горизонтальной оси расстояния от источника воды в м.

Список публикаций:

- [1] Hasankhoeil A.R., Banisi S., Mozafari P., *Designing a spiral splitter at the zarand coal washing plant, Indian J.Sci.Res.1(2) : 151-156, 2014.*
- [2] Германюк Г.Ю. *Математическое моделирование движения ансамбля частиц с использованием канонического метода интегрирования. Дисс. на соискание уч. ст. к. ф.-м. н. Ижевск, 2010.*
- [3] Sardaana R. Krylatova, and Boris V. Yakovlev. *Modeling by Gibbs method of processes in equipment for enrichment and separation of mineral resources //AIP Conference Proceedings 2041, 050004 (2018); doi: 10.1063/1.5079373.*

Моделирование высокоскоростного соударения металлов методом гидродинамики сглаженных частиц с учетом дислокационной пластичности.

Родионов Егор Сергеевич

Майер Александр Евгеньевич

Челябинский государственный университет

Майер Александр Евгеньевич

zlategor@mail.ru

Активное использование методов численного моделирования позволяет существенно упростить исследование изменений в телах, которые происходят при высокоскоростной деформации. Но, в тех случаях, когда эксперимент трудно осуществим и информация о процессе носит «размытый», косвенный характер, математическое моделирование служит практически единственным инструментом исследования. Процессы физики удара и деформации связаны с совокупностью сложных явлений, включающих в себя сложные физические процессы, как, например, распространение сильных ударных волн, разрушение материалов и другие, связанные в первую очередь с большим выделением энергии, высокими давлениями и существенными деформациями. Подбор адекватной модели позволит уточнить физику происходящих явлений.

Модель динамической деформации численно интегрируется методом гидродинамики сглаженных частиц (размазывание характеристик частицы в пространстве вокруг нее с использованием функции -ядра). Упруго – пластические деформации (расчет тензора микроскопических и пластических деформаций и напряжения) описываются на основе представлений о динамике дислокаций (уравнения движения дислокаций и изменения их плотности). В данной работе предложена модификация численного метода гидродинамики сглаженных частиц (SPH) с учетом дислокационной модели пластичности металлов. [1,2]

В данной работе были проведены расчеты для столкновения двух пластин алюминия с учетом пластических деформаций (рис. 1) и столкновение алюминиевого цилиндра с неупругой преградой (т.н. тест Тейлора) (рис. 2).

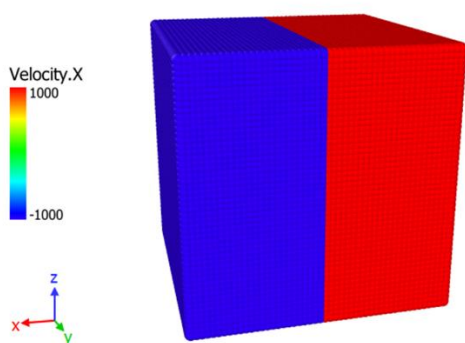


рис.1. Начальная форма образца и распределение x компоненты скорости.

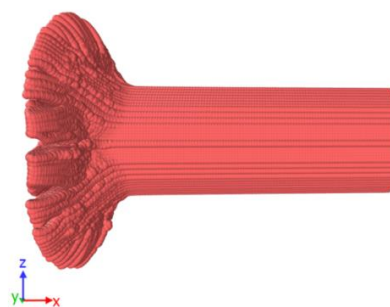


рис. 2. Форма образца после испытания на удар по Тейлору

В ходе расчетов были определены значения тензора пластических деформаций и напряжения для пластических деформаций.

Список публикаций:

[4] Mayer A.E., Mayer P.N. Continuum model of tensile fracture of metal melts and its application to a problem of high-current electron irradiation of metals // *Journal of Applied Physics*. – 2015. – V. 118 (3) – P. 035903.

[5] Mayer A.E., Borodin E.N., Krasnikov V.S., Mayer P.N. Numerical modelling of physical processes and structural changes in metals under intensive irradiation with use of CRS code: dislocations, twinning, evaporation and stress waves // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2014. – V. 552. – P. 012002.

Исследование параметров гравитационнолинзирования заряженных черных дыр ГМГГС

Сафина Элина Рустамовна

Измаилов Рамиль Наильевич

Бакирский государственный педагогический университет

Камал Кант Нанди, PhD

makhiyanova.elina@mail.ru

Теория струн является одним из кандидатов для описания последовательной квантовой теории гравитации, и поэтому исследования черных дыр, кротовых нор и голых сингулярностей в теории струн является актуальной задачей. Предсказания теории струн отличаются от предсказаний общей теории относительности, и одно из главных отличий является наличие скалярного поля, называемого дилатонным полем, которое может изменять свойства геометрии астрофизических объектов. Решения для сферических симметричных статических заряженных черных дыр в низкоэнергетическом в пределе теории струн в четырехмерном пространстве были получены Гиббонсом и Маедой [1] и независимо от них Гарфинклом, Горовицом и Стромингером [2] (далее ГМГГС).

Эффективное действие метрики ГМГГС в картине струн имеет вид:

$$S_{SF} = \int d^4x \sqrt{-\tilde{g}} e^{-2\phi} [R_{\tilde{g}} - 4(\nabla\phi)^2 - F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}], \quad (1)$$

где ϕ дилатонное поле, $R_{\tilde{g}}$ скаляр кривизны и $F_{\mu\nu}$ электромагнитное поле Максвелла. Магнитно заряженная метрика для действия (1) имеет вид:

$$d\tau_{Mag,SF}^2 = -\frac{(1-\frac{2M}{r})}{(1-\frac{Q^2}{Mr})} dt^2 + \frac{dr^2}{(1-\frac{2M}{r})(1-\frac{Q^2}{Mr})} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (2)$$

При $Q^2 < 2M^2$, метрика описывает регулярную черную дыру с горизонтом событий $r_{eh} = 2M$. Однако, в предельном случае при значении $Q^2 = 2M^2$, метрика сводится к

$$d\tau_{WH,SF}^2 = -dt^2 + (1 - \frac{2M}{r})^{-2} dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (3)$$

Эта метрика при $r > 2M$ является глобально статичной и геодезически полноценной, и обладает всеми свойствами кротовой норы без горловины с функцией красного смещения $\Phi = 0$ и функцией формы $b(r) = 4M(1 - \frac{M}{r})$.

В работе исследуется влияние магнитного заряда решения ГМГГС на параметры гравитационного линзирования в пределе слабого поля. Для расчета параметров гравитационного линзирования используется формализм Китона-Петерса [3]. Вычисляются следующие параметры гравитационного линзирования: положение изображения, увеличение, общее увеличение, центральное положение и задержка по времени.

Список публикаций:

1. G.W. Gibbons and K. Maeda, *Nucl. Phys. B* 298, 741 (1988).

2. D. Garfinkle, G.T. Horowitz and A. Strominger, *Phys. Rev. D* 43, 3140 (1991) [Erratum-ibid. *Phys. Rev. D* 45, 3888 (1992)].

3. C.R. Keeton and A.O. Petters, *Phys. Rev. D* 72, 104006(2005).

Оператор эволюции дираковских фермионов в среде и нейтринные осцилляции

Слижевский Кирилл Васильевич

Иркутский государственный университет

Калошин Александр Евгеньевич, д.ф.-м.н.

Sqlk12@mail.ru

Проблема нейтринных осцилляций находится в центре внимания последние десятилетия, как с экспериментальной, так и с теоретической точки зрения. Явление нейтринных осцилляций создается смешиванием в системе нейтрино, когда массовые состояния отличаются от флейворных [1]. Мы исследуем случай распространения нейтрино в среде. В этом случае может возникать резонансная конверсия нейтрино одного сорта в другой – эффект Михеева-Смирнова-Вольфенштейна. Квантовая механика наряду с квантовой теорией поля является надлежащим инструментом для описания этих эффектов и в данном случае мы используем именно квантовомеханический подход к этой проблеме. Простейший случай для осцилляций нейтрино это использовать уравнение Шредингера.

Мы же используем формализм, разработанный в [2] для изучения эволюции системы смешанных состояний флейворных нейтрино в веществе. Формулируем задачу на собственные значения используя гамильтониан Дирака и решаем ее для ультррелятивистских фермионов.

$$\hat{H}_D = \vec{\alpha}\vec{p} - \gamma^0 M - \alpha\gamma^0 U(1 - \gamma^5),$$

где $\vec{\alpha} = \gamma^0 \vec{\gamma}$, M – массовая матрица, a – матрица потенциалов взаимодействия со средой, U – 4-х мерный вектор скорости среды. Квантовая механика позволяет написать любой оператор в виде

$$\hat{V} = \sum_i E_i |i\rangle\langle i| = \sum_i E_i \Pi_i,$$

где E – собственные значения, а Π – соответствующие ортогональные проекторы (собственные проекторы). Воспользовавшись этим фактом строим спектральное представление оператора эволюции.

Решение уравнение Дирака получим в виде

$$\psi(t) = e^{-i\hat{H}t}\psi(0) = \hat{V}\psi(0) = \sum_{j=1}^4 e^{-iE_j t} \Pi_j \psi(0),$$

где \hat{V} – оператор эволюции.

Используя метод рассмотренный выше в данной работе был найден эволюционный оператор для дираковских фермионов. С помощью данного математического объекта значительно проще, чем в КТП [3] получить вероятности для перехода нейтрино из одного сорта в другой, а так же формулы эффекта МСВ. В дальнейшем этот инструмент можно применять в случаях, когда вектор скорости не равен нулю или когда в вершинах взаимодействий имеется примесь правых токов и т.п.

Список публикаций:

[1] S. Bilenky, *Lect. Notes Phys.* 947, 1 (2018)

[2] A.E. Kaloshin, V.P. Lomov, *Int. J. Mod. Phys. A* 31, 1650031 (2016)

[3] M. Dvornikov, *Field theory description of neutrino oscillations, in Neutrinos: Properties, Sources and Detection, ed. J. P. Greene (Nova Science Publishers, New York, 2011)*

Однофотонные интерференционные явления с точки зрения волновой функции фотона

Сорокин Андрей Владимирович

Давыдов Александр Петрович

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Давыдов Александр Петрович, к.ф.-м.н.

skainet3002@rambler.ru

В классической электродинамике излучение фотона отдельным атомом описывается путем вычисления напряженностей электромагнитного поля, непрерывно испускаемого этим атомом и занимающего некоторый пространственно-временной континуум. Однако если излучение более-менее монохроматично, то, согласно квантовым представлениям, в результате излучения испускается фотон с энергией $\hbar\omega$, которая всегда поглощается в одной точке пространства. Поэтому, на самом деле следует считать, что атомом испускается не некоторое реальное электромагнитное поле, как принято считать в классической электродинамике, в виде «цуга электромагнитных волн», а «нечто» такое, которое условно можно считать волновой функцией фотона (ВФФ) в координатном представлении [1-4]. Условно – потому что на данном уровне знаний ВФФ представляет собой математическое построение, а не физический объект. Применяя термин ВФФ в координатном представлении можно наглядно описывать однофотонные интерференционные явления [2-4] на «метафизическом языке» и, таким образом, в определенной мере ослабить проблему корпускулярно-волнового дуализма света.

Существует [1] способ построения ВФФ в координатном представлении, используя выражения классической электродинамики. Цель статьи – сравнить плотность вероятности обнаружения фотона при его свободном распространении, даваемую ВФФ в координатном представлении, описывающей фотон, излучаемый фемтосекундным лазером длительностью импульса 80 фс и средней длиной волны 10 мкм, с так называемой *классической* плотностью вероятности, введенной в [3, 5].

ВФФ может быть представлена [1] в виде шестикомпонентного вектора (волнового пакета)

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \int \frac{b(\mathbf{k}, +1)}{(2\pi)^{3/2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} e_{+1}(\mathbf{k}) e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - kct)} d^3\mathbf{k} + \int \frac{[b(-\mathbf{k}, -1)]^*}{(2\pi)^{3/2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} e_{-1}(\mathbf{k}) e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - kct)} d^3\mathbf{k}, \quad (1)$$

где $e_{\pm 1}(\mathbf{k})$ – комплексные векторы поляризации [1], коэффициенты $b(\mathbf{k}, +1)$ – произвольны, но учитывают вклады двух возможных значений спиральности фотона и удовлетворяют соотношению нормировки для функции (1), означая, как и в обычной квантовой механике частиц, обладающих массой, что интеграл по всему пространству от плотности вероятности $\rho(\mathbf{r}, t) = \Psi^+(\mathbf{r}, t)\Psi(\mathbf{r}, t)$ равен 1. В [1–5] рассмотрен волновой пакет вида (1) с гауссовским распределением по импульсам:

$$b(\mathbf{k}, +1) = [b(-\mathbf{k}, -1)]^* = \sqrt{\frac{\alpha^3}{2\pi\sqrt{\pi}}} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{2}(k_x^2 + k_y^2 + (k_z - k_0)^2)\right], \quad (2)$$

где $\mathbf{k}_0 = (0, 0, k_0)$ и α удовлетворяют условию нормировки на единичную вероятность. Моделирование (2) соответствует состоянию фотона с нулевым средним значением спиральности, что в классической электродинамике означает линейную поляризацию. В данном случае ненулевой электрической компонентой является E_x , получаемая из (1), (2) и $\mathbf{e}_\lambda(\mathbf{k})$ методом, разработанным в [1]. На оси z , вдоль которой в среднем эволюционирует расплывающийся с течением времени данный волновой пакет, плотность вероятности $\rho(\mathbf{r}, t)$ и проекция E_x могут быть вычислены аналитически. На рис. 1а линией 1, показана плотность вероятности при $t=0$ для излучения лазера длительностью $\tau_{rad} = 80$ фс с центральной длиной волны $\lambda_0 = 10$ мкм.

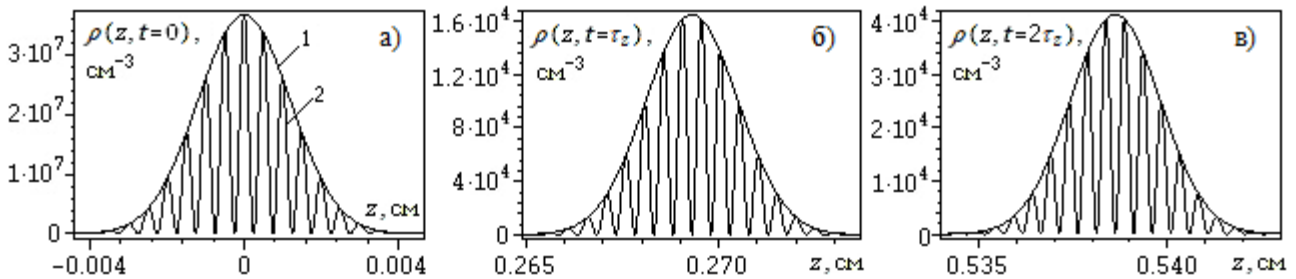


рис.1. Плотность вероятности обнаружения фотона на оси z в разные моменты времени в лазерном импульсе длительностью 80 фс : 1 – вычисленная в рамках квантовой механики [1]; 2 – «классическая» плотность вероятности, вычисленная по формуле (3)

При указанных параметрах лазерного импульса значение $\alpha = 0,00169$ см находится [1] из соотношения $\Delta E \Delta t \approx \hbar/2$, где Δt полагается $\tau_{rad}/2$, а ΔE вычисляется формулами квантовой механики фотона [1].

Также, линией 2, показана «классическая» плотность вероятности

$$\rho_{class}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{2} \frac{E_x^2}{4\pi} \frac{1}{E}, \quad (3)$$

которая в [3, 5] определяется как половина отношения классической плотности энергии $w_{class} = (E_x^2 + H_y^2)/8\pi$ к средней энергии \bar{E} фотона. Дополнительное деление на 2 учитывает, что в нашем случае не производится усреднение по периоду колебаний плотности энергии. В данной работе аналитически получена квантовая плотность вероятности $\rho(\mathbf{r}, t) = \Psi^+(\mathbf{r}, t)\Psi(\mathbf{r}, t)$ не только при $t=0$, но и в любой последующий момент времени. Поскольку соответствующая формула весьма громоздка, мы приводим здесь только графики $\rho(\mathbf{r}, t)$ (также и классической плотности) для двух моментов времени: $t = \tau_z$ (рис. 1б) и $t = 2\tau_z$ (рис. 1в), где $\tau_z \approx 0.898 \cdot 10^{-11}$ с – время расплывания [1] рассматриваемого волнового пакета вдоль оси z .

Таким образом, квантовомеханическая плотность вероятности является огибающей линией максимумов «классической» плотности.

Расчеты показывают, что в рассмотренной в [6] стоячей «однофотонной волне» для квантовой плотности вероятности $\rho(\mathbf{r}, t) = \Psi^+(\mathbf{r}, t)\Psi(\mathbf{r}, t)$ не возникают пучности и узлы, в отличие от электрической и магнитной составляющих классического поля. Фотон в такой волне может быть обнаружен с равной вероятностью в любой точке в любой момент времени. Данный вывод находится в соответствии с тем, что понятие электромагнитного поля для единичного фотона неприменимо. ВФФ строится из математических (комплексных) компонент, не измеряемых на опыте, как и для частиц, обладающих массой. Вопрос о том, что физически отражает волновая функция квантового объекта, остается открытым. Для его решения, на наш взгляд, необходимы новые эксперименты, касающиеся свойств физического вакуума.

Список публикаций:

- [1] Давыдов А. П. Волновая функция фотона в координатном представлении: монография. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова. 2015. 180 с.
 [2] Davydov A. P., Zlydneva T. P. // Proc. of the IV Int. research conf. "Information technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine" (ITSMSSM 2017). 2017. P. 257-265.
 [3] Davydov A. P., Zlydneva T. P. // 2018 14th International scientific-technical conf. APEIE – 44894 proceedings: Novosibirsk. 2018. V. 1. Part. 4. P. 58-69.
 [4] Давыдов А. П., Злыднева Т. П. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23 (8). С. 27-38.
 [5] Давыдов А. П., Злыднева Т. П. // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: сб. науч. ст. II Всерос. науч. конф. Тольятти: Издатель Качалин А. В., 2019. Часть 1. С. 145-153.
 [6] Белинский А.В., Лапшин В.Б. // Метафизика, 2015. – № 1. – С. 37–49.

Свойства трехфазной полосы на фазовой диаграмме системы локальных бозонов Сневак Евгений Львович

Уральский федеральный университет, Институт естественных наук и математики
 Панов Юрий Демьянович
Spevak155@gmail.com

В работе представлено изучение фазовой диаграммы (рис.1,а) системы локальных бозонов [1] на квадратной решетке с учетом взаимодействия ближайших и следующих за ближайшими соседями, а также коррелированного зарядового переноса. В середине XX века эта модель использовалась в описании явления сверхтекучести гелия. Однако в настоящее время эта модель применяется для изучения явлений высокотемпературной сверхпроводимости. С помощью компьютерного моделирования в программе Wolfram Mathematica мы построили фазовую диаграмму системы [2] при определенных соотношениях параметров и исследовали свойства трехфазной полосы, лежащей на этой фазовой диаграмме.

Мы используем формализм вторичного квантования и приближение среднего поля для описания исследуемой системы. Гамильтониан системы имеет вид:

$$H = -t \sum_{\langle i,j \rangle} (c_i^+ c_j + c_i c_j^+) + V \sum_{\langle i,j \rangle} n_i n_j - \alpha V \sum_{\langle\langle i,j \rangle\rangle} n_i n_j - \mu \sum_i n_i,$$

где V, α – коэффициенты взаимодействия, t – коэффициент переноса, μ – химический потенциал,

$\langle i, j \rangle$ – ближайшие соседние узлы, $\langle\langle i, j \rangle\rangle$ – вторые соседи,

c_i^+, c_i – операторы рождения и уничтожения локальных бозонов в i – м узле решетки соответственно.

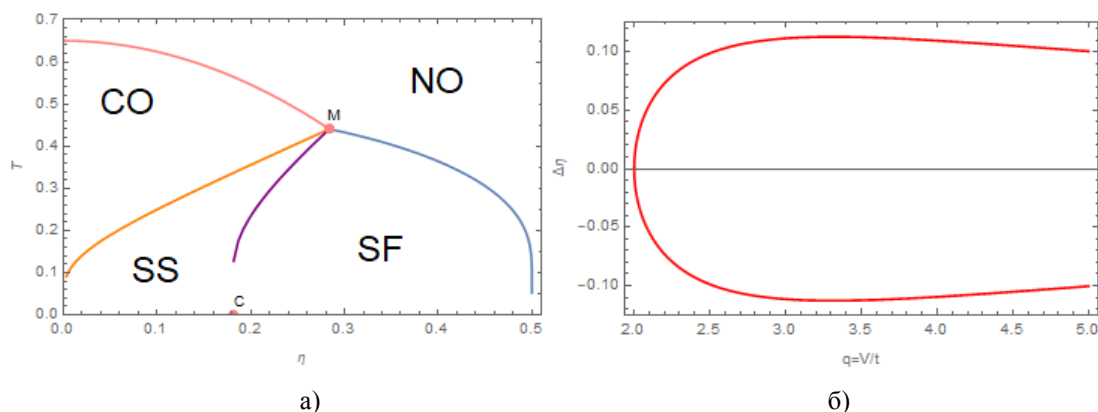


рис.1. а) Фазовая диаграмма системы, б) Зависимость ширины трехфазной полосы от соотношения параметров системы

При исследовании свойств трехфазной полосы (рис. 1,б) мы выяснили, что при соотношении $q=2$ полоса схлопывается, и при дальнейшем его уменьшении не существует. Полученные результаты позволяют определить области существования различных состояний и их границы.

Список публикаций:

- [1] T. Matsubara, H. Matsuda, 'A Lattice Model of Liquid Helium', Progress of Theoretical Physics 16, 569 (1956)
 [2] Сневак Е. Л., Панов Ю. Д., «Фазовые диаграммы системы локальных бозонов на квадратной решетке», Сборник Тезисов СПФКС-20

Термоэлектрические свойства бездефектных двухслойных графеновых нанолент в сильном внешнем электрическом поле

Судоргин Сергей Александрович

*Волгоградский государственный аграрный университет
sergsud@mail.ru*

Исследование электрофизических и термоэлектрических характеристик нового углеродного материала графена в последнее время привлекает большое внимание ученых. Вычисление его транспортных свойств и зависимости их от внешних полей является одной из наиболее важных проблем в физике углеродных низкоразмерных структур.

Представленная работа посвящена исследованию в рамках квазиклассического подхода термоэлектрических характеристик графеновых нанолент. В приближении времени релаксации получено выражение для дифференциальной термоэдс двухслойных графеновых лент во внешнем сильном электрическом поле. Двухслойный графен состоит из двух графитовых слоев с гексагональной структурой. Между двумя слоями графена приложен электростатический потенциал U . Электронная структура такой системы обычно рассматривается в рамках модели сильной связи для π -электронов в приближении ближайших соседей. Тогда закон дисперсии такой системы можно записать в виде [1]:

$$E_p^{\pm\pm}(U) = \pm \sqrt{\varepsilon_p^2 + \gamma^2 / 2 + U^4 / 4 \pm \sqrt{\gamma^4 / 4 + (\gamma^2 + U^2) \varepsilon_p^2}} \quad (1)$$

где γ ($\approx 0,4$ эВ) – величина интеграла перескока между графеновыми слоями, U – электростатический потенциал, а ε_p – дисперсионное соотношение для однослойного графена [2]

$$\varepsilon_p = \pm t_0 \sqrt{1 \pm 4 \cos(ap_x) \cos(\pi s / n) + 4 \cos^2(\pi s / n)} \quad (2)$$

где t_0 ($\approx 2,7$ эВ) – интеграл перескока электронов между соседними узлами кристаллической решетки, $a = 3b/2\hbar$, $b = 0.142$ нм – расстояние между соседними атомами углерода в графене, $\mathbf{p} = (p_x, s)$ – квазиимпульс электронов в графене, p_x – параллельная листу графена компонента квазиимпульса, $s = 1, 2, \dots, n$ – нумерует квантование компоненты импульса по ширине графенового слоя.

Из периодичности закона дисперсии следует, что его можно представить в виде ряда Фурье [3]. В рамках квазиклассического приближения функция распределения электронов $f_s(\mathbf{p}, \mathbf{r})$ находится из кинетического уравнения Больцмана [4]. Интеграл столкновений выбирается в виде, используемом в τ -приближении. Можно считать, что время релаксации $\tau = \text{const}$, т.к. экспериментально установлено [5], что в графене уже при температурах порядка 40 К время релаксации постоянно и не зависит от температуры.

При постоянной концентрации электронов проводимости $n = \text{const}$ в линейном приближении по величине градиента температуры $\nabla_x T$ получено выражение для дифференциальной термоЭДС двухслойных графеновых лент во внешнем электрическом поле:

$$\begin{aligned} S(E) = & \sum_s \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\partial f}{\partial T} \sum_m A_{ms} m \sum_{m'} A_{m's} m' \left\{ \frac{E^2(m^2 + m'^2) + 1}{K(E, m, m')} * \right. \\ & * [EmR(E, m, m', p_x) + M(E, m, m', p_x)] + \\ & \left. + \frac{E^3(m^3 - 2m^2 m') + Em'}{K(E, m, m')} T(E, m, m', p_x) \right\} dp_x + \\ & + \frac{1}{\sum_s \int_{-\pi}^{\pi} f dp_x} \sum_{s'} \int_{-\pi}^{\pi} f \sum_{s''} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\partial f}{\partial T} \sum_m A_{ms} m \sum_{m'} A_{m's} m' \frac{1}{P(E, m, m')} F(E, m, m', p_x, p_x) dp_x dp_x \end{aligned} \quad (3)$$

здесь введены следующие обозначения:

$$K(E, m, m') = [E^4(m^4 + m'^4 - 2m^2 m'^2) + 2E^2(m^2 + m'^2) + 1][E^2 m^2 + 1],$$

$$P(E, m, m') = [E^2 m^2 + 1]^2 [E^2 m'^2 + 1],$$

$$\begin{aligned}
R(m, m', p_x) &= \cos(mp_x) \sin(m'p_x) + \cos(mp_x) \cos(m'p_x) - \sin(mp_x) \sin(m'p_x), \\
M(m, m', p_x) &= \sin(mp_x) \sin(m'p_x) + \sin(mp_x) \cos(m'p_x) + \cos(mp_x) \sin(m'p_x) \\
T(E, m, m', p_x) &= [\cos(mp_x) \cos(m'p_x) - Em \sin(mp_x) \cos(m'p_x)] \\
F(E, m, m', p_x) &= [\sin(m'p_x) + Em \cos(m'p_x)] * \\
&* [\sin(mp_x) + 2Em \cos(mp_x) - E^2 m^2 \sin(mp_x)]
\end{aligned}$$

где $A_{m's}$ и $A_{m's}$ – коэффициенты разложения энергии электронов в ряд Фурье, f – функция распределения Ферми-Дирака, T – абсолютная температура.

В результате проведенного исследования предложена методика теоретического расчета коэффициента дифференциальной термоэдс двухслойных графеновых лент в присутствии электрического поля в приближении времени релаксации. Получены аналитически и проанализированы численно зависимости дифференциальной термоэдс от напряженности внешнего электрического поля для двухслойных лент различной ширины, при различных значениях электростатического потенциала между слоями графена, при различной температуре. Обнаружен нелинейный и немонотонный характер зависимости дифференциальной термоэдс от напряженности поля. При увеличении ширины двухслойных графеновых лент дифференциальная термоэдс возрастает.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-42-343001).

Список публикаций:

- [1] Yanushkina N.N., Belonenko M.B., Lebedev N.G. // Phys. Scr. 2011. Vol. 83. P. 015603.
[2] Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. Москва: Техносфера, 2003. 336 с.
[3] Белоненко М.Б., Лебедев Н.Г., Демушкина Е.В. // ФТТ. 2008. Т. 50. Вып. 2. С. 367.
[4] Шмелев Г.М., Булыгин А.С., Маглеванный И.И. // ФТТ. 1999. Т. 41. Вып. 7. С. 1314.
[5] Гочжун Ц. Наноструктуры и наноматериалы, синтез, свойства и применение. Москва: Научный мир, 2012. 520 с.

Исследование деформации растяжения магнитной солитонной решетки при помощи просвечивающей электронной микроскопии Лоренца

Терещенко Алексей Анатольевич¹

G. W. Paterson³, S. Nakayama⁴, Y. Kousaka⁴, J. Kishine^{5,7}, S. McVitie³, A. С. Овчинников^{1,2}, И. В. Проскурин^{6,1}, Y. Togawa⁴
¹Уральский федеральный университет, ²Институт физики металлов, ³University of Glasgow,
⁴Osaka Prefecture University, ⁵The Open University of Japan, ⁶University of Manitoba, ⁷Institute
for Molecular Science,

Овчинников Александр Сергеевич
alexey.tereshchenko@urfu.ru

Физические свойства одноосных киральных гелимагнетиков, спиральный магнитный порядок в которых обусловлен антисимметричным взаимодействием Дзялошинского-Мория – одна из активно изучаемых областей современной теории магнетизма. Одной из причин повышенного интереса к геликоидальным системам и их потенциального применения в спиновой электронике является способность управления магнитной киральностью внешними воздействиями. Так, например, совместное действие внешнего магнитного поля и механических напряжений способно приводить к значительной перестройке основного состояния магнитной солитонной решетки [1]. К сожалению, этот эффект остается малоизученным, хотя и представляет несомненный практический интерес.

Мы рассматриваем случай киральной солитонной решетки, подвергнутой одноосной упругой деформации, приложенной перпендикулярно киральной оси, и получаем путем аналитического расчета фазовую диаграмму магнитных состояний, стабильных в присутствии внешнего магнитного поля. Анизотропия, индуцированная упругой деформацией, приводит к существованию трех различных нетривиальных спиновых текстур, вид которых определяется типом деформации, и мы показываем, как эти магнитные состояния могут быть идентифицированы по их профилям сигналов, полученным при помощи просвечивающей электронной микроскопии Лоренца (ТЕМ). В работе представлены экспериментальные ТЕМ измерения контраста Френеля на деформированном образце одноосного кирального гелимагнетика CrNb₃S₆ [2], которые хорошо согласуются с рассчитанным контрастом.

Наши результаты демонстрируют дополнительную степень свободы (упругая деформация образца), которая может быть использована, как «настройка» магнитных свойств гелимагнетиков для фундаментальных исследований и применений в области спинтроники и появляющейся области стрейнтроники.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00769 мол_а и Фонда содействия развитию теоретической физики и математики BASIS 17-11-107.

Список публикаций:

[1] <http://arxiv.org/abs/1911.09634>

[2] Togawa Y. // PRL. 2012. Т. 108. № 10. С. 107202.

Проявление фрустраций основного состояния в двумерной разбавленной модели Изинга в магнитокалорическом эффекте

Шадрин Антон Викторович

Улитко Василий Анатольевич, Панов Юрий Демьянович

Уральский федеральный университет

Панов Юрий Демьянович

fynjygame@rambler.ru

Разбавленная модель Изинга [1] является одной из основных в теории разупорядоченных магнитных систем. Мы рассматриваем магнитокалорический эффект (МКЭ) для двумерной модели Изинга с фиксированной концентрацией n немагнитных подвижных заряженных примесей в пределе сильных межузельных зарядовых корреляций. Актуальность данного исследования обусловлена развитием технологии магнитного охлаждения.

Мы используем псевдоспиновый формализм, где для данного узла решетки двум магнитным состояниям с проекциями спина $s_z = \pm 1/2$ соответствуют состояния псевдоспина $S = 1$ с проекциями $S_z = \pm 1$, примеси соответствует состоянию с $S_z = 0$. Гамильтониан системы имеет вид:

$$H = -\tilde{J} \sum_{\langle ij \rangle} S_{zi} S_{zj} + V \sum_{\langle ij \rangle} P_{0i} P_{0j} - h \sum_i S_{zi}, \quad (1)$$

где S_{zi} - z -проекция оператора псевдоспина на узле, $P_{0i} = 1 - S_{zi}^2$ - оператор проекции на состояние $S_z = 0$, $\tilde{J} = J s^2$, J - обменный интеграл, $s = 1/2$, V - параметр межузельных зарядовых корреляций, а $\langle ij \rangle$ означает суммирование по ближайшим соседям. Суммы пробегают все узлы квадратной решетки.

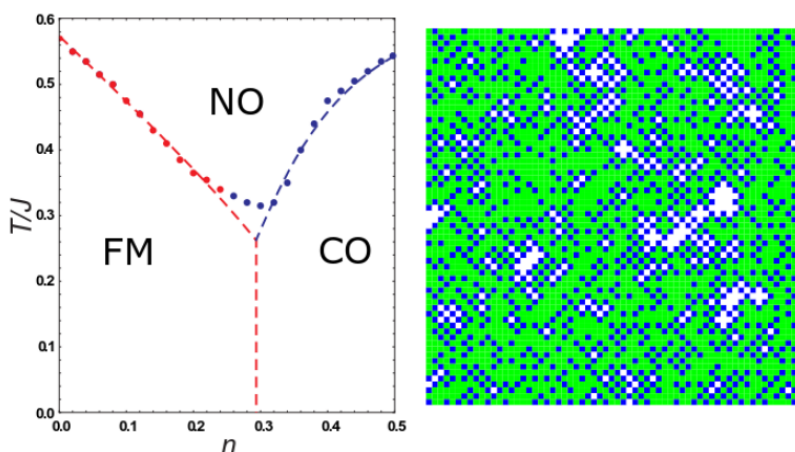


рис.1. Фазовая диаграмма двумерной разбавленной модели Изинга (левая панель) и снимок решетки 64×64 в основном состоянии для концентрации немагнитных примесей $n = 0.3$ (правая панель) в пределе сильных межузельных зарядовых корреляций: $V/\tilde{J} = 4$. FM - ферромагнитное упорядочение, CO - зарядовое упорядочение примесей, NO - высокотемпературная неупорядоченная фаза. Синий цвет соответствует зарядовым примесям, белый и зелёный - противоположным проекциям спина.

Мы исследовали зависимости термодинамических величин системы с гамильтонианом (1) от температуры, магнитного поля и концентрации примесей с помощью классического метода Монте-Карло (алгоритм Метрополиса) и вычислили параметры МКЭ для различных величин V/\tilde{J} [2]. Обсуждается возможность детектирования фрустраций, связанных с появлением изолированных магнитных кластеров в

основном состоянии двумерной разбавленной изинговской системы в случае сильных межузельных зарядовых корреляций, $V/\tilde{J} \gg 1$, с помощью данных о магнитной энтропии системы.

Список публикаций:

- [1] S. Katsura, B. Tsujiyama, *Ferro- and Antiferromagnetism of Dilute Ising Model*, in: C. Domb (Ed.), *Proceedings of the Conference on Phenomena in the Neighborhood of Critical Points*, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1965: pp.219-224
 [2] A V Shadrin, V A Ulitko, Y D Panov, 2019 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1389 012088

Моделирование магнитоэлектрических и поверхностных свойств в сверхрешетках и нанопленках мультиферроиков

Юлдашева Алина Рифовна

Нугаева Нурия Мазитовна, Нугуманов Айдар Гайсович
Башкирский государственный университет

Шарафуллин Ильдус Фанисович
alina.yuldasheva.92@mail.ru

В последнее время наблюдается высокий интерес к магнитоэлектрическим свойствам многослойных тонких пленок или сверхрешеток [1-3], что обусловлено возможностью их практического применения в различных областях электроники, таких как микроэлектроника, спинтроника [4] и оптоэлектроника.

В нашей работе исследуются особенности фазовые переходы в сверхрешетке двумя параметрами порядка с помощью моделирования методами Монте-Карло. Рассматриваемая сверхрешетка мультиферроика состоит из чередующихся ферромагнитных и сегнетоэлектрических пленок, состоящих из нескольких атомарных слоев (Моделирование выполняется для пленок с толщинами от 4 до 16 атомарных слоев). Гамильтониан сверхрешетки мультиферроика запишем в виде:

$$H = H_m + H_f + H_{mf} \quad (1)$$

здесь H_m - гамильтонианом ферромагнитной подсистемы, H_f - гамильтониан сегнетоэлектрической подсистемы, и H_{mf} - гамильтониан магнитоэлектрической связи между магнитной и сегнетоэлектрической пленками.

Исследовано влияние температуры, внешних магнитных и электрических полей, магнитоэлектрической связи и поверхностных эффектов на магнитоэлектрическую сверхрешетку. Магнитная подсистема в данной работе моделируется как кубическая решетка со спинами Гейзенберга. Электрическая поляризация (0,±1) была случайным образом задана на каждом узле кубической решетки сегнетоэлектрической пленки.

Обнаружено изменение характера фазового перехода при увеличении величины параметра магнитоэлектрического взаимодействия. Построена фазовая диаграмма, которая показывает, что магнитные и сегнетоэлектрические фазовые переходы тесно связаны. Интерфейсный магнитный и сегнетоэлектрический слои проявляют существенно различный характер по сравнению с внутренними слоями.

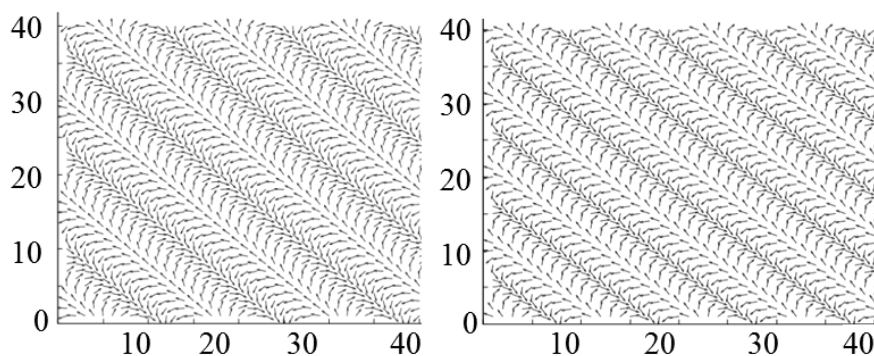


рис.1. Основное состояние интерфейсного ферромагнитного слоя для $J^m = J^f = 1$, $J^{mf} = -0.75$ (слева) и $J^{mf} = -0.9$ (справа).

Список публикаций:

- [1] Шарафуллин И.Ф., Нугаева Н.М., Харрасов М.Х. // *Письма о материалах*. 2019. Т.9. №4. С.499-503.
 [2] Sharafullin I.F., Diep H.T. // *Symmetry*. 2020. 12(1), P.26.
 [3] Kharrasov M.Kh., Kyzrgulov I.R., Sharafullin I.F., Nugumanov A.G. // *Solid State Phenomena*. 2015. 233-234. P. 383-387.
 [4] Пятаков А. П., Звездин А. К. // *УФН*. 2012, Т. 182. № 6. С. 593–620.

Свойства тонких аккреционных дисков черной дыры Тауб-НУТ

Юсупова Розалия Мансуровна

Каримов Рамис Хамитович

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Камал Кантти Нанди, PhD

yu.rose@mail.ru

В работе исследуются кинематические и радиационные свойства тонких аккреционных дисков вокруг черных дыр Тауб-НУТ [1]. Под тонким аккреционным диском принято понимать диск, высота которого намного меньше его радиуса [2,3]. Предполагается, что тонкий диск находится в состоянии гидродинамического равновесия, то есть градиент давления и вертикальный градиент энтропии пренебрежимо малы в диске. Эффективное охлаждение с помощью излучения с поверхности диска предотвращает диск от накопления тепла, которое вырабатывается при напряжении и динамическом трении. В свою очередь, это равновесие и приводит к образованию диска, т.е. стабилизирует его вертикальный размер. Тонкий диск имеет внутреннюю границу – наименьшую стабильную орбиту, а излучающее вещество движется по кеплеровским орбитам [2,3]. Исходя из наблюдаемых свойств аккреционных дисков, можно сделать выводы о физических параметрах и свойствах объектов, вокруг которых эти диски образованы. Ранее, исследования аккреционных дисков проводились в ОТО [4], теории струн [5] и др.

В работе рассматривается метрика Тауб-НУТ, которая характеризуется присутствием заряда НУТ, имеющего размерность длины. Рассматриваемая метрика включает в себя уже две полубесконечные особенности, расположенные при $\Theta=0$ и $\Theta=\pi$ на оси симметрии.

На рисунке 1 представлен график зависимости наименьшей стабильной орбиты от параметра НУТ. Из графика видно, что с увеличением параметра НУТ увеличивается радиус наименьшей стабильной орбиты.

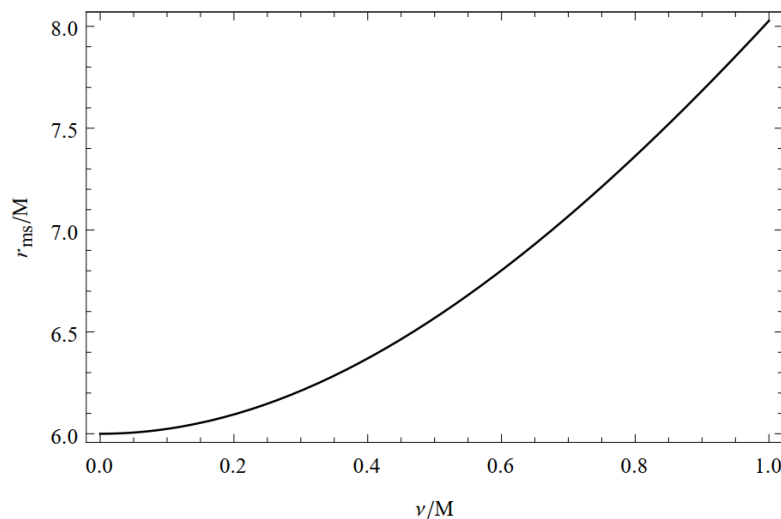


рис. 1. График зависимости наименьшей стабильной орбиты частиц аккреционного диска от параметра НУТ ν .

В работе так же рассматриваются такие свойства аккреционных дисков, как угловой момент, энергия связи, поток энергии и распределение температуры.

Список публикаций:

[1] V.S. Manko, E Ruiz // *Class. Quantum Grav.* 26, 215006 (2005).

[2] N.I. Shakura, R.A. Sunyaev // *Astron. Astrophys.* 24, 33 (1973).

[3] D.N. Page, K.S. Thorn // *Astrophys. J.* 191, 499 (1974).

[4] R.Kh. Karimov, R.N. Izmailov, A. Bhattacharya, K.K. Nandi // *Eur. Phys. J. C* 78, 788 (2018).

[5] R.Kh. Karimov, R.N. Izmailov, K.K. Nandi // *Eur. Phys. J. C* 79, 952 (2019).

02 – Физика конденсированного состояния вещества

Боронин Виктор Александрович, м.н.с.

Челябинск, Институт электрофизики УрО РАН

Механизмы электрической проводимости полимера – «нейлон 6»

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

e-mail: tafun74@gmail.com стр. 65

Булатова Эльвира Ришатовна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумуллы, институт физики и математики

Релаксация фотопроводимости границы раздела полимер/полимер после УФ облучения

Юсупов Азат Равилевич, к.ф.-м.н.

e-mail: elya.bulatova@mail.ru стр. 66

Бызова Елена Сергеевна, магистрант 2 года обучения

Кемерово, Кемеровский государственный университет, Институт фундаментальных наук

Первопринципное исследование структуры кристаллогидратов

Журавлев Юрий Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: l6930@mail.ru стр. 67

Вагапов Александр Шамильевич, 4 курс

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт

Оптические свойства прозрачной керамики $MgAl_2O_4$ облученной ионами меди

Зацепин Анатолий Фёдорович, к.т.н.

e-mail: Alexander1705q@icloud.com стр. 68

Волков Дмитрий Вячеславович, м.н.с.

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, НИИ Физики

Диэлектрические свойства трехкомпонентных твердых растворов состава $Bi_{1-x}La_xMnO_3$ при высоких температурах

Вербенко Илья Александрович, д.ф.-м.н.

e-mail: werhider@yandex.ru стр. 69

Габдрахманова Лилия Айратовна, доцент

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Изучение фазовых и структурных превращений в AgI методом электрохимической ячейки

e-mail: la-gabdrahmanova@mail.ru стр. 71

Гавриляк Максим Витальевич, аспирант 1 года обучения

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, Институт естественных и точных наук

Нелинейная импедансная спектроскопия нематического жидкого кристалла E7

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

e-mail: gavrilyak.maksim@yandex.ru стр. 73

Глазунова Екатерина Викторовна, аспирант 3 года обучения

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Влияние модифицирования $CdNb_2O_6$ на фазообразование твердых растворов $Pb(Ti_{0.5}Zr_{0.5})O_3$

Вербенко Илья Александрович, д.ф.-м.н.

e-mail: kate93g@mail.ru стр. 74

Грачков Алексей Александрович, 4 курс

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический

Исследование термодинамических параметров вещества при воздействии интенсивных потоков энергии

Лейви Артём Ячеславович, к.ф.-м.н.

e-mail: leshaagrachkov@gmail.com стр. 76

Гринёва Дарья Александровна, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Влияние одноосного давления на электроёмкость защитных органических пленок
Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.
e-mail: grineva.dasha1999@yandex.ru стр. 77

Демченко Александра Александровна, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиопоглощающие и пьезорезистивные композитные материалы
Кабилов Юрий Вагизович, к.ф.-м.н.
e-mail: krimova@mail.ru стр. 79

Захаров Николай Владимирович, магистрант 2 года обучения
Волгоград, Волгоградский государственный университет, Институт математики и информационных технологий
Электронное строение германена с точечными дефектами замещения
Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: anonimmisterx@mail.ru стр. 80

Иргалина Регина Ильфатовна, 1 курс
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Дилатометрические исследования процесса термостабилизации полиакрилонитрильного волокна
Фазлитдинова Альфия Габдиловна, к.ф.-м.н.
e-mail: gaysinareginochka@yandex.ru стр. 81

Карпенко Анастасия Сергеевна, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Влияние вида анизотропии межфазной энергии на скорость цилиндрических включений, мигрирующих в кристалле
Гармашов Сергей Иванович, к.ф.-м.н.
e-mail: as.karpenko911@yandex.ru стр. 82

Колосовский Данил Антонович, магистрант 1 года обучения
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Влияние As на отжиг подложки (001)InP
Журавлев Константин Сергеевич, д.ф.-м.н.
e-mail: danil-ak@yandex.ru стр. 84

Кондерова Ольга Сергеевна, 2 курс
Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический
Динамика движения диэлектрических микрочастиц в нематических жидких кристаллах
Подгорнов Фёдор Валерьевич, к.ф.-м.н.
e-mail: olunka2000@mail.ru стр. 85

Кошкин Алексей Борисович, магистрант 1 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Фазовые превращения в сплавах Fe_{100-x}Si_x: исследования с помощью первопринципных методов
Бучельников Василий Дмитриевич, д.ф.-м.н.
e-mail: koshkin.alexei2016@yandex.ru стр. 86

Латыпов Тагир Рамзилович, 1 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, математики и информационных технологий
Расчет зонной структуры и распределения электронной плотности в AgCuS
Давлетшина Алиса Данисовна, к.ф.-м.н.
e-mail: davletshinaalisa@rambler.ru стр. 87

Лихолетова Марина Владимировна, аспирант 1 года обучения
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет, физический
Сверхпроводимость наноструктурированного эвтектического сплава Ga-Ag
Чарная Елена Владимировна, д.ф.-м.н.
e-mail: marinalikholetova@yahoo.com стр. 89

Макаров Богдан Борисович, 1 курс
Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, металлургии,
машиностроения и материалообработки
Магнитогидродинамический метод расчета некоторых параметров течения и кристаллизации жидкого металла

Дубский Геннадий Алексеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: nexusbionics@yandex.ru стр. 90

Маринина Екатерина Владимировна, магистрант 1 года обучения
Волгоград, Волгоградский государственный университет, институт математики и информационных технологий
Электронное строение деформированных германеновых нанолент

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: v-marinin@mail.ru стр. 91

Меренцов Александр Ильич, с.н.с.
Екатеринбург, Институт физики металлов УрО РАН, лаб. электрических явлений
Формирование структурных фрагментов в дихалькогенидах титана, замещённых 3d-переходными металлами

e-mail: Alexander.Merentsov@urfu.ru стр. 93

Назыров Эдуард Римович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы, институт физики и математики
Электрическая проводимость тонких пленок полидифениленфталида допированных молекулами органических соединений

Карамов Данфис Данисович, к.ф.-м.н.
e-mail: dunwich1313@gmail.com стр. 94

Носов Иван Юрьевич, 4 курс
Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт физики
Исследования мультиферроиков BiFeO_3 , легированных европием с разными концентрациями

Вагизов Фарит Габдулхакович, к.ф.-м.н.
e-mail: vanka.nosov@mail.ru стр. 95

Павлов Александр Валерьевич, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Фотоуправляемые органические полевые транзисторы

Салихов Ренат Баязитович, д.ф.-м.н.
e-mail: alexpav2457@gmail.com стр. 96

Панкратова Анна Константиновна, 5 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики

Магнитная фазовая диаграмма s-d модели для кубических решеток

Игошев Петр Алексеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: pankratovaanny@yandex.ru стр. 97

Пушкарев Георгий Владимирович, 1 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический

Орбитальный отклик монослойной сурьмы во внешнем магнитном поле

Мазуренко Владимир Гаврилович, д.ф.-м.н.
e-mail: puskarev.g.v@gmail.com стр. 98

Саносян Артур Азатович, аспирант 1 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, Физический
Исследование из первых принципов структурных свойств сплавов Гейслера на основе $\text{Co}_2\text{Ni}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ ($x=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$)

Соколовский Владимир Владимирович
e-mail: arthursanosyan@mail.ru стр. 100

Седенкова Ольга Игоревна, магистрант 2 года обучения
Кемерово, Кемеровский государственный университет, институт фундаментальных наук
Расчет поляризации для кристаллов типа ABO_3 методом функций Ваннье
Гордиенко Алексей Болеславович, д.ф.-м.н.
e-mail: sedenkova.2015@mail.ru стр. 101

Усольцев Олег Андреевич, аспирант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, Международный исследовательский институт
Применение методов машинного обучения к operando XANES спектроскопии для палладиевых нанокатализаторов
Солдатов А.В., д.ф.-м.н.
e-mail: oleg-usol@yandex.ru стр. 102

Фаттахова Валерия Олеговна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы, институт физики и математики
Влияние интенсивности света на электропроводность границы раздела двух полимерных диэлектриков
Юсупов Азат Равилевич, к.ф.-м.н.
e-mail: lera.fattaxova@gmail.com стр. 103

Фещенко Анастасия Александровна, 5 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики
Использование эффекта анизотропии магнитосопротивления для измерения магнитострикции в тонких пленках сплавов 3d-металлов
Васьковский Владимир Олегович, д.ф.-м.н.
e-mail: asynickname@mail.ru стр. 104

Харченко Диана Геннадьевна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Влияние электрического поля на спектры поглощения пьезокерамики ПКР-1
Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.
e-mail: diana.harchenko555@yandex.ru стр. 106

Чалов Дмитрий Александрович, магистрант 1 года обучения
Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический
Исследование оптических спектров химически модифицированного поливинилиденфторида
Песин Леонид Абрамович, д.ф.-м.н.
e-mail: chalovdmitriy@gmail.com стр. 107

Механизмы электрической проводимости полимера – нейлон 6

Боронин Виктор Александрович

Гавриляк Максим Витальевич

Южно-Уральский государственный университет

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

boronin1996vitek@mail.ru

В качестве основы гибких печатных плат в подавляющем большинстве случаев применяются пленки на основе полиимидов (PI) – материалов, устойчивых к воздействию химических веществ и высокой температуры, а также обладающих высокой прочностью. Полиимиды выдерживают многократное прессование и пайку без расслоения и вздутия платы, а также устойчивы к механическим деформациям. Воздействием лазерного излучения на полиимид можно создавать проводящие каналы что может значительно упростить изготовление устройств гибкой электроники. В связи с этим, идентификация механизмов электрической проводимости полиимидным пленок представляет собой важную научную задачу.

Целью данной работы является идентификация механизмов электропроводности тонких пленок нейлона 6 (толщина 50 нм). В рамках данной работы процессы проводимости могут исследовались методом импедансной спектроскопии в широком температурном интервале (-150 °С +150 °С) с помощью импедансного спектрометра Novocontrol. Спектры комплексного импеданса преобразовывались в комплексные спектры проводимости (рис.1) и анализировались.

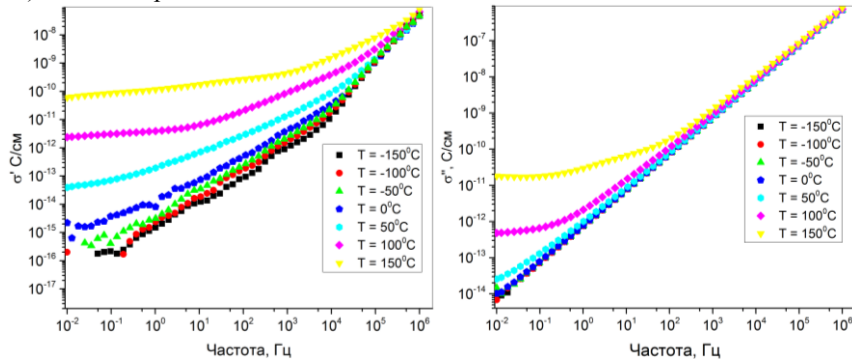


рис. 1 Зависимость действительной и мнимой части удельной электропроводности $\sigma(f)$ от частоты.

Действительную и мнимую части проводимости можно представить в виде:

$$\sigma'(f) = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon''(f) + \sigma'(f)_{hop} + \sigma_{DC} \quad (1)$$

$$\sigma''(f) = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon'(f) + \sigma''(f)_{hop} \quad (2)$$

Где σ_{DC} – проводимость пленки на постоянном токе, $\varepsilon'(f)$ и $\varepsilon''(f)$ - действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости, $\sigma'(f)_{hop}$ и $\sigma''(f)_{hop}$ - действительная и мнимая части прыжковой проводимости.

В области низких частот ($f \rightarrow 0$ Гц) данные формулы можно упростить:

$$\sigma'(f) \approx \sigma'(f)_{hop} + \sigma_{DC} \quad (3)$$

$$\sigma''(f) \approx \sigma''(f)_{hop} \quad (4)$$

Действительная и мнимая части спектров проводимости $\sigma'(f)$ и $\sigma''(f)$ могут быть использованы для оценки $\sigma(f)_{hop} = \sigma'(f)_{hop} - i\sigma''(f)_{hop}$ и σ_{DC} . В случае отсутствия прыжковой проводимости $\sigma'(f)$ должна иметь горизонтальную асимптоту ($\sigma'(f) \rightarrow \sigma_{DC}$ при $f \rightarrow 0$ Гц) и $\sigma''(f) \rightarrow 0$ при $f \rightarrow 0$ Гц. Анализ спектров проводимости показывает, что пленка нейлона 6 имеет комбинированный механизм проводимости- дрейфовый и прыжковый, исследуемый полимер демонстрирует как ионную, так и прыжковую проводимость постоянного тока. Прыжковая проводимость может быть связана с переносом ионов с одного центра захвата в другой [2]. Анализируя температурную зависимость проводимости по постоянному току, можно сделать вывод о том, что данный процесс не является Аррениусовским.

Список публикаций:

[1] Kim T. Y. et al. Electrical conduction of polyimide films prepared from polyamic acid (PAA) and pre-imidized polyimide (PI) solution //e-Polymers. – 2008. – Т. 8. – №. 1.

[2] Sessler G. M., Hahn B., Yoon D. Y. Electrical conduction in polyimide films //Journal Of applied physics. – 1986. – Т. 60. – №. 1. – С. 318-326.

Релаксация фотопроводимости границы раздела полимер/полимер после УФ облучения

Булатова Эльвира Ришатовна

Фаттахова Валерия Олеговна

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Юсупов Азам Равилевич, к.ф.-м.н.

elya.bulatova@mail.ru

В работе [1] было показано, что на границе раздела двух полимерных диэлектриков формируется высокопроводящая область. Установлено, что подвижность и электропроводность вдоль границы раздела существенно превышают объемные значения. Дальнейшие исследования границы раздела показали, что облучение образца ультрафиолетовым светом приводит к росту тока. Механизм роста фототока может быть связан с изменением дипольного момента, который также определяет наблюдаемое в работе [2] длительное послесвечение в тонких пленках полидифениленфталата. Следует также отметить, что аналогичный эффект, роста фототока наблюдается на структурах с полиметилметакрилатом (ПММА). Как было показано в работе [3], облучение ПММА используемого в качестве подзатворного диэлектрика в структуре полевого транзистора приводит к существенному улучшению характеристик транзистора за счет изменения дипольного момента вызванного изменением функциональных групп ПММА с $-\text{CH}_3$ на $-\text{COOH}$ [3], что в свою очередь приводит к изменению заряженных состояний вблизи поверхности полимера. Особенностью фотопроводимости границ раздела таких структур является наличие длительной релаксации фотопроводимости. Таким образом, целью настоящей работы является изучение релаксации фотопроводимости в структуре с границей раздела полимер/полимер.

В настоящей работе были изготовлены экспериментальные структуры в следующей последовательности: 1. На предварительно очищенную стеклянную пластинку методом центрифугирования носилась полимерная пленка (из раствора полимера в циклогексаноне) толщиной $\sim 0,5$ мкм. 2. После удаления остатков растворителя путем отжига при температуре 150°C (температура кипения циклогексанона) в течение 40 минут, наносились металлические электроды методом вакуумного термодиффузионного напыления, через теньевую маску. В качестве материалов электродов использовалась медь. 3. Последним этапом было нанесение второго (верхнего) слоя полимера методом центрифугирования с повторным отжигом образца. Облучение полученных структур проводили лазером с длиной волны $\lambda = 405$ нм и мощностью (0,050 мВт).

На (рис. 1) представлены вольтамперные характеристики (ВАХ) экспериментальных структур при темновом измерении и фотооблучении. Как можно видеть из рисунка, фотооблучение приводит к росту тока в ~ 2 раза. Исследование временных зависимостей фототока показало, что рост тока происходит не мгновенно, а с некоторой задержкой составляющей 5-10 с. В дальнейшем было установлено, что процесс релаксации фототока носит длительный характер.

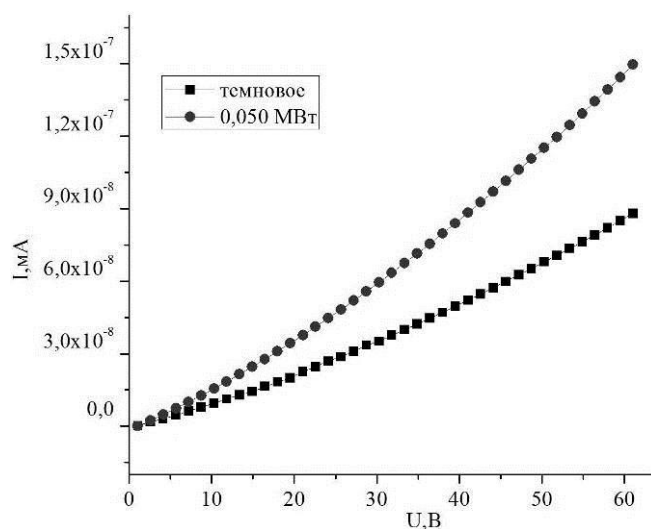


рис. 1 ВАХ экспериментальной структуры при темновом измерении и фотооблучении.

На (рис. 2) представлены результаты измерения релаксации фототока после отключения освещения. По данным зависимостям были проведены оценки времени релаксации, которое составляло от 5 до 30 минут.

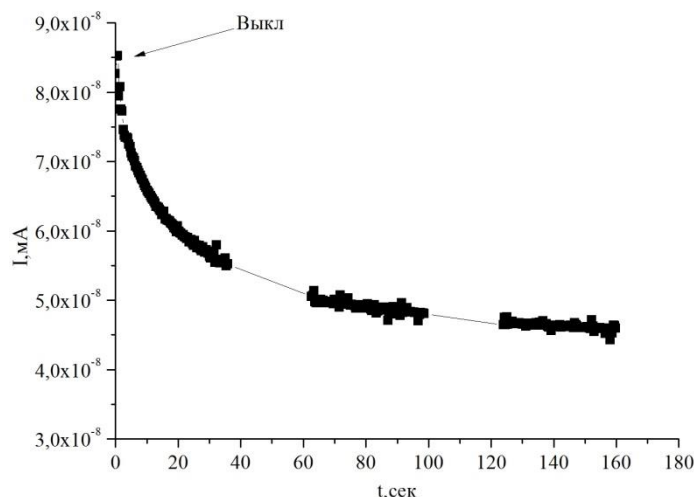


рис.2 Кривая релаксации фототока измеренная на экспериментальной структуре после отключения источника освещения.

В докладе приводятся результаты экспериментальных измерений, а также интерпретация полученных результатов.

Список публикаций:

- [1] Р.М. Гадиев, А. Н. Лачинов, В. М. Корнилов, Р.Б. Салихов, Р.Г. Рахмеев, А.Р. Юсупов. Письма в ЖЭТФ 90, 821 (2009).
 [2] В.А. Антипин, А.Н. Лачинов, Д.А. Мамыкин, А.А. Ковалёв, С.С. Остахов, В.В. Шапошникова, С.Н. Салазкин, В.П. Казаков, Химия высоких энергий. 44, 4, 345 (2010)
 [3] H.-W. Zanz, K.-H.Yen *Electrochemical and Solid-State Letters*. 11,8, 222 (2008).

Первопринципное исследование структуры кристаллогидратов

Бызова Елена Сергеевна

Кемеровский государственный университет

Журавлев Юрий Николаевич, д.ф.-м.н.

L6930@mail.ru

Кристаллогидраты считаются довольно распространенными веществами в нашей жизни. Их применение обширно: протравливание семян, крашение древесины, в качестве вяжущего и антисептического средства, дезинфекция, производство антиперспирантов и прочее. Изучение этого класса соединений началось еще в XIX веке, сейчас же ученые серьезно продвинулись вперед. Это касается как поиска новых способов их применения, так и методов борьбы с вредным гидратообразованием, мешающим процессам на производстве [1-3]. Разумеется, существует два подхода к проведению исследований: теоретические расчеты и эксперименты. Методы компьютерного моделирования привлекают тем, что дают возможность прогнозировать свойства ранее неизвестных структур или же недостаточно изученных, причем точность сопоставима с экспериментальными результатами.

Таким образом, в данной работе был проведен первопринципный расчет структуры моногидрокарбоната ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Не смотря на то, что этот объект в настоящее время вполне неплохо изучен, для нашей цели он подходит отлично: для будущих расчетов различных кристаллогидратов необходимо отладить методику вычислений. Исследование проводилось при помощи нового (относительно прошлой версии, в которой мы работали ранее [5]) программного пакета CRYSTAL17 [6]. В нем метод Хартри-Фока совместно с теорией функционала плотности DFT позволяет выполнять квантовохимические вычисления с хорошей точностью.

Для выбора оптимальной методики расчета параметров кристаллогидратов было решено провести ряд вычислений подобно тому, как ранее было сделано при исследовании льда [7]. Среди функционалов были взяты pbe, pbe-d3, b3lyp, b3lyp-d3. Суффикс d3 является новым для программы CRYSTAL17, он позволяет учесть дисперсионное взаимодействие. В качестве базиса были использованы встроенные в программу минимальные базисы Попла STO-3G, STO-6G, а также совокупность Ca_86-511d3G_catti_1991, C_6-31d1G_gatti_1994, O_6-31d1_gatti_1994 и H_3-1p1G_gatti_1994 (в таблице обозначена ***) из специальной библиотеки, разработанной для подобных расчетов [8]. Результаты представлены в таблице:

Функционал	Базис	a, Å	c, Å	V, Å	Погрешность, %
b3lyp	***	10,5519	7,5471	727,729	0,37
	STO-3G	10,2588	7,3939	673,900	9,08
b3lyp-d3	***	10,3661	7,4097	689,538	6,46
	STO-3G	10,1323	7,3097	649,902	13,44
	STO-6G	10,1079	7,3060	646,449	14,08
pbe	***	10,5217	7,5299	721,929	1,22
	STO-3G	10,3291	7,4445	687,845	6,67
pbe-d3	***	10,5367	7,4227	698,776	4,83
	STO-3G	10,2548	7,3943	673,422	9,16

Погрешность рассчитывалась как среднеквадратичное отклонение по параметрам кристаллической решетки и объему элементарной ячейки [4]: $a = 10,5547 \text{ \AA}$, $c = 7,5644 \text{ \AA}$, $V = 729,788 \text{ \AA}^3$. При использовании базиса STO-6G расчеты приводят к ошибке из-за малых расстояний между соседними атомами, поэтому в таблице приведен только один получившийся расчет с этим базисом. Очевидно, пара b3lyp-d3 и STO-6G дает наибольшую погрешность по сравнению с экспериментом. Наиболее удачными оказались b3lyp и ***, а также pbe и ***. Первый метод мы будем использовать для расчета структур кристаллогидратов, как более точный. Второй же подойдет для изучения механических, тепловых и электронных свойств, т.к. оптимален и по точности, и по скорости расчетов.

Таким образом, в результате перебора разных сочетаний функционалов и базисных наборов определены два оптимальных метода вычислений для кристаллогидратов в рамках программного пакета CRYSTAL17. Погрешность по сравнению с экспериментом составила всего 0,37 % для функционала b3lyp и 1,22 % для функционала pbe, базисный набор в обоих случаях был взят из библиотеки базисов для каждого химического элемента: Ca_86-511d3G_catti_1991, C_6-31d1G_gatti_1994, O_6-31d1_gatti_1994 и H_3-1p1G_gatti_1994. Следующим шагом будет проведение квантовомеханического исследования структуры и различных физических свойств перспективных кристаллогидратов.

Список публикаций:

- [1] Глинка Н.Л. *Общая химия: учебное пособие для вузов* // М.: Интеграл-Пресс. 2003. 728с.
 [2] Глебова Л.В., Медникова О.Л. *Методы борьбы с гидратообразованием* // Геология, география и глобальная энергетика. 2014. №3(54). С.71-73.
 [3] Вершинин С.Н. *Кристаллогидраты неорганических солей как охлаждающие элементы дыхательной смеси в шахтовых самоспасателях* // Энергетическая безопасность Новые подходы к развитию угольной промышленности. 2012. С.60-62.
 [4] Swainson I.P. *The structure of monohydrocalcite and the phase composition of the beachrock deposits of Lake Butler and Lake Fellmongery, South Australia* / I.P. Swainson // *American Mineralogist*. 2008. V.93. P. 1014 – 1018
 [5] Бызова Е.С. *Молекула H₂O с точки зрения симметрии* / Е.С. Бызова, Ю.Н. Журавлев // ВХКСФ-25, материалы конференции. 2019. С.48-49.
 [6] Dovesi R. *CRYSTAL17 User's Manual* / R. Dovesi, V.R. Saunders, C. Roetti // Torino: University of Torino. 2017.
 [7] Шайкомалова Е.С. *Структура и свойства фазовых состояний льда* / Е.С. Шайкомалова (Бызова), Ю.Н. Журавлев // Журнал структурной химии. 2019. Т.60, №1. С.64-70.
 [8] CRYSTAL – Basis Sets Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.crystal.unito.it/basis-sets.php>. (Дата обращения: 22.12.2019).

Оптические свойства прозрачной керамики MgAl₂O₄ облученной ионами меди

Ваганов Александр Шамильевич¹

Киряков Арсений Николаевич¹, Шапова Юлия Владимировна^{1,2} Гольева Е.В.³

¹Уральский федеральный университет

²Институт геологии и геохимии УрО РАН

³Санкт-Петербургский государственный университет

Зацепин Анатолий Федорович¹, к.т.н.

Alexander1705q@icloud.com

Керамики алюмо-магниевого шпинели (АМШ) являются перспективным оптическим материалом, для устройств оптоэлектроники и фотоники [1]. Высокая химическая, механическая, а также радиационная стойкость позволяет проводить ионную имплантацию таких керамик повышенными дозами. В результате ионной имплантации в матрице шпинели формируются как собственные дефекты анионной и катионных подрешеток, так и примесные дефекты, связанные с типом имплантируемых ионов. При этом происходит модификация керамики новыми оптически-активными центрами. Цель данной работы заключается в исследовании оптических свойств керамики АМШ до и после ионной имплантации Cu²⁺.

Микрокристаллические образцы прозрачной АМШ получены из Санкт-Петербургского университета имени Петра Великого. Аттестация образцов проводилась методами СЭМ и РФА. Образцы содержат 100% фазы $MgAl_2O_4$ пространственная группа $Fd\bar{3}m$. Размер зерен составляет 5-15 мкм. Спектры оптического поглощения измерены на спектрофотометре Lambda 35 (Perkin Elmer), спектры фотолюминесценции записаны с помощью CCD камеры рамановского спектрометра Horiba (Jobin Yvon) при возбуждении лазером с энергией 2,53эВ. Легирование ионами Cu^{2+} выполнено в атмосфере аргона с флюенсом $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Ускоряющее напряжение ионов составляло 30 кВ, время импульса 0.4 мс, ток разряда 60 А. Отжиг имплантированных керамик выполнен в диапазоне температур от 100 до 530 °С с шагом 30 °С.

На спектрах оптического поглощения (рис.1) видны полосы, характерные для поверхностного плазмонного резонанса (ППР) наночастиц меди – 2.1 эВ. При низких температурах отжига ПППР имеет два пика поглощения, что показывает несферичность (эллипсоидальность) синтезируемых плазмонных наночастиц [2]. С увеличением температуры отжига максимумы поглощения сливаются и смещаются в низкоэнергетическую часть спектра, что свидетельствует об укрупнении и окислении наночастиц меди.

Интенсивность люминесценции микропримесей Mn^{2+} и Cr^{3+} падает в результате ионной имплантации, что обусловлено формированием дополнительных собственных дефектов в матрице шпинели. Кроме того, в облученных образцах регистрируются новые полосы в диапазоне 550-680 нм, инициированные Cu^{2+} ионной имплантацией.

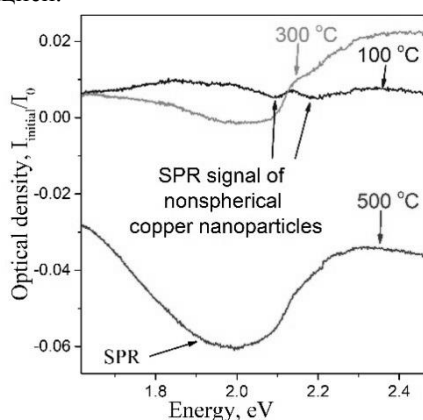


рис.1. Спектры оптического поглощения при различных температурах отжига, нормированные на спектр не отожжённого образца

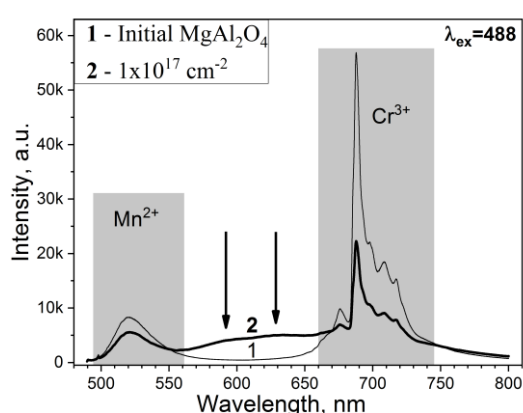


рис. 2. Спектры фотолюминесценции до и после облучения. Стрелками указаны максимумы новых люминесцентных центров

Таким образом, показано, что при ионной имплантации Cu^{2+} керамики АМШ новые оптически-активные центры, обусловленные формированием несферических металлических наночастиц меди, в приповерхностном слое. Кроме того, в матрице шпинели формируются новые центры люминесценции, связанные с присутствием меди.

Список публикаций:

- [1] M. Rubat du Merac, H. J. Kleebe, M. M. Müller & I. E. Reimanis, *J Am Ceram Soc*, 96(11), 3341-3365 (2013).
- [2] Li M., Cushing S.K., Wu N., *Analyst*, 140, 386-406, (2015)

Диэлектрические свойства трехкомпонентных твердых растворов состава $Bi_{1-x}La_xMnO_3$ при высоких температурах

Волков Дмитрий Вячеславович

Вербенко Илья Александрович, Глазунова Екатерина Викторовна, Шилкина Лидия Александровна

Южный федеральный университет

Вербенко Илья Александрович, д.ф.-м.н.

werhider@yandex.ru

В последние годы внимание многих исследователей сосредоточено на группе твердотельных сред, названных мультиферроиками. Манганит висмута ($BiMnO_3$) — представитель этой группы с температурами сегнетоэлектрического фазового перехода (ФП) 760 К, и ферромагнитного ФП — 105 К, проявляет магнитоэлектрический эффект, но весьма слабый, из-за большого различия в значениях указанных температур. С целью получения беспримесной керамики $BiMnO_3$ прибегли к частичному-замещению Bi^{3+} на

La³⁺. При подобном замещении возможно также получение объектов интересных в связи с эффектом колоссального магнитосопротивления.

В BiMnO₃ ферромагнетизм вызван упорядочением ионов марганца, обладающих переменной валентностью, что способствует формированию непостоянных структур с существенной разницей как в магнитной восприимчивости, так и в электропроводности. Сегнетоэлектрическое высокотемпературное упорядочение связано прежде всего с активностью неподеленной электронной пары катионов Bi³⁺. При этом отмечается, что, несмотря на столь существенную разницу температур переходов, BiMnO₃ обладает слабым отрицательный магнитодиэлектрическим эффектом не более 0,6% при напряженности магнитного поля 9 Тл. Замещение значительной части висмута на лантан может привести к усилению взаимного влияния сегнетоэлектрической и магнитной подсистем в области ферромагнитного перехода как за счет разбавления сегнетоактивной подрешетки, так и за счет усиления магнитного взаимодействия между катионами Mn при сокращении расстояния между ними радиус La³⁺ 1,04 Å < радиуса Bi³⁺ 1.20 Å (по Белову-Бокию). При этом безусловный интерес представляет дальнейшее модифицирование указанного соединения оксидными добавками, в том числе, содержащими магнитные ионы.

Таким образом, целью настоящей работы явилось установить влияние модификаторов Fe₂O₃, CoO, PbO, BaO, на диэлектрические свойства керамик твердых растворов(ТР) на основе Bi_{1-x}La_xMnO₃.

Все объекты получены классическим твердофазным методом. Методика подробно описана нами в[1]. Измерения проводились в специально разработанной, высокотемпературной ячейке в интервале температур от T=300-970 К широком диапазоне частот от 75 кГц до 1 МГц при помощи прецизионного измерителя импеданса Agilent E4980A.

Комплексный анализ фазового состава, результатов рентгеноструктурных и микроструктурных исследований показывает, что полученные керамические образцы однофазны, практически беспримесны и имеют высокую экспериментальную плотность.

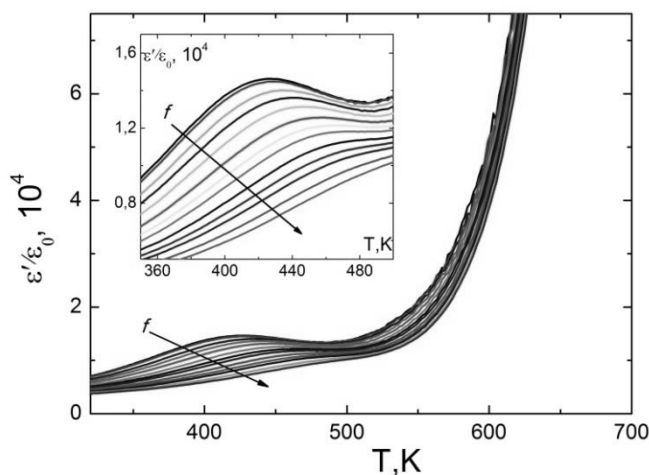


рис. 1 Значения действительной части диэлектрической проницаемости от температуры. Стрелки соответствуют возрастанию часты измерительного поля.

На температурных зависимостях диэлектрической проницаемости полученных для ряда образцов наблюдаются сильно размытые максимумы(рис.1), сдвигающиеся в область высоких температур при увеличении частоты измерительного поля. Экспериментальные значения тангенса диэлектрической проницаемости, измеренные параллельно, позволяют связать полученные результаты с эффектами, вызванными ростом электропроводности. Ранее [2] подобные аномалии, обнаруженные при изучении соединений кислородно-октаэдрического типа содержащих ионы переменной валентности, связывались поляризацией типа Максвелла-Вагнера. В работах ряда авторов [3,4] также говорится о возможности влияния структурных изменений на диэлектрические аномалии в указанной температурной области.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020)

Список публикаций:

- [1] Волков Д. В. // Сборник трудов LFPM-2019. 2019. Т. 1. С. 152.
- [2] Турик А. В., Павленко А. В., Резниченко Л. А. //ФТТ. 2016. Т. 58. С. 4-5.
- [3] Keerthana S.P., Muneeswaran M., Jegatheesan P., Giridharan N.V. // AIP Conference Proceedings. 2012. С. 1333.
- [4] Anjum G., Mollah S., Shukla D.K, Kumar Ravi // Materials Letters. 2010. Т. 64. I. 18. С. 2003-2005.

Изучение фазовых и структурных превращений в AgI методом электрохимической ячейки

Габдрахманова Лилия Айратовна

Кутушева Раиса Муллагалеевна

Башкирский государственный университет

Альмухаметов Рафаил Фазыльянович, д.ф.-м.н.

la-gabdrahmanova@mail.ru

Иодид серебра AgI является удобным модельным объектом для изучения природы ионного переноса в твердых телах благодаря относительной простоте кристаллической структуры. В данной работе приводятся результаты исследований структурных и фазовых превращений в AgI методом электрохимической ячейки. Э.д.с. электрохимической ячейки

$$C|Ag|AgI|C \quad (1)$$

может быть представлена в виде [1]:

$$E = \frac{1}{e} \left\{ \mu^o - \omega - kT \left[3 \ln \frac{h\nu}{kT} + \ln \frac{N_M}{N_V} \right] \right\}, \quad (2)$$

где e - заряд электрона; μ^o - химический потенциал атомов серебра в металле; ω - параметр, равный работе, совершаемой при переносе иона серебра из вакуума в кристалл; k - постоянная Больцмана, h - постоянная Планка; T - температура; ν - частота осцилляций ионов серебра; N_M и N_V - число мест в элементарной ячейке, занятых катионами серебра, и число вакантных мест.

Учитывая, что $\frac{d\mu^o}{dT} = -S_o$, и предполагая слабую температурную зависимость параметра ω , для угла наклона кривой $E(T)$ имеем:

$$\frac{dE}{dT} = \frac{k}{e} \left[3 \left(1 - \ln \frac{\theta}{T} \right) - \ln \frac{N_M}{N_V} - \frac{S_o}{k} \right], \quad (3)$$

где $\theta = \frac{h\nu}{k}$ температура Дебая, S_o - энтропия атомов меди в металле.

На рис. 1 приведены полученные нами экспериментальные зависимости э.д.с. ячейки (1) от температуры. Кривые сняты при нагреве и охлаждении ячейки со скоростью порядка 3 К/мин с выдержкой при 460 °С в течение 2-х часов. Видно, что на кривых $E(T)$ при нагреве наблюдаются два максимума при температурах ~140 °С и ~340 °С. При охлаждении зависимости $E(T)$ носят практически линейный характер (кривая 2).

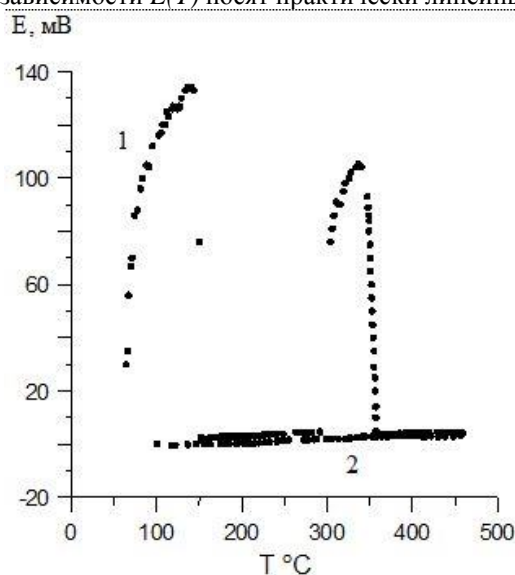


рис. 1 Зависимость э.д.с. ячейки $C|Ag|AgI|C$ от температуры

Для выяснения природы наблюдаемых особенностей рассмотрим структуру исследуемого соединения. Иодид серебра AgI имеет две модификации: до $147\text{ }^{\circ}\text{C}$ стабильна β -фаза со структурой вюрцита, выше до температуры плавления $555\text{ }^{\circ}\text{C}$ - α -фаза с о.ц.к. структурой. В о.ц.к. элементарной ячейке α - AgI , образованной анионами йода, имеются 12 тетраэдрических (d), 6-октаэдрических (b) позиций и 24 позиций с тройной координацией (h). Согласно результатам последних исследований катионы Ag^+ занимают преимущественно d -позиции, а b - и h -позиции заселены слабо [2-6]. α - AgI является быстрым катионным проводником. Элементарная ячейка AgI со структурой вюрцита содержит 2 - октаэдрических и 3 - тетраэдрических позиций, образованных анионами йода. Элементарная ячейка содержит 2 катиона серебра, которые занимают тетраэдрические позиции. β - AgI не является быстрым катионным проводником.

Температура $T \sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, при которой наблюдается первый максимум на кривой $E(T)$, близка к температуре β - α фазового перехода. Поэтому, данный пик мы связываем с переходом AgI из структуры вюрцита в о.ц.к. структуру.

В литературе отсутствуют данные о фазовых превращениях в AgI в интервале температур 290 - $360\text{ }^{\circ}\text{C}$, нет также и результатов исследований распределения подвижных катионов серебра по различным кристаллографическим позициям. Поэтому мы полагаем, что наблюдаемый на кривой $E(T)$ в этом интервале максимум может быть связан с дальнейшим разупорядочением катионов серебра и заполнением $6b$ -позиций. Данное утверждение требует проведения более детальных структурных исследований на монокристаллах.

Отсутствие аномалий на кривых $E(T)$, снятых при охлаждении ячейки, может быть связано с сохранением высокотемпературной фазы с разупорядоченной катионной подрешеткой. При повторном нагреве после выдержки при комнатной температуре в течение 24-х часов аномалии на кривой $E(T)$ появляются снова, но имеют более слабый характер. Это свидетельствует о частичном упорядочении катионов серебра и служит подтверждением вышеуказанного вывода.

Для отожженных образцов температурный коэффициент $E(T)$ имеет положительный знак, что указывает на выделение тепла при разупорядочении Ag -подрешетки.

Из выражения (3) мы вычислили число позиций на элементарную ячейку, доступных катионам серебра $N_M + N_V \approx 5$. При этом использовали экспериментальное значение тангенса угла наклона $E(T)$ для отожженных образцов. Значения S_0 взяты из [7], параметр Дебая θ рассчитали с использованием данных по теплоемкости [8]. При расчетах предполагали, что в интервале 150 - $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ оба катиона серебра являются подвижными. Теоретически для AgI с о.ц.к. структурой максимальное число позиций, которые могут быть заняты катионами серебра, $N_M + N_V \approx 12$. Полученный экспериментальный результат может быть объяснен тем, что для катионов серебра не все $12d$ -позиций являются доступными.

Необходимо отметить близость экспериментальных значений $N_M + N_V$ и количества октаэдрических позиций на элементарную ячейку, что может свидетельствовать о распределении катионов меди по $6b$ -позициям. Однако, результаты структурных исследований показывают слабую заселенность этих позиций.

Таким образом, в результате проведенных исследований э.д.с. электрохимической ячейки нами подтверждено существование фазового перехода в AgI из структуры вюрцита в о.ц.к. структуру и установлено существование перехода при $T \sim 340\text{ }^{\circ}\text{C}$, вероятно, связанного с разупорядочением катионов серебра по октаэдрическим позициям.

Показано, что исследования э.д.с. электрохимических ячеек с твердыми электролитами могут быть использованы как дополнительный метод для изучения структурных и фазовых превращений в них.

Список публикаций:

- [1] Чеботин В.Н. *Физическая химия твердого тела*. М.: Химия. 1982. 320 с.
- [2] Kusakabe M., Ito Y., Arai M., Shirakawa Y., Tamaki S. *Ionic conductivity in dissolved α - AgI* . // *Solid State Ionics*. 1996. v.86-88. p.231-234.
- [3] Hashino S., Sakuma T., Fujishita H., Shibata K. *Neutron Scattering Study on Distribution of Cations in α - AgI -Type Superionic Conductors* // *J. Phys. Soc. Japan*. v.52.1983. p.1261-1269.
- [4] Suzuki M., Okazaki H. *The structure of α - AgI* // *Phys. Stat. Sol.(a)*.1977. v.42. p.133-140.
- [5] Hashino S., Sakuma T., Fujii Y. *Distribution and anharmonic thermal vibration of cations in α - AgI* . // *Solid State Comm*. 1977. V.22. p.763-765.
- [6] Cava R.J., Fleming R.M., Rietman E.A. *Structure and fast-ion conduction in α - AgI* . // *Solid State Ionics*. 1993. V.66. p.247-258.
- [7] *Свойства элементов*. / Под ред. Самсонова Г.В. М.: Металлургия. 1976. 600 с.
- [8] *Физические величины: Справочник*. / Под ред. Григорьевой И.С., Мейлихова Е.З. М.: Энергоиздат. 1991. 1232 с.

Нелинейная импедансная спектроскопия нематического жидкого кристалла E7

Гавриляк Максим Витальевич

Гавриляк Алина Маратовна, Боронин Виктор Александрович, Караави Ахмед

Южно-Уральский государственный университет

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

gavrilyak.maksim@yandex.ru

Жидкие кристаллы (ЖК) — это материалы, обладающие текучестью, оптической, электрической и магнитной анизотропией, а также возможностью изменения пространственной ориентации молекул под действием электрического поля. Сочетание этих свойств сделало возможным их использование в дисплеях [1], оптоволоконных устройствах [2], молекулярных мембран [3] и самоорганизованных жидкокристаллических ионно- селективных мембран [4].

Создание устройств на основе жидких кристаллов стало возможным благодаря детальному исследованию их свойств. Методами позволяющими исследовать свойства жидких кристаллов, являются импедансная и диэлектрическая спектроскопия [5,6]. При измерении импеданса на образец подается небольшое осциллирующее напряжение и измеряется отклик тока. Импеданс находится как комплексная функция:

$$Z^*(\omega) = Z'(\omega) - iZ''(\omega) = \frac{U^*(\omega)}{I^*(\omega)}, (1)$$

Основным недостатком метода классической импедансной спектроскопии является предположение, что ток от напряжения зависит линейно. При повышении осциллирующего напряжения начинают проявляться искажения по току которые не учитывает классическая импедансная спектроскопия.

Расширить потенциал данных методов возможно применив методы нелинейной импедансной и диэлектрической спектроскопии высших гармоник. Данный метод основан на том, что к исследуемому образцу прикладывается большее по амплитуде осциллирующее напряжение, при этом ток от напряжения зависит нелинейно и отклик регистрируется на высших гармониках (рис.1).

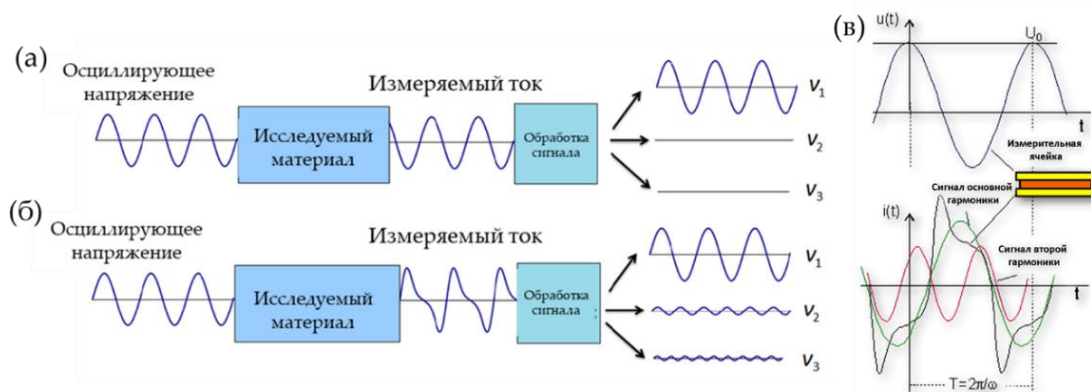


рис.1 Схема, показывающая отклик напряжения нелинейной системы на небольшое (а) и умеренное (б) возмущение напряжением. Преобразование Фурье измеряемого сигнала (в)

Отклик тока высших гармоник получен с помощью интегрального преобразования Фурье:

$$I_n(\omega) = \frac{2}{nT} \int_0^{nT} i(t) \exp(jn\omega t) dt, (2)$$

где n – обозначает $n-1$ гармонику.

В данной работе исследовалась жидкокристаллическая смесь E7, представляющая собой сочетание 4-х компонентов производных цианобифенила. При комнатной температуре данная смесь находится в нематической жидкокристаллической фазе. Для измерения в изотропной фазе, фазовый переход нематик-изотропная жидкость был измерен с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Фазовый переход в изотропное состояние ЖК смеси E7 произошел при температуре: $T_{N-I} = 63,8^\circ C$.

Измерения нелинейной импедансной спектроскопии проводились с помощью жидкокристаллической ячейки, которая представляет собой плоский конденсатор. ЖК ячейка состоит двух стеклянных пластин с нанесенными на них электродами из оксида индия-олова, поверх которых нанесены полимерные слои для планарного ориентирования молекул жидкого кристалла. Толщина зазора ЖК ячейки составляла $d = 5,6$ мкм, площадь перекрытия контактов $S = 17,4$ мм².

Измерения нелинейных спектров импеданса ЖК смеси E7 были проведены на импедансном спектрометре novocontrol beta system. Частотный диапазон измерения составил от 0,5 мГц до 600 Гц. Провести

измерения в области высоких частот невозможно ввиду ограничения возможности прибора. Осциллирующее напряжение выбиралось исходя из того, что нелинейность в высших гармониках начинает проявляться при напряжениях от 1 В и в данной работе составляло $U = 3$ В. Измерения проводились в нематической и изотропной фазах ЖК, при температурах 25 °С и 80 °С (рис.2).

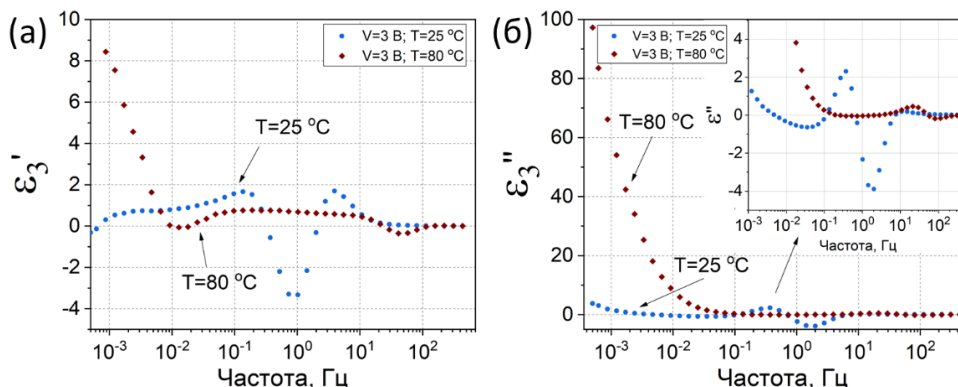


рис.2. Спектры действительной (а) и мнимой (б) части диэлектрической проницаемости 3-ей гармоники нематической фазы и изотропной фазы жидкого кристалла в планарной ячейке.

Из графиков видно, что в области низких частот, около 1 мГц, спектры комплексной диэлектрической проницаемости в изотропной фазе ЖК выше, чем в нематической фазе, что связано с повышением подвижности примесных ионов в жидком кристалле с повышением температуры.

Таким образом, нелинейные спектры комплексной диэлектрической проницаемости нематической фазы жидкого кристалла в низкочастотной области содержат только нечетные гармоники. Присутствие нечетных гармоник свидетельствует о зависимости ионных процессов от полярности приложенного электрического поля. Основным отличием спектров комплексной диэлектрической проницаемости высших гармоник изотропной фазы от нематической фазы, является присутствие в изотропной фазе четных гармоник.

Список публикаций:

- [1] Guo Q. et al. *Ferroelectric Liquid Crystals: Physics and Applications* //Crystals. – 2019. – Т. 9. – №. 9. – С. 470.
- [2] Larsen T. T. et al. *Optical devices based on liquid crystal photonic bandgap fibres* //Optics Express. – 2003. – Т. 11. – №. 20. – С. 2589-2596.
- [3] Gin D.L., Noble R. D. *Designing the next generation of chemical separation membranes* //Science. – 2011. – Т. 332. – №. 6030. – С. 674-676.
- [4] Henmi M. et al. *Self-organized liquid-crystalline nanostructured membranes for water treatment: selective permeation of ions* //Advanced Materials. – 2012. – Т. 24. – №. 17. – С. 2238-2241.
- [5] Podgornov F. V. et al. *Mechanism of electrooptic switching time enhancement in ferroelectric liquid crystal/gold nanoparticles dispersion* //Liquid Crystals. – 2018. – Т. 45. – №. 11. – С. 1594-1602.
- [6] Perkowski P. *Dielectric spectroscopy of liquid crystals. Theoretical model of ITO electrodes influence on dielectric measurements* //Opto-Electronics Review. – 2009. – Т. 17. – №. 2. – С. 180-186.

Влияние модифицирования CdNb_2O_6 на фазообразование твердых растворов $\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$

Глазунова Екатерина Викторовна
Южный федеральный университет
Вербенко Илья Александрович, д.ф.-м.н.
kate93g@mail.ru

Стремление к универсальности функциональных материалов приводит к необходимости совмещения в одной химической композиции нескольких материалов, имеющих различную, структуру и свойства.

В данной работе нами изучены процессы фазообразования в квазибинарной системе твердых растворов (ТР), в которую входят $\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$, обладающий высокими значениями диэлектрических $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0 = (2000-2300)$ и электромеханических $K_p = (0.550-0.569)$ характеристик, имеющий структуру типа перовскита[1], а также CdNb_2O_6 , обладающий очень высокими значениями диэлектрической проницаемости и кристаллизующийся в структуре пироклора [2].

Как известно, для образования ТР элементы, входящие в их состав должны удовлетворять условиям изоморфизма: разность ионных радиусов (ΔR) не должна превышать 15 % и разность электроотрицательностей

($\Delta\text{ЭО}$) должна быть не больше 0.4 по Полингу [3]. Если эти условия не выполняются, то возможна только ограниченная растворимость. Так, например, в системе $(1-x)\text{NaNbO}_3-x\text{LiNbO}_3$, несмотря на большую разницу в ионных радиусах ($\Delta R(\text{Na-Li})=44\%$, $\Delta\text{ЭО}(\text{Na-Li})=0.05$) Li растворяется в NaNbO_3 до $x=0.14$. В изучаемой системе $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3-x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ условия изоморфизма выглядят следующим образом: для А- катионов $\Delta R(\text{Pb-Cd})=27\%$, а $\Delta\text{ЭО}(\text{Pb-Cd})=0.64$, что превышает допустимый предел почти в два раза. Для В-катионов $\Delta R(\text{Ti-Nb})=3\%$, $\Delta R(\text{Zr-Nb})=24\%$, а $\Delta\text{ЭО}(\text{Ti-Nb})=0.06$, $\Delta\text{ЭО}(\text{Zr-Nb})=0.27$. Из приведенных данных видно, что основной конфликт возникает при замещении в А-позиции, что говорит о том, в данной системе также возможна только ограниченная растворимость.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является установление закономерностей фазообразования и выявление границы растворимости в ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3-x\text{CdNb}_2\text{O}_6$.

Объекты, и методы получения Объектами исследования стали ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3-x\text{CdNb}_2\text{O}_6$, где $0.025 \leq x \leq 0.10$. Все образцы получали методом твердофазных реакций при $T_{1,2}=950^\circ\text{C}$ и времени выдержки $\tau=4$ ч. Спекание проводили по обычной керамической технологии $1200^\circ\text{C} \leq T_{\text{сн.}} \leq 1220^\circ\text{C}$. В качестве исходных реагентов использовали PbO (ч), TiO_2 (осч), ZrO_2 (ч), Nb_2O_5 (ч), (ч), CdO (ч).

Рентгенографические исследования проводили методом порошковой дифракции на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{CoK}\alpha$ – излучения. Содержание примесных фаз оценивалось по относительным интенсивностям соответствующих им сильных линий, I/I_1 , где I-интенсивность линии примесной фазы, I_1 -интенсивность сильной линии соответствующего ТР.

На рисунке приведены рентгенограммы ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3-x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ после синтеза.

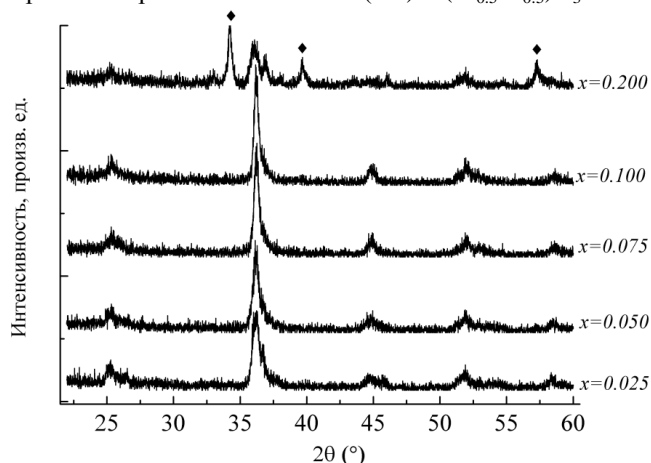


рис. Рентгенограммы ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3-x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ с $0.025 \leq x \leq 0.2$ после синтеза $T_1=950^\circ\text{C}$ (ромбом отмечены дифракционные отражения относящиеся к пирохлорной фазе).

Из рисунка видно, что после синтеза образцы с $x \leq 0.1$ имеют структуру типа перовскита и не содержат примесных фаз. Но уже при концентрации Cd-содержащего компонента $x \geq 0.2$ однородные ТР не возникают и образуется смесь пирохлорной и перовскитной фаз, что говорит о том, что действительно, при получении ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3-x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ проявляется ограниченная растворимость до 10 мол. %.

Таким образом, в ходе работы в виде керамики были получены ТР в интервале $0.025 \leq x \leq 0.1$ с относительной плотностью 90-95%. В работе также обсуждаются структурные параметры, полученных ТР, их зависимость от концентрации компонента x , а также влияние CdNb_2O_6 на диэлектрические и пьезоэлектрические свойства исследуемых объектов.

На базе полученных данных делается заключение о возможности использования рассматриваемых ТР как основы для создания пьезоэлектрических устройств.

Работа выполняется в рамках гранта РФФИ № 19-32-90099\19 в лаборатории интеллектуальных материалов, плазменных технологий и инновационных мультифункциональных систем НИИ физики, при использовании оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

Список публикаций:

- [1] Hongyan Qi, Xin Xia, Changlin Zhou, Pengcheng Xiao, Yun Wang, Yongju Deng. *Ferroelectric properties of the flexible $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ thin film on mica* // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2020. V. 31. № 4. PP. 3042–3047.
- [2] Yu-Jen Hsiao, Te-Hua Fang, Liang-Wen Ji and Sung-Shui Chi. *Surface and Photoluminescence Characteristics of CdNb_2O_6 Nanocrystals* // *The Open Surface Science Journal*. 2009. № 1. P.30-33.
- [3] Урусов В. С., *Теоретическая кристаллохимия*. – М.: Изд-во МГУ, 1987. 275 с.

Исследование термодинамических параметров вещества при воздействии интенсивных потоков энергии

Грачков Алексей Александрович

Южно-Уральский государственный университет

Лейви Артём Ячеславович, к.ф.-м.н.

leshaagrachkov@gmail.com

Обработка конструкционных материалов интенсивными потоками энергии (с плотностью мощности 10^5 - 10^8 Вт/см²) является одним из перспективных методов улучшения их трибологических свойств. Быстрый ввод энергии в вещество приводит к модификации структурно-фазового состава, изменению рельефа поверхности. Что сопровождается увеличением прочности, износостойкости и эрозионной устойчивости.

Для описания процессов, протекающих в веществе при воздействии интенсивных потоков энергии, необходимо понимание процесса эволюции термодинамических параметров среды, как на этапе облучения, так и в последующие моменты времени, когда протекают процессы релаксации среды к новому равновесному состоянию. Поэтому в работе происходит расчёт термодинамических параметров. Система уравнений, описывающая эволюцию термодинамических параметров среды при воздействии на неё потоков излучения, включает: уравнения для расчета функции энерговыделения в облучаемой среде; уравнения механики сплошной среды; широкодиапазонное уравнение состояния. Рассмотрим соответствующую одномерную систему уравнений.

Пусть поток плазмы или ускоренных заряженных частиц падает на плоскую многослойную мишень. Ось z направлена перпендикулярно плоскости мишени. Система уравнений, описывающая одномерные нестационарные упругопластические течения, в лагранжевых переменных имеет вид (обозначения, введенные выше, сохранены):

$$\rho \dot{v} = \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\frac{\dot{V}}{V} = \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\rho \frac{dU}{dt} = \sigma_{zz} \frac{\dot{V}}{V} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mathfrak{N} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + D(z, t), \quad (3)$$

где σ_{ik} - неравновесное напряжение, D - функция энерговыделения, которая определена при корпускулярном облучении и находится из решения соответствующего кинетического уравнения. При облучении плазменным потоком $D = 0$, а передача энергии мишени описывается заданным на облучаемой поверхности тепловым потоком.

Неравновесная компонента тензора напряжений (4):

$$\sigma_{zz} = -P^0(\rho, T) + S_{zz}^0 = \delta\sigma, \quad (4)$$

где $P^0 = P^0(\rho, T)$ - давление, которое определяется из широкодиапазонного уравнения состояния, неравновесная добавка $\delta\sigma$ определяется согласно (1). Заметим, что в одномерном случае поперечные деформации отсутствуют и $T_{xx}^0 = T_{yy}^0 = \delta T_{xx} = \delta T_{yy} = 0$.

В модели текучести Мизеса уравнения для девиаторов напряжений имеют вид:

$$\dot{S}_{zz}^0 = \frac{4}{3} \mu \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (5)$$

$$\dot{S}_{xx}^0 = \dot{S}_{yy}^0 = -\frac{2}{3} \mu \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (6)$$

которые дополняются условием текучести Мизеса (4).

Полученная система уравнений решалась численно. На первом этапе верификации полученной модели проводилось сравнение решения уравнения теплопроводности.

Для сравнения брались решения, сделанные с помощью метода явных и неявных схем, а также с помощью аналитического решения. Временной и пространственный шаг брались согласно (3) для обеспечения устойчивости.

Для тестового расчета была взята задача: стержень железа длиной 10 см, в начальный момент времени стержень находился при нормальных условиях, граничные условия слева $T = 700$ К, справа $T = 900$ К.

На (рис. 1) представлено поле температуры по длине стержня на различные моменты времени. Из рисунка видно, что стержень начинает нагреваться. Аналитическое решение представлено линией, чёрным пунктиром – метод явных схем, серым пунктиром – метод неявных схем. Видно, что неявной схемой, не соблюдая условие устойчивости, некорректно удалось рассчитать поле температур.

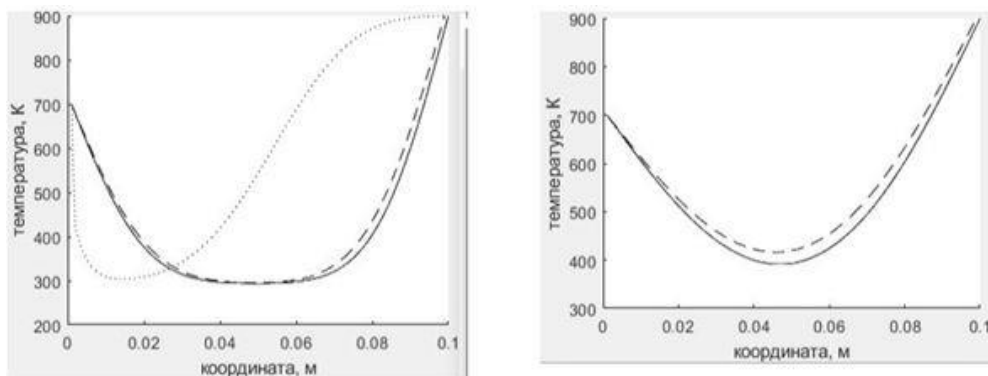


рис.1. Решения различными методами при $t = 5$ с и $t = 20$ с

В дальнейшем планируется провести тестовые расчеты уравнения движения и численных исследований термодинамических параметров вещества при различных способах нагрева.

Были получены решения, имеющие разную степень точности. Можно сделать вывод о том, что степень точности приближенного решения зависит от периода сетки разбиения поля и от соблюдения условия устойчивости.

Список публикаций:

- [1]. Лейви А. Я., Яловец А.П. Моделирование воздействия интенсивных плазменных потоков на вещество. //Челябинск. 2016
- [2] Уилкинс, М.Л.. Расчет упругопластических течений. / М.Л. Уилкинс. // В кн. Вычислительные методы в гидродинамике. Мир, 1967, 384с
- [3] Самарский А. А. // Введение в численные методы. 2003. С. 271.
- [4] Тихонов А.Н., Самарский А. А // Уравнения математической физики. 1977. 5 изд. С.728.

Влияние одноосного давления на электроемкость защитных органических пленок

Гринёва Дарья Александровна
Демченко Александра Александровна
Южный федеральный университет
Шпанько Светлана Павловна, к.х.н.
grineva.dasha1999@yandex.ru

За несколько последних десятилетий образовался и бурно развивается новый раздел микроэлектроники, который называется молекулярной электроникой [1]. Ее называют электроникой 21 века. В частности, кремниевые транзисторы, составляющие основу электронных устройств современной микроэлектроники, предполагается заменить молекулярными. Это увеличивает плотность упаковки микросхем в интегральном исполнении, во много раз повышает быстродействие их работы, изменяет их механические свойства. В этой связи широко исследуются свойства различных молекулярных материалов, в том числе и органических пленок.

Ранее [2], для увеличения низкой коррозионной стойкости железа в агрессивных средах универсальным и экономичным методом были получены адсорбционных пленки на основе гетероциклического соединения класса имидазола. Они в десятки раз уменьшают скорость коррозии железа. При изучении их электрических свойств было установлено [3], что проводимость данных пленок близка к металлической, а реактивное сопротивление, сильно зависящее от частоты, имеет индуктивный характер. Отрицательное значение емкости ($C_{п} < 0$) различных материалов в последнее время получено уже неоднократно, имеет теоретическое объяснение, однако воспринимается с некоторым недоверием.

Нами проведен эксперимент, подтверждающий, что данные пленки действительно имеют $C_{п} < 0$. Выполнены измерения электроемкости пленки, параллельно соединенной с конденсатором известной емкости на частоте 100 Гц. Емкость используемых конденсаторов варьировалась в широком диапазоне. На (рис.1) представлена в логарифмическом масштабе зависимость $C_{\bar{x}} = f(C_k)$. Здесь C_k – емкость конденсатора, $C_{\bar{x}}$ – результирующая емкость пленки и конденсатора. $C_{\bar{x}} = C_{п} + C_k$. Видно, что значения $C_{\bar{x}}$ принимают значения как больше нуля, где $C_k > |C_{п}|$, так и меньше, где $|C_{п}| > C_k$. Кривая пересекает ось абсцисс. Здесь $C_{\bar{x}} = 0$, а $|C_{п}| = C_k$.

Таким образом, этот эксперимент однозначно подтверждает, что данные пленки имеют реактивное сопротивление индуктивного характера.

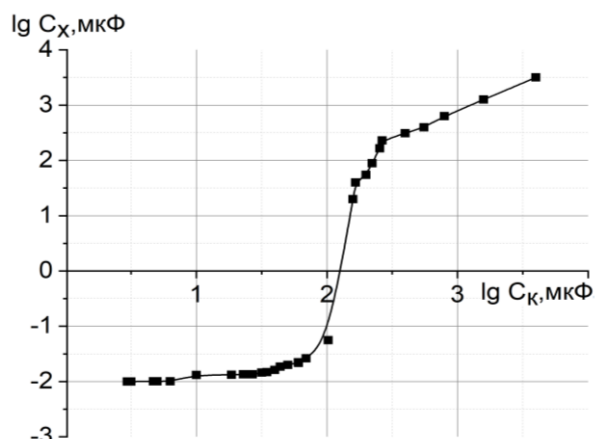


рис. 1. Зависимость электроемкости пленки, параллельно соединенной с конденсатором $lg(C_x)$ от емкости конденсаторов $lg(C_k)$.

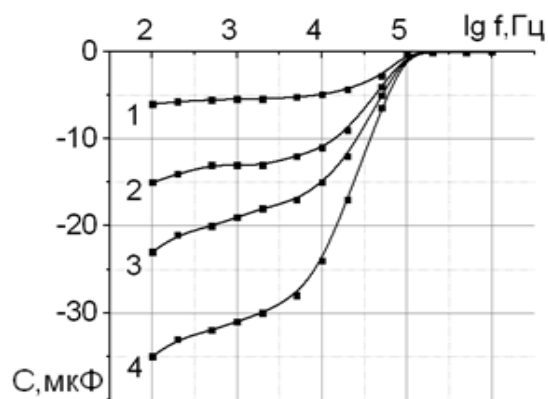


рис. 2. Частотные зависимости электроемкости пленок ($C_{KCl} = 0.09$ моль/л, $\tau = 2$ суток) при давлениях P , кПа: 1- $0,3 \cdot 10^5$, 2- 10^5 , 3- $2 \cdot 10^5$, 4- $4 \cdot 10^5$ Па.

Частотные зависимости электроемкости пленок при разных давлениях P показаны на (рис.2). Видно, что центр дисперсии (место перегиба графика зависимости $C(f)$) с увеличением давления пленки смещается в область более низких частот. При малых значениях P на низких частотах участки кривых 1 и 2 практически горизонтальны, а в области частот $10^5 - 10^4$ Гц наблюдается одна дисперсия диэлектрической проницаемости. При увеличении давления (кривые 3,4) на низких частотах виден рост модуля электроемкости при уменьшении частоты. Это можно рассматривать как начало второй инфранизкочастотной (ИНЧ) диэлектрической дисперсии. Вероятно, одноосное давление вызывает в пленках вспомогательный релаксационный механизм. Известно, что у реальных органических материалов имеется не один, а целый спектр времен релаксации.

Кроме того, исследовано влияние одномерного давления на электроемкость органических пленок. Обнаружено, что при возрастании величины давления наблюдается существенный рост модуля электроемкостей пленок, измеренных в диапазоне звуковых частот (рис.3).

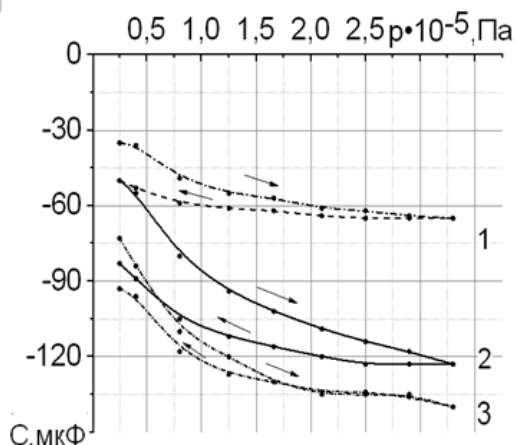


рис.3 Зависимости электроемкости пленки, полученной при адсорбции ПАВ ($\tau = 3$ суток) от одноосного давления. Частота измерительного поля: 1- 102, 2- 103 и 3- 104 Гц

Это характерно для всех пленок независимо от значений концентрации C_{KCl} и времени формирования τ . Для пленок ПАВ без KCl и с малой концентрацией $C_{KCl} = 0.01$ моль/л прямой ход зависимостей $C(P)$ имеет вид экспоненты (рис. 3), а для пленок с $C_{KCl} = 0.09$ моль/л наблюдается практически линейная зависимость. На зависимостях $C(P)$ видно, что обратные хода не совпадают с прямыми из-за большого времени релаксационных процессов в пленках. Время релаксации в органических материалах при переходе системы молекул от неравновесного состояния к равновесному способно достигать нескольких часов, суток в том числе и месяцев. Рост давления вызывает деформацию пленок. Установлено, что при деформации органических материалов макромолекулы переходят от более свернутых конформаций к более вытянутым. Данное явление вызывает перераспределение и сдвиг месторасположения ловушек для электронов и дырок. В свою очередь, это влияет на электроемкость материала.

Список публикаций:

- [1] Плотников Г.С., Зайцев В.Б. //Физические основы молекулярной электроники. М. Физ.факультет МГУ, 2000, 164 с.
 [2] Шпанько С.П., Сидоренко Е.Н., Семенчев А.Ф., Лянгузов Н.В., Анисимова В.А. Физикохимия поверхности и защита материалов. 2017. Т.53. №2. С.210-217.
 [3] Shpanko S.P., Sidorenko E.N., Kuznetsova, K.G. Abdolvakhidov, D.C. Obuhov D.S. Nova publishers. Proceedings of the 2018 international conference on «Physics, mechanics of new materials and their applications», New York. 2019. P. 13-19

Радиопоглощающие и пьезорезистивные композитные материалы

Демченко Александра Александровна

Гринева Дарья Александровна

Южный федеральный университет

Кабиров Юрий Вагизович, к.ф.-м.н.

Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.

krimova@mail.ua

В последнее время особое внимание привлекают многофазные композиты. Многофункциональные составы являются перспективным материалом для различного практического применения. В данной работе синтезированы и исследованы двухкомпонентные композиты типа проводник/диэлектрик вблизи порога перколяции. В качестве проводящего компонента использовано ультрадисперсное железо различной концентрации. Второй компонент представляет собой полиэтилен низкой плотности. Синтез образцов проводился по технологии, подробно описанной в работе [1]. Полученные образцы композитов имели форму таблеток диаметром 12 мм и высотой 1,5-3,5 мм с алюминиевыми или медными электродами.

Таким образом, из-за выбора в качестве диэлектрика полиэтилена, нами получены пластичные композиты, обладающие упругой деформацией. Они пригодны для конструирования пьезодатчиков. В отличие от пьезопреобразователей на основе пьезоэффекта устройства на композитах не требуют электронных усилителей. В пределах упругих деформаций о величине механического напряжения можно судить по электрическому сопротивлению композитного образца.

Кроме того, в эпоху широко развитых коммуникаций ведется активный поиск различных радиопоглощающих материалов для защиты от электромагнитного излучения. Для композитных материалов вблизи порога перколяции так же характерно поглощение энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) электромагнитного поля [2].

Целью работы было создание и исследование свойств композитов, обладающих одновременно как несобственной пьезорезистивностью, так и поглощения СВЧ-энергии. Методика измерений спектров поглощения СВЧ-энергии описана в работе [3].

Нами выполнены измерения зависимости сопротивления композитных образцов при различных значениях одноосного давления $R=f(P)$. Типичный график зависимости приведен на (рис. 1) для образца композита с концентрацией 80% ультрадисперсного железа и 20% полиэтилена. Измерения сопротивления выполнялись сразу (кривая 1, $t=0$) и спустя 1 минуту (кривая 2, $t=1$ мин.) после изменения величины давления. Видно, что с ростом давления от 0 до 1,25 Па сопротивление образца уменьшается вдвое. Причем, основной резкий спад R наблюдается на начальном участке $R=f(P)$. Обратный ход зависимости $R=f(P)$ не совпадает с прямым – наблюдается наличие гистерезиса пьезорезистивности исследованных образцов. Причиной изменения сопротивления при воздействии одноосного давления является деформация образца, приводящая к смещению гранул железа, увеличению их концентрации, возрастанию силы тока через образец и, как следствие, уменьшению его сопротивления.

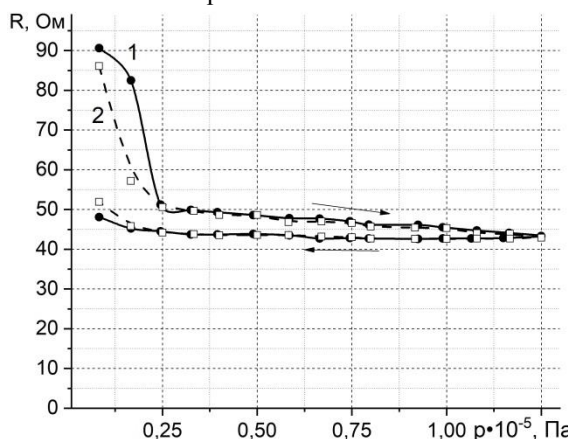


рис. 1. Зависимость сопротивления композита от величины одноосного давления при различном времени выдержки. 1 - $t=0$, 2 - $t=1$ мин. $T=23^{\circ}C$.

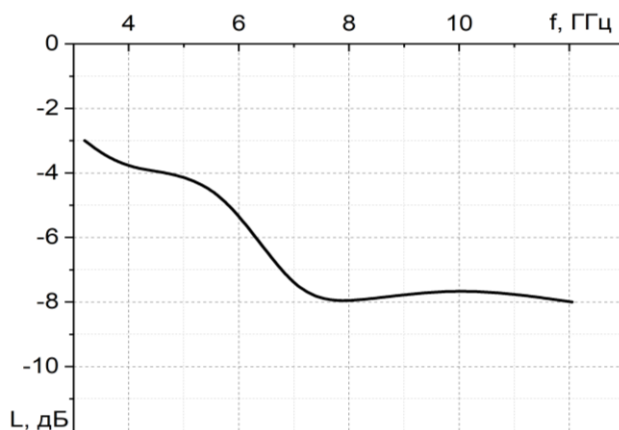


рис. 2. Спектр поглощения энергии электромагнитного поля композита при комнатной температуре. $P=0$.

Установка для измерений спектров поглощения $L(f)$ композитов содержала генераторы качающейся частоты, перекрывающих диапазон частот 3-12 ГГц, измеритель ослабления и КСВн и, в качестве измерительной ячейки, микрополосковую линию. Спектр поглощения СВЧ энергии ранее описанного

композита представлен на (рис.2). Из него следует, что данный композит имеет максимальное поглощение энергии на уровне 8 дБ в области более высоких частот (7-12 ГГц). Имеется несколько механизмов, способствующих поглощению СВЧ-энергии композитом. В цепочках проводящего компонента композита, размещенного в электромагнитном поле, появляются токи Фуко. Кроме того, в переменном электромагнитном поле могут возникать резонансные процессы при перемагничивании малых кластеров железа. И, наконец, энергия поля расходуется на диэлектрическую поляризацию матрицы.

Таким образом, экспериментально показано, что новые синтезированные пластичные композиты обладают как пьезорезистивностью, так и существенным поглощением электромагнитной энергии в области частот 3-12 ГГц.

Список публикаций:

- [1] Кабиров Ю.В., Богатин А.С., Сидоренко Е.Н., Белокобыльский М.В., Михайкин А.С., Летовальцев А.О., Буланова А.Л., Пруцакова Н.В. // Письма о материалах. 2019. В.9. №2. С.223.
[2] Sidorenko E.N, Privalov E., Demchenko A.A, Kabirov Yu.V, Chebanova E.V, Nathan I.I. // Conference Proceedings - 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2019 8792715, С. 464.
[3] Сидоренко Е. Н., Гавриляченко В. Г., Турик А. В, Семенов А. Ф., Натхин И. И. //Электромагнитные волны и электронные системы. 2013 Т. 18. №9. С.51.

Электронное строение германена с точечными дефектами замещения

Захаров Николай Владимирович

Бутин Антон Владиславович

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

anonimmisterx@mail.ru

Германен – это двумерный полупроводниковый наноматериал, впервые полученный экспериментально в 2014 году [1]. Подобно графену он имеет две атомные подрешетки, смещенные друг относительно друга и составленные из атомов германия. С точки зрения зонной теории, важным преимуществом над графеном является существующая возможность создания запрещенной зоны путём приложения электрического поля перпендикулярно поверхности материала, что открывает путь к созданию полевого транзистора, работающего при комнатной температуре. Существуют расчёты, свидетельствующие в пользу возможности наблюдения в германене спинового эффекта Холла. На основе вычислений при помощи теории функционала плотности показано, что германен должен сохранять высокую структурную стабильность при создании в нём механических напряжений.

Целью данного исследования является изучение электронного строения германена с точечными дефектами замещения. Для моделирования геометрической структуры германена использовалась модель молекулярного кластера с граничными псевдоатомами [2 - 4], в качестве которых выбирались одновалентные атомы водорода. Выбранный кластер представляет собой фрагмент поверхности германена размером 6×6 элементарных ячеек (рис. 1). Разорванные граничные связи замыкались атомами водорода. Дефекты структуры (X) помещались в центре кластера, чтобы уменьшить влияние граничных связей. В качестве точечных дефектов рассмотрены изоморфные (Si, Sn), донорные (P, As, Sb) и акцепторные (Al, Ga, In) дефекты.

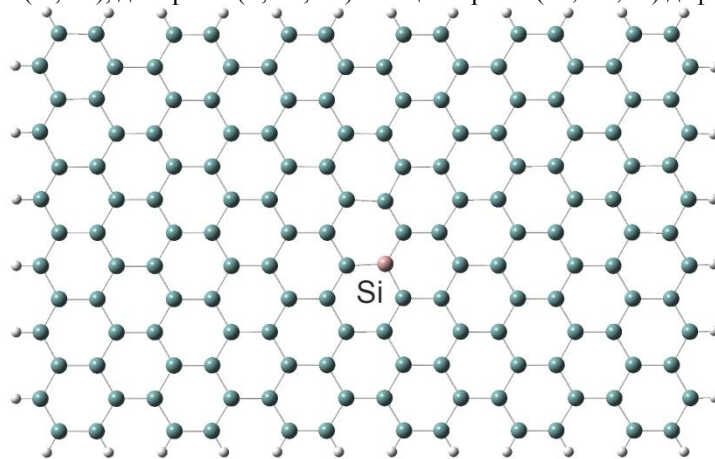


рис.1. Фрагмент поверхности германена с точечным дефектом

Расчёт электронного строения поверхности построенной модели германен выполнен с помощью неограниченного метода Хартри-Фока в базе атомных орбиталей STO-3G. Основные электронно-энергетические характеристики германена (длины межатомных связей Ge-X $R(\text{Ge-X})$; энергии верхней занятой $E_{\text{ВЗМО}}$ и нижней вакантной $E_{\text{НВМО}}$ молекулярных орбиталей; малликовские заряды на дефектах X и ближайшем атоме Ge), как идеального, так и с точечными дефектами представлены в таблице.

Структура Ge-n+X	$R(\text{Ge-X}), \text{Å}$	$E_{\text{ВЗМО}}, \text{эВ}$ (α / β)	$E_{\text{НВМО}}, \text{эВ}$ (α / β)	$q(\text{Ge}) / q(\text{X})$
Ge-6	-	-1.08 / -1.08	-0.81 / -0.81	0.03 / -
Ge-6+Si	2.1	-0.01 / -0.01	0.03 / 0.03	-0.07 / 0.23
Ge-6+Sn	2.1	-0.01 / -0.01	0.04 / 0.04	-0.08 / 0.22
Ge-6+P	2.1	-0.1 / -0.07	0.16 / 0.14	0.03 / -0.08
Ge-6+As	2.3	-0.10 / -0.06	0.16 / 0.14	0.07 / -0.22
Ge-6+Sb	2.1	-0.08 / -0.08	0.14 / 0.16	0.02 / -0.12
Ge-6+Al	2.3	-0.10 / -0.12	0.15 / 0.14	-0.20 / 0.70
Ge-6+Ga	2.1	-0.07 / -0.08	0.004 / 0.03	0.06 / -0.39
Ge-6+In	2.1	-0.1 / -0.12	0.12 / 0.14	-0.10 / 0.36

Как следует из результатов, представленных в таблице, точечные дефекты сильно изменяют электронное строение фрагмента германена. Энергии $E_{\text{ВЗМО}}$ и $E_{\text{НВМО}}$ сильно возрастают по сравнению с бездефектной структурой, однако разница между энергиями (эффективная запрещенная щель) изменяется мало. Это означает, что свойства двумерной поверхности существенно не изменяются. Скорее всего, увеличение концентрации дефектов может привести к значимым вариациям энергетической щели и, следовательно, изменению физических свойств данной структуры.

Список публикаций:

[1] Acun A., Zhang L., Vampoulis P., Farmanbar M., Van Houselt A., Rudenko A.N., Lingenfelder M., Brocks G., Poelsema B., Katsnelson M.I., Zandvliet H.J.W. // *Germanene the germanium analogue of graphene* // *J. Phys.: Condens. Matter*. 2015. V.27. 443002 (11pp).

[2] Степанов Н.Ф. // *Квантовая механика и квантовая химия*. М.: Мир, 2001.

[3] Лебедев Н. Г. // *Методы квантовой химии для исследования электронного строения молекул и кристаллов: учебное пособие*. В 3 частях. Часть 1. Метод Хартри-Фока. Волгоград: Издательство ВолГУ, 2010. 116 с.

[4] Лебедев Н. Г., Литинский А.О. // *Методы квантовой химии для исследования электронного строения молекул и кристаллов: учебное пособие*. В 3 частях. Часть 2. Кластерные модели твердых тел. Волгоград: Издательство ВолГУ, 2010. 108 с.

Дилатометрические исследования процесса термостабилизации полиакрилонитрильного волокна

¹Иргалина Регина Ильфатовна

¹Фазлитдинова Альфия Габдиловна, ¹Тюменцев Василий Александрович

¹Челябинский государственный университет

Фазлитдинова Альфия Габдиловна

mariya-fks@mail.ru

Одним из основных видов армирующих элементов, который применяется при создании композиционных материалов, являются углеродные волокна (УВ). Основные сферы использования УВ считается авиакосмическая промышленность, автомобилестроение, кораблестроение и энергетика. Углеволкнистые материалы можно получить с помощью специально разработанных технологических процессов. И в качестве первичного исходного сырья используются различные полимерные волокна, чаще всего полиакрилонитрильные (ПАН).

Существующая технология производства УВ проводится, как правило, в трех последовательных стадий термообработки исходного волокна: термостабилизации, карбонизации и графитации. После стадии термостабилизации нити полимерного волокна приобретают структуру, которая необходима для получения требуемого качества УВ и приводит к образованию поперечных химических связей между макромолекулами полимера. На этапе карбонизации они приобретают достаточно высокую прочность и на 80-95% состоят из элементарного углерода, а после графитации получают конечный продукт - графитизированное углеродное волокно с кристаллической структурой. Стадия термостабилизации является наиболее продолжительной по времени, а также энергоёмкой.

В работе рассмотрено влияние режимов термомеханической обработки (ТМО) на закономерности структурных и химических превращений материала ПАН нитей, изготовленных с применением диметилформамида, в процессе термостабилизации. Проведена серия экспериментов с предварительной изотермической обработкой при 220°C в течение 10 минут. Дальнейшая термостабилизация осуществлялась при 265°C. Термообработка проводилась в атмосфере воздуха при постоянной вытягивающей нагрузке 0,6 г/текс. Дилатометрические исследования проводились путем фиксации изменения линейных размеров (l/l_0) ПАН нити в процессе термообработки

Во время изотермической обработки ПАН волокна в атмосфере воздуха наблюдается первоначально пластическое течение материала, которое сменяется усадкой, обусловленной протеканием реакций дегидрогенизации, циклизации и окисления (рис.1). Этот процесс сопровождается структурными изменениями материала. Первоначально наблюдается совершенствование структуры ПАН нити (увеличение размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) и повышение текстуры материала). При этом происходит наиболее активный рост размеров ОКР, ориентированных параллельно оси нити. Дополнительная предварительная термообработка стимулируют повышение текстурированности материала на начальном этапе термостабилизации, обуславливают существенное уменьшение времени, в течение которого развивается процесс диспергирования ОКР и образования новой высокодисперсной фазы [1, 2].

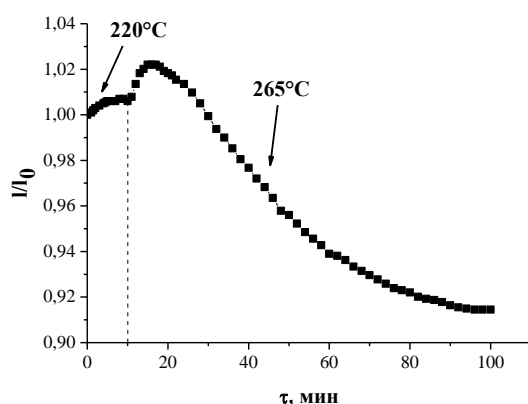


рис.1. Кинетическая кривая изменения линейных размеров ПАН нити в процессе двухстадийной термообработки

Список публикаций:

- [1] Fazlitdinova A.G., Tyumentsev V.A., Podkopayev S.A., Shveikin G.P. // *J Mater Sci* 2010. V.45, P.3998.
 [2] Fazlitdinova A.G., Tyumentsev V.A. // *Russian J App Phys* 2015. V.60 (11), P.1705

Влияние вида анизотропии межфазной энергии на скорость цилиндрических включений, мигрирующих в кристалле

Карпенко Анастасия Сергеевна

Южный федеральный университет

Гармашов Сергей Иванович, к.ф.-м.н.

as.karpenko911@yandex.ru

Термомиграция – явление миграции жидкого включения в кристалле под действием градиента температуры; применяется для создания глубоких р-п переходов, а также как метод исследования процессов кристаллизации и растворения [1]. Жидкое включение может быть плоским, цилиндрическим или же иметь форму капли. При выполнении настоящей работы основное внимание уделялось анализу миграции жидких цилиндрических включений. Форма их поперечного сечения и скорость зависят от межфазной кинетики и анизотропии межфазной энергии (АМЭ), поэтому представляется актуальным разработка математической модели мигрирующего цилиндрического включения, которая может в будущем послужить основой для создания методики определения некоторых физических параметров (например, параметров межфазной кинетики и АМЭ) из экспериментальных данных.

Для решения задачи о форме сечения и скорости цилиндрического включения использовался метод граней: аппроксимация межфазной границы (в том числе её криволинейных участков) набором плоских граней с небольшим углом β между ними ($\beta = 2\pi/N$, N – количество граней) [2]. Достоинством этого метода является отсутствие ограничений на вид анизотропии межфазной кинетики и межфазной энергии. Последняя в общем

случае описывается достаточно сложной функцией. В настоящей работе мы ограничились аппроксимацией АМЭ в виде:

$$\gamma_i = [|\sin(\xi \cdot \beta(i - 1))| \cdot (\eta - 1) + 1] \cdot \gamma_{min}, \quad i = 1..N, \quad (1)$$

где γ_i – удельная межфазная энергия i -й грани (γ_{min} соответствует удельной межфазной энергии сингулярных граней), ξ – параметр, значение которого определяет вид АМЭ ($\xi = 1$ – форма сечения имеет две сингулярные грани, $\xi = 2$ – четыре сингулярные грани), $\beta(i - 1)$ – угол, определяющий ориентацию i -й грани, $\eta = \gamma_{max}/\gamma_{min} > 1$ – степень АМЭ.

На основе модели массопереноса в цилиндрическом включении с учетом капиллярных эффектов [3,4] и метода граней в среде MS Visual Studio на языке С# была разработана компьютерная программа [5] (рис. 1а) для расчета скорости и формы сечений мигрирующих цилиндрических включений, в которую заложена возможность варьирования вида АМЭ и параметров межфазной кинетики.

На рис. 1б представлена рассчитанная с помощью программы зависимость скорости миграции цилиндрических включений V от площадей их сечений S с 2-мя и 4-мя сингулярными гранями (ξ , соответственно, 1 и 2) при различной степени АМЭ η (предполагается, что на сингулярных гранях межфазные процессы протекают по зародышевому механизму).

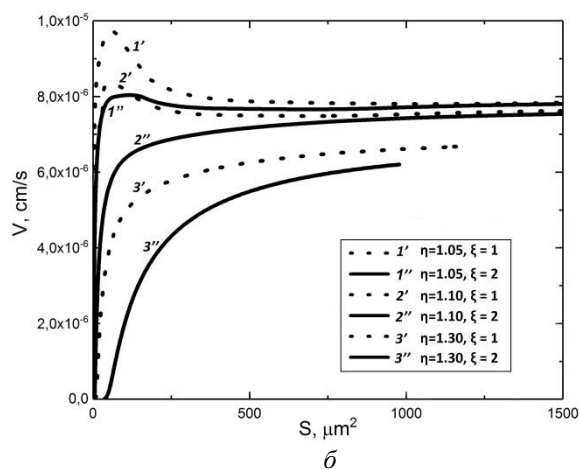
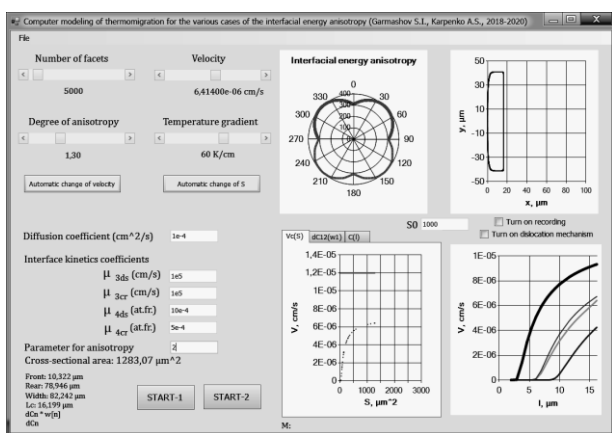


рис.1. Интерфейс разработанной программы (а) и рассчитанная в ней зависимость скорости цилиндрических включений (V) от площади их сечений (S) (б)

Сравнивая попарно кривые 1', 2', 3' с кривыми 1'', 2'', 3'', можно сделать вывод, что при прочих равных условиях скорость миграции цилиндрических включений с 4-мя сингулярными гранями меньше скорости миграции включений с 2-мя сингулярными гранями. Вследствие разного вида АМЭ в этих двух случаях разность между ликвидусной и равновесной концентрациями на плоском фронте растворения для случая 4-х сингулярных граней оказывается в два раза больше, что и ограничивает массоперенос в таких включениях. Для включений с 4-мя сингулярными гранями (как и в случае с 2-мя сингулярными гранями [6,7]) при степени АМЭ η , близкой к 1, наблюдается нарушение монотонности зависимости $V(S)$ (рис. 1б).

На зависимость $V(S)$ и формы сечений включений с 4-мя сингулярными гранями сильнее влияет затрудненность процессов растворения, а не кристаллизации на сингулярных гранях. Вследствие этого формы сечений таких включений при увеличении площади сечения становятся более уплощенными, а их скорость стремится к скорости плоских прослоек, у которых учтена только кинетика растворения.

Список публикаций:

- [1] Лозовский В.Н., Лунин Л.С., Попов В.П. Зонная перекристаллизация градиентом температуры полупроводниковых материалов. Москва: Металлургия. 1987.
- [2] Cline H.E., Anthony T.R. // J. Appl.Phys. 1977. V.48. N.12. P.5096–5104.
- [3] Garmashov S.I., Gershanov V. Yu. // J. Cryst.Growth. 2009. V.311. N.2. P.413–419.
- [4] Гершанов В.Ю., Гармашов С.И. // Журнал технической физики. 2015. Т.85. В.1. С.61-65.
- [5] Гармашов С.И., Карпенко А.С. // Современные информационные технологии: тенденции и перспективы развития: материалы XXVI науч. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. 2019. С.74.
- [6] Гармашов С.И., Приходько Ю.В. // Современные информационные технологии: тенденции и перспективы развития: материалы XXIII науч. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. 2016. С.100.
- [7] Гармашов С.И. // Физика твердого тела. 2019. Т.61. В.12. С.2303–2306.

Влияние As на отжиг подложки (001)InP

Колосовский Данил Антонович

Дмитриев Дмитрий Владимирович, Митрофанов Иван Андреевич, Торопов Александр Иванович,
Гаврилова Татьяна Александровна

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Журавлев Константин Сергеевич, д.ф.-м.н.

danil-ak@yandex.ru

Синтез гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) InGaAs/InAlAs/InP, согласованных по параметрам кристаллической решетки привлекает интерес исследователей из-за применимости таких ГЭС в современных полупроводниковых приборах оптоэлектроники, СВЧ-электроники и радиофотоники [1-3]. Одним из важных этапов роста ГЭС является удаление окислов с поверхности подложки (001)InP, т.к. окислы на поверхности InP (InP_xO_y) [4] могут формировать как структурные, так и электрооптические дефекты в ГЭС. Для полного удаления окисного слоя с поверхности InP используют высокотемпературный прогрев [5] при котором температуру подложки необходимо поднимать выше 480°C , что приводит к десорбции фосфора и сегрегации на поверхность атомов индия [6]. Поэтому для предотвращения разложения поверхности прогрев InP подложек осуществляется в потоке фосфора [7] или в потоке мышьяка [8]. Отжиг в потоке мышьяка является более перспективным, поскольку процесс отжига в потоке мышьяка происходит при более низкой температуре ($\sim 510^\circ\text{C}$) чем в потоке фосфора ($\sim 540^\circ\text{C}$). Более низкая температура прогрева положительно сказывается на морфологии поверхности подложки и качестве последующих эпитаксиальных слоев. Однако, несмотря на плюсы данного подхода, процесс отжига подложки (001)InP не до конца изучен. В работах [9, 10] обнаружено полное замещение фосфора мышьяком в приповерхностных слоях, в то время как в работе [8] авторы утверждают, что величина покрытия поверхности мышьяком после отжига не превышает 5%. Таким образом, целью работы является исследование влияния потока As на отжиг подложки (001)InP в сверхвысоком вакууме.

Исследования проводились на полуизолирующих *epi-ready* подложках (001)InP в установке Riber Comrast-21T оснащенной системой дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО) с системой регистрации дифракционных картин kSA 400 фирмы k-Space Associates, которая обеспечила возможность изучения атомных процессов на поверхности подложки и реконструкции поверхности. В качестве источника мышьяка применялся вентильный источник модели VAC 500. Температура подложки контролировалась *in-situ* инфракрасным пирометром «Iron Modline Plus». Контроль потока As поступающего на поверхность осуществлялся с помощью ионизационной лампы «Bayard-Alpert JBA». При измерении эффективного давления в потоке лампа помещается в положение под подложкой. Параметры эффективного давления в потоке с ионизационной лампы снимаются с помощью вакуумметра «Granville-Phillips series 350».

Отжиг подложки InP осуществлялся в потоке мышьяка с эквивалентным значением давления $F_{\text{As}} = 10^{-5} - 10^{-6}$ Торр в диапазоне температур $480 - 560^\circ\text{C}$. На начальных этапах отжига на поверхности подложки имеется оксидная пленка, которая видна на дифракционной картине как размытый фон. При температуре подложки 350°C окисел утоняется, что проявляется в уменьшении интенсивности фона и проявляются рефлексы кристаллической структуры подложки. При дальнейшем повышении температуры происходит формирование сверхструктуры (2×3). При температуре 450°C проявляется сверхструктура (2×6) [11]. При дальнейшем повышении температуры сверхструктура (2×6) исчезает и по достижении температуры $480 - 500^\circ\text{C}$ может формироваться сверхструктура (4×2). При этих температурах происходит удаление остаточных окислов, что проявляется в изменении отношения интенсивностей рефлексов и фона на дифракционной картине. После удаления окисла и охлаждения подложки появляется сверхструктура (2×4). Описанные сверхструктурные перестройки связаны с замещением фосфора мышьяком и образованием приповерхностного слоя InPAs. С помощью метода ДБЭО был оценен процент замещения фосфора мышьяком. При температуре 500°C процент замещения составил 13%, а при температуре 540°C процент замещения составил 41%. Наличие приповерхностного слоя InPAs подтверждают изображения сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в режиме энергодисперсионной спектроскопии (EDS). При анализе СЭМ изображений поверхности подложки обнаружены области InAs с латеральным размером до 50 нм. Постоянная кристаллической решетки InP составляет 5.869 \AA , тогда как InAs 6.058 \AA [12]. Такая существенная разница на начальных этапах роста решеточно-согласованных слоев InGaAs/InAlAs/InP приводит возникновению напряжений, релаксирующих в виде дислокаций.

Таким образом, в работе экспериментально изучен процесс отжига подложки (001)InP в потоке As. Методом ДБЭО *in-situ* оценена величина замещения фосфора мышьяком. Методом СЭМ обнаружены области поверхности подложки InP с полным замещением на InAs.

Список публикаций:

- [1] P. L. Liu, et. al., // *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 1999. V. 47. P. 1297.
- [2] Jesus A. del Alamo // *Nature*. 2011. V. 479. P. 317.
- [3] A. L. Chizh, et. al., // *Technical Physics Letters*. 2019. V. 45. P. 739.
- [4] G. Hollinger, et.al., // *Journal of Vacuum Science & Technology A*. 1985. V. 3. P. 2082.
- [5] J. Massies, et. al., // *J. Appl. Phys.* 1985. V. 58. P. 806.
- [6] W. M. Lau, et. al., // *Applied Physics Letters*. 1988. V. 52. P. 386.
- [7] C.R. Stanley, // *IEEE*. 1992. P. 481.
- [8] G. J. Davies, et. al., // *Appl. Phys. Lett.* 1980. V. 37. P.290.
- [9] C. H. Li, et.al., // *PHYS. REV. B*. 2002. V. 65. P. 205322.
- [10] V.A. Kulbachinsky, et. al., // *Semiconductors*. 2015, V. 49. P. 204.
- [11] D. V. Dmitriev, et. al., // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 475. P.012022.
- [12] T. P. Pearsall et. al., // *Applied Physics Letters*. 1978. V. 32. P. 497.

Динамика нелинейного электрокинетического движения диэлектрических микрочастиц в нематическом жидком кристалле

Кондорова Ольга Сергеевна

Южно-Уральский государственный университет

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

olunka2000@mail.ru

Жидкие кристаллы представляют собой уникальные анизотропные материалы, обладающие свойством текучести, упорядоченности и упругости. Благодаря комбинации этих свойств ЖК нашли широкое применение в дисплейной технике, пространственно-временных модуляторах оптического излучения, адаптивной оптике. В последнее время активно исследуется возможность их применения для трехмерной манипуляции микро и наночастицами, а также их управляемой сборки. Данное применение основано на особенностях линейных и нелинейных электрокинетических эффектов в ЖК, вызванных их свойствами, в частности с появлением топологических дефектов, индуцированных диспергированными частицами. Появление данных дефектов приводит к радикальному изменению электрокинетических эффектов (напр. электрофорез, диэлектрофорез) в жидких кристаллах.

Целью данной работы является идентификация эффектов, влияющих на нелинейное электрокинетическое движения диэлектрических микрочастиц в нематических жидких кристаллах.

Для проведения эксперимента были собраны жидкокристаллические ячейки с компланарными электродами (расстояния между электродами – 100 микрометров) и толщиной жидкокристаллического слоя равным 20 микрометрам. В данные ячейки были диспергированы диэлектрические микрочастицы с диаметрами 1, 3 и 8 микрометров. Частота приложенного знакопеременного прямоугольного напряжения была равно 10 Гц, а амплитуда изменялась в пределах 0-150 В.

Было показано, что график зависимости скорости микрочастиц от приложенного напряжения состоит из двух участков - участка с линейной зависимостью от напряжения и участка с кубической зависимостью. В тоже время скорости движения частиц зависят от размера микрочастиц. Частицы с большим диаметром движутся значительно быстрее, чем частицы с маленьким диаметром. Аппроксимация экспериментальных данных показала, что линейные и кубические подвижности микрочастиц не зависят от их размера. На первый взгляд данный вывод выглядит противоречивым. Данный результат был объяснен влиянием числа Пикле на порог перехода от линейного режима электрофоретического движения к кубическому. Для частиц с большим диаметром он наступает при меньшем приложенном напряжении, чем для частиц с маленьким диаметром. Таким образом при одинаковых линейной и кубической подвижности частицы двигаются с разными скоростями.

Фазовые превращения в сплавах $Fe_{100-x}Si_x$: исследования с помощью первопринципных методов

Кошкин Алексей Борисович

Загребин Михаил Александрович

Челябинский государственный университет

Бучельников Василий Дмитриевич

koshkin.alexei2016@yandex.ru

В настоящее время интерес к обогащенным железом силицидам основан на широком спектре потенциальных применений, начиная от использования в качестве конструкционных материалов для магнитных применений до использования в качестве диффузионных барьеров и контактов в микроэлектронике.

Сплавы Fe–Si хорошо известны как превосходные магнитомягкие материалы. Введение Si в Fe может привести к уменьшению магнитной анизотропии. Присутствие Si также может повысить электрическое удельное сопротивление и, следовательно, уменьшить потери на вихревые токи. Структура и магнитные свойства порошка для уплотнения определяются его химическим составом и методом обработки [1].

В настоящей работе были представлены результаты исследований *ab initio* структурных и магнитных фазовых превращений в сплавах $Fe_{100-x}Si_x$ ($5 \leq x \leq 25$).

На *Рис. 1* представлена зависимость разности равновесных энергий фаз по отношению к энергии самой выгодной фазы от содержания Si в составе сплава, вычисленных в двух программных пакетах VASP и SPRKKR. Из рисунка видно, что результаты для всех трех фаз (A2, B2 и $D0_3$) хорошо согласуются. Отметим, что во всем интервале концентраций наиболее выгодной является фаза $D0_3$. Полученная фазовая диаграмма позволяет качественно описать экспериментальную фазовую диаграмму, представленную в работе [2].

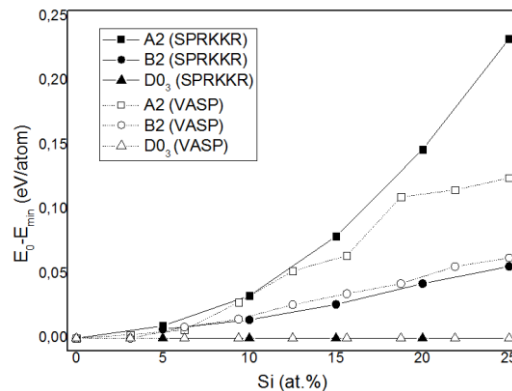


рис. 1. Разность равновесных энергий фаз, вычисленных по отношению к энергии самой устойчивой фазы ($D0_3$) от содержания Si.

На *Рис. 2* представлена зависимость полного магнитного момента сплава на атом в зависимости от содержания Si в сплавах Fe–Si. Из рисунка видно, что данные, вычисленные в программном пакете SPRKKR, хорошо согласуются с данными, полученными при расчете в VASP. Из графика видно, что полный магнитный момент уменьшается для всех фаз при увеличении концентрации Si. Такая зависимость может быть объяснена тем, что Si имеет малый магнитный момент в сравнении с Fe. Полученная зависимость согласуется с экспериментальными данными [3].

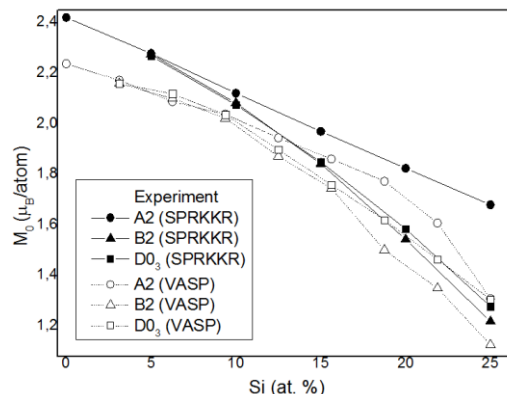


рис. 2. Зависимость полного магнитного момента сплавов Fe–Si на атом от содержания Si.

На рис. 3 представлена фазовая диаграмма магнитных и структурных температур фазовых переходов для сплавов Fe-Si от содержания Si. На рисунке представлены температуры фазовых переходов для фаз A2, B2 и D0₃ в приближении PBE, вычисленных в пакете SPRKKR. Выше этих линий устойчивы ферромагнитные состояния фаз. Так же на рисунке представлены температуры Кюри для фаз A2, B2 и D0₃ в приближении VWN и обобщенная линия температур Кюри. Эта линия показывает границу, выше которой на фазовой диаграмме находится парамагнитное состояние, ниже этой линии устойчиво ферромагнитное состояние.

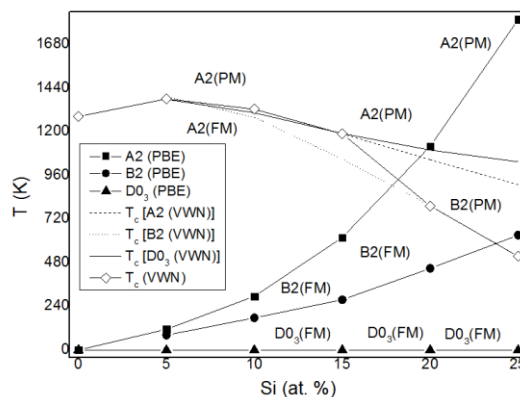


рис. 3. Фазовая диаграмма магнитных и структурных температур фазовых переходов для сплавов Fe-Si от содержания Si.

Список публикаций:

- [1] J. Füzer, P. Kollár, P. Petrovič, I. Tóth, V. Kavečanský, J. Kováč, T. Švec, *Phys. Status Solidi A* 196, 229 (2003).
- [2] O. Kubaschewski, *Iron Binary Phase Diagrams*, Springer, Berlin (1982).
- [3] L.K. Varga, F. Mazaleyrat, J. Kovac, J.M. Greneche, *J. Phys. Condens. Mat.* 14, 1985 (2002).

Расчет зонной структуры и распределения электронной плотности в AgCuS

Латыпов Тагир Рамзилович

Башкирский государственный университет

Давлетишина Алиса Данисовна, к.ф.-м.н.

davletshinaalisa@rambler.ru

Халькогениды меди и серебра $Me_{2-\delta}X$ ($Me = Cu, Ag; X = S, Se, Te$) проявляют высокую ионную проводимость наряду с преимущественной электронной проводимостью. Большое разнообразие физических и физико-химических свойств, возможность управления этими свойствами путем контролируемого изменения состава δ , простота кристаллической структуры делают эти системы модельными при исследовании свойств широкого класса систем со смешанной ионно-электронной проводимостью. Ионная проводимость в исследуемых соединениях осуществляется катионами и достигает величин $1-5 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, что сравнимо с проводимостью в растворах жидких электролитов. По электронным свойствам халькогениды меди и серебра ведут себя как полупроводники. Данные свойства обуславливают использование материалов на основе халькогенидов меди и серебра в качестве рабочих элементов различных полупроводниковых устройств (термогенераторы, катодные материалы и т.д.).

К настоящему времени явление возникновения суперионного состояния объясняется с точки зрения особенностей строения кристаллической структуры, дефектной структуры, разупорядоченности и т.д. В ряде работ возникновение высокоподвижного состояния катионов связывается с особенностями строения зонной структуры. Отсутствие системного подхода при рассмотрении высокой подвижности катионов с точки зрения электронной структуры и особенностей химической связи, делает актуальными исследования в данной области.

Исследование зонной структуры, распределения электронной плотности в халькогенидах меди и серебра и их твердых растворах представляет интерес в связи с применением их в качестве электродных материалов в электрохимических ячейках и рабочих элементов в термогенераторах.

Расчет зонной структуры и распределения электронной плотности в твердом растворе AgCuS был выполнен в рамках теории функционала электронной плотности методом псевдопотенциала в базе плоских волн, реализованный в программном пакете Quantum Espresso[1].

При расчете были использованы ультрамягкие псевдопотенциалы для серебра и меди, для халькогена – псевдопотенциалы сохраняющие норму, которые сгенерированы данной программой [2]. Энергия обрезки

плоских волн имела величину 85-100 Ry. При расчетах учитывались d-, s-электроны для катионов и s-, p-электроны для анионов. Использовался автоматический выбор точек обратной решетки (k—точек) при помощи метода Монкхорста-Пака [3] на сетке 8x8x8.

Рассмотрим полученные результаты расчетов зонной структура и распределения электронной плотности в AgCuS. Проанализируем зонную структуру AgCuS (рис. 1а). Согласно парциальной и полной плотности состояний энергетический уровень, соответствующий -14 эВ образован s-зоной халькогена с незначительным вкладом s-,d-уровней металла обоих типов. В интервале от -7,7 эВ до уровня Ферми расположены гибридные p-состояния серы и s- и d-состояния серебра и меди. Анализ плотности электронных состояний показывает, что в интервале от -7,7 эВ до -5,7 эВ преобладает вклад d-состояний Ag, а в интервале от -5,7 эВ до уровня Ферми – d-состояний Cu. Дно зоны проводимости образуется из s-состояний катионов и s-, p-состояний аниона.

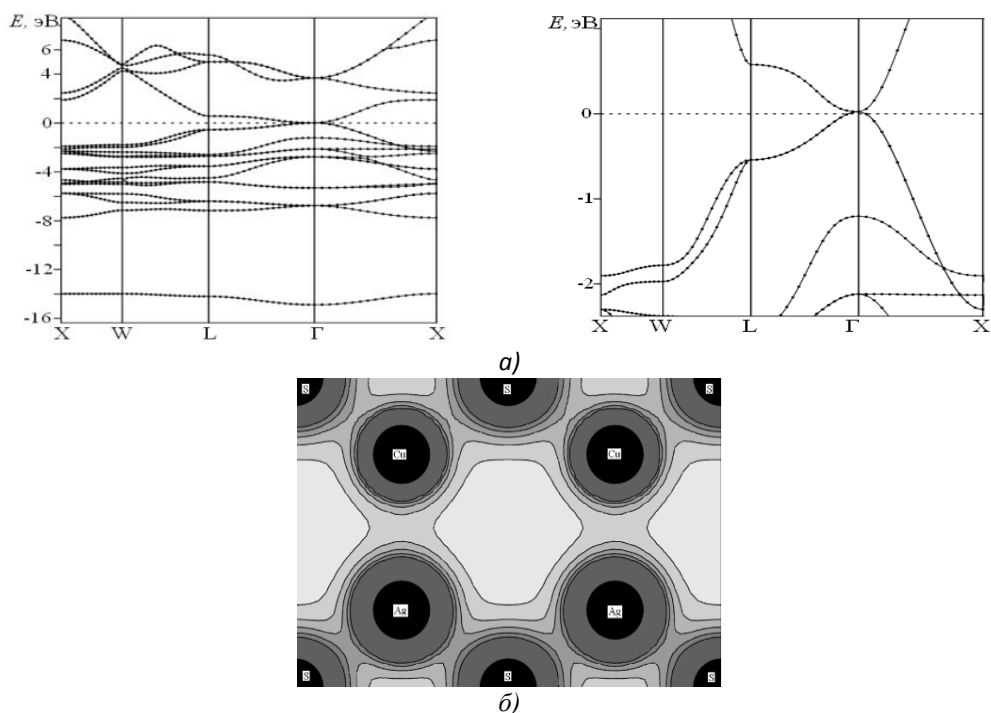


рис. 1. Зонные структуры (а) и распределения электронной плотности (б) в AgCuS

Дно зоны проводимости для всех соединений образуется из s-состояний катионов и p-состояний аниона.

Для получения детальной информации о гибридизации энергетических уровней катиона и аниона, а также о характере химической связи необходимо рассмотреть распределение электронной плотности. На рис. 1б представлено распределение электронной плотности в плоскости (110) AgCuS.

Электронная плотность характеризуется наличием общих контуров электронных оболочек, что подтверждает существование гибридизации электронных состояний катиона и аниона. Расчеты, проведенные в работе [4] показывают, что химическая связь в AgCuS, AgCuSe и AgCuTe имеет преимущественно ковалентный характер. При этом между атомами в направлении Ag-X наблюдается большее перекрытие электронных оболочек, чем в направлении Cu-X. Изменение состава по катионной подрешетке Cu-Ag приводит к увеличению перекрытия электронных оболочек между катионами одного типа и к уменьшению перекрытия электронных оболочек катиона и аниона.

Согласно проведенным расчетам зонной структуры и распределения электронной плотности зависимость энергии электронов от волнового вектора для твердого раствора AgCuS характеризуется гибридизацией p-уровней халькогена и d-уровней металла. Распределения электронной плотности показывают преимущественно ковалентный характер химической связи в AgCuS.

Список публикаций:

- [1] *Quantum-ESPRESSO* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.quantum-espresso.org>.
- [2] *PseudopotentialsDatabase* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pwscf.org>.
- [3] H.J. Monkhorst, J.D. Pack, *Phys. Rev. B* 13, 5188 (1976).
- [4] Г.Р. Акманова, Р.А. Якишбаев, А.Д. Давлетишина, Н.Н. Биккулова, *Неорганические материалы* 56, 3 (2020).

Сверхпроводимость наноструктурированного эвтектического сплава GaAg

Лихолетова Марина Владимировна

Санкт-Петербургский государственный университет

Чарная Елена Владимировна

m.likholetova@spbu.ru

Большой интерес представляют наноструктурированные сверхпроводники, свойства которых отличаются от свойств объемных сверхпроводящих образцов [1]. Ограниченная геометрия наноструктур влияет на характер движения сверхпроводящих вихрей в материале, величины критических температур, полей и токов. Тем не менее, сверхпроводимость включенных в наноконпозиты металлических сплавов все ещё слабо изучена.

В качестве образца в настоящей работе был взят эвтектический сплав $\text{Ga}_{97}\text{Ag}_3$, внедренный в опаловую матрицу. Ранее был исследован сплав такого же состава, введенный в пористое силикатное стекло со средним размером пор 7 нм [2]. Температура перехода в сверхпроводящее состояние в магнитном поле 10 Э была равна 7.1 К. В работе [3] исследовалась сверхпроводимость объемного сплава Ga-Ag в зависимости от концентрации Ga (от 5 до 98 %). В образцах с концентрацией Ga вне диапазона 20 – 70 % сверхпроводимость не была найдена. Для образцов в указанном диапазоне критическая температура лежала в интервале от 6,5 К до 8 К.

Измерения dc намагниченности в режимах нагрева после охлаждения в нулевом магнитном поле (ZFC) и охлаждения и нагрева в ненулевом поле (FCC и FCW соответственно) были проведены на Quantum Design MPMS 3 (Magnetic Property Measurement System) SQUID магнитометре в диапазоне температур 1,8 - 10 К в магнитных полях от 0 до 70 кЭ. Были также сняты полевые зависимости намагниченности при температурах 4, 5,5, 6,4 и 8 К в диапазоне полей от – 50 до 50 кЭ.

Гистерезисный вид зависимости намагниченности от магнитного поля при температурах ниже температуры фазового перехода в сверхпроводящее состояние свидетельствует о том, что образец ведет себя как «грязный» сверхпроводник второго рода. Неоднородная структура образца изменяет геометрию сверхпроводящих вихрей с треугольной решетки абрикосовских вихрей [4] на вихревое стекло с центрами пиннинга [5].

На температурных зависимостях dc намагниченности наблюдались ступени, которые могут говорить о наличии различных структурных модификациях галлия, обладающих сверхпроводящими свойствами.

Верхняя критическая температура образца в присутствии магнитного поля, равного 10 Э, была равна 7,7 К, что существенно выше критической температуры для объемного α -Ga. Можно предположить, что такое увеличение T_c связано с возникновением под влиянием наноконфайнмента другой фазы галлия в сплаве.

Пористые структуры с внедренными в нее металлами или сплавами могут быть описаны с помощью теоретической модели, где сверхпроводник рассматривается как совокупность гранул, соединенных между собой слабыми или сильными джозефсоновскими связями [6]. Неполное экранирование внешнего магнитного поля даже при температуре 1,8 К свидетельствует о значительной доле слабых связей между сверхпроводящими гранулами.

По результатам проведенных измерений были построены фазовые диаграммы в плоскости $H - T$. На фазовой диаграмме для критической температуры наблюдалась аномальная положительная кривизна в области слабых магнитных полей, которая переходила в обычную отрицательную кривизну с увеличением магнитного поля.

Работы проводились на оборудовании ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники».

Исследования были проведены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-07-00028 А.

Список публикаций:

- [1] Bean C.P., Doyle M.V., Pincus A.G. // *Phys. Rev. Letters*. 1962. No. 9. p. 93.
- [2] Likholetova M.V., Lezova I.E., Shevchenko E.V., Charnaya E.V., Lee M.K., Chang L.-J., Kumzerov Y.A., Fokin A.V. // *MEPhI's Section of the Scientific Session on "Breakthrough directions of scientific research at MEPhI: Development prospects within the Strategic Academic Units"*, *KnE Engineering*. 2018. p. 416 – 421.
- [3] Alekseevskii N.E. // *JETP*. 1966. V. 22. No. 1. p. 114.
- [4] Abrikosov A. A. // *UFN*. 2004. V. 17. No. 11. p. 1234–1239.
- [5] Zhao H., Misko V.R., Tempere J., Nori F. // *Phys. Rev. B*. 2017. No. 95. p. 104519.
- [6] Malozemoff A.P. // *Singapore: World Scientific Publ. Co.* 1989. p. 71.

Магнитогидродинамический метод расчета некоторых параметров течения и кристаллизации жидкого металла

Макаров Богдан Борисович

Дубский Геннадий Алексеевич

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

Дубский Геннадий Алексеевич, к.ф.-м.н.

nexusbionics@yandex.ru

Магнитогидродинамические методы (МГД - методы) в настоящее время все чаще начинают применяться в литейном производстве, в том числе и в МНЛЗ (машина непрерывного литья заготовок) для устранения усадочной рыхлости кристаллизующегося металла, а также для управления процессом кристаллизации, то есть воздействие на кристаллическую структуру формирующегося слитка. При этом формируемые магнитные поля, воздействующие на расплав металла, могут быть постоянные, переменные, бегущие или вращающиеся. Каждое из этих полей оказывает своё специфическое воздействие на расплав металла при его кристаллизации. Кроме этого, возникают дополнительные эффекты в кристаллизующемся в магнитном поле металле, если расплав движется в этом поле.

Так при воздействии на статический расплав цинка алюминия и цинковой бронзы постоянного импульсного и вращающегося магнитных полей при их кристаллизации выявлено отсутствие столбчатых кристаллов (дендритов) и по всему сечению цилиндрической формы достигнута мелкозернистая структура, характерная для зоны равноосных кристаллов [1]. Подобный результат связывается с изменением термодинамических и кинетических параметров кристаллизации, а также перемешиванием жидкого металла в процессе его охлаждения приводят к раздроблению столбчатых кристаллов у стенок формы и заносят центры кристаллизации в глубь жидкого металла [2,3].

Цель теоретического исследования: используя МГД метод рассчитать профиль скоростей текущего металла в ограниченных плоскостях, а также выявить величину магнитного поля «сноса» и установить их влияние на кристаллизационные характеристики жидкого металла.

В данной работе предлагается аналитическое решение следующих задач:

Задача №1. Рассчитать профиль распределения скоростей и среднюю скорость ламинарного течения несжимаемого жидкого металла между параллельными плоскостями при действии на него постоянного магнитного поля – HO (А/м) в направлении перпендикулярном плоскостям, если металл имеет конечную проводимость – σ (Сим) и магнитную проницаемость – μ , близкую к единице. Найти величину – Hx (поле «сноса») в направлении скорости течения металла.

Для решения данной задачи возьмём за основу систему МГД уравнений из «Электродинамика сплошных сред» Ландау Л.Д. [4]

В случае несжимаемой проводящей жидкости имеющей $\mu \approx 1$, система уравнений имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{H} = 0, \operatorname{div} \vec{H} = 0, \\ \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{H} = (\vec{H} \nabla) \vec{V} + \frac{c^2}{4\pi\sigma} \Delta \vec{H}, \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = \frac{1}{\rho} \nabla \left(P + \frac{H^2}{8\pi} \right) + \frac{1}{4\pi\rho} (\vec{H} \nabla) \vec{H} + \nu \Delta \vec{V} \end{array} \right.$$

$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ – вектор Набла (градиент);

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

σ – проводимость жидкого металла (Сим = (Ом · м)⁻¹);

ρ – плотность (кг/м³);

$\nu = \frac{\eta}{\rho}$ – кинематическая вязкость (м²/с)

Таким образом, поскольку, включение магнитного поля влияет на значение коэффициентов теплопроводности, динамической вязкости жидкого металла и коэффициент диффузии атомов расплава в сторону фронта кристаллизации и обратно, что должно отражаться на скорости зарождения центров кристаллизации, их росте, а также на линейной скорости роста толщины закристаллизовавшегося металла (скорости движения фронта кристаллизации).

Задача №2. Провести теоретическую оценку величины механического вращательного момента, действующего со стороны вращательного магнитного поля на единицу стационарного объёма расплавленного металла (магнетика), находящегося внутри статора цилиндрической формы радиуса – R и высоты L. Статор четырех полюсный (число пар полюсов – 2). Ток через обмотки полюсов – двухфазный. Ток I2 сдвинут по фазе на $\pi/4$ относительно тока I1.

Для того, чтобы провести оценку величины механического вращательного момента, действующего на магнетик (расплавленный металл), требуется поясняющий рисунок (рис. 1)

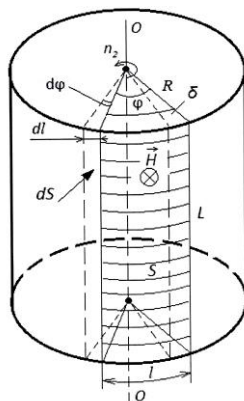


рис.1. Цилиндр магнетика, находящийся между полюсами статора (заштрихованная поверхность цилиндра соответствует площади полюса статора)

Возбуждаемое, таким образом, вращение жидкого металла позволяет изменять условия кристаллизации и получать заданную зерно-границную структуру формируемого слитка за счет слома растущих дендритов, и изменения кинетики образования центров кристаллизации и линейной скорости роста кристаллов.

Новизна данного исследования заключается в том, что большая часть работ связанных с влиянием магнитных полей на кристаллизационные свойства жидких металлов, являются экспериментальными. Теоретических работ по данному направлению, практически, нет. Данный факт затрудняет понимание связи свойств формируемой структуры с внешними и внутренними параметрами, определяющими кинетику и термодинамику процесса кристаллизации.

Список публикаций:

- [1] Вдовин К.Н., Дубский Г.А., Егорова Л.Г. Влияние магнитного поля на процесс кристаллизации алюминиевых расплавов. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2018. №2. С. 34-42
- [2] Мочанов П.П., Гецелев З.Н. Литье в электромагнитные кристаллизаторы. // Цветные металлы. 1970. №8. С.62, 63.
- [3] Микельсон А.Э., Фолифоров В.М. МГД-методы и устройства в промышленности. // МГ. 1975. №1. с.129-140.
- [4] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. т.8. М.: Наука, 1982.

Электронное строение деформированных германеновых нанолент

Маринина Екатерина Владимировна

Лебедева Ольга Сергеевна

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

y-marinin@mail.ru

Германен - близкий родственник графена, представляющий собой двухмерную кристаллическую решётку из атомов германия [1, 2]. Этот тонкий слой упорядоченных атомов германия способен проявлять ни чем не сравнимые оптические и электрические свойства и сможет использоваться во многих устройствах электроники в будущем. Разнообразие молекулярных и кристаллических структур на основе германена связано со строением электронных оболочек атома германия, который дает возможность образовывать соединения с различной координацией наподобие атома углерода. Малая запрещенная щель германена поддается управлению электрическим полем, адсорбцией различных атомов, деформацией и взаимодействием с подложкой [1, 2]. Поэтому он может быть использован, например, в качестве материала для полевого транзистора. Германен обладает высокой энергией спин-орбитального взаимодействия (24 мэВ), что приводит к

расщеплению энергетических уровней по спину электрона. Поэтому германен может быть перспективным материалом для спинтроники [1, 2].

В последние десятилетия сформировалось новое самостоятельное научное направление физики конденсированного состояния – стрейнтроника, использующая физические эффекты в веществе, обусловленные деформациями, возникающими в микро-, нано- и гетероструктурах под действием внешних управляющих полей, приводящих к изменению электронного строения, электрических, магнитных, оптических и других свойств материалов [3]. Подобные эффекты позволяют реализовать новое поколение устройств информационных и сенсорных технологий. Например, в работе [4] анонсирована разработка транзистора на базе графена с использованием деформационного изменения баллистической проводимости (эффект пьезопроводимости). Такие полупроводниковые устройства (транзисторы, резисторы, пьезорезистивные сенсоры и датчики давления) могут быть разработаны также на базе других структур семейства графена, деформационные эффекты в которых находятся на стадии изучения.

Целью настоящей работы является исследование электронного строения германеновых нанолент (GeНЛ), деформированных продольным растяжением и сжатием. Для достижения цели решались следующие задачи: построение геометрических моделей GeНЛ; проведение квантово-химических расчетов электронного строения построенных моделей; вычисление упругих характеристик германеновых нанолент (модуль Юнга, коэффициент Пуассона).

Для изучения деформационных эффектов в германене рассмотрен фрагмент поверхности размера 2×3 элементарные ячейки. Разорванные граничные связи насыщались одновалентными атомами водорода. Для расчета электронного строения GeНЛ использовался полуэмпирический метод квантовой химии MNDO [5].

На основе результатов квантово-химических расчётов проведена численная оценка упругих характеристик германеновых нанолент (модуль Юнга, коэффициент Пуассона) на основе зависимости полной энергии E_{total} германеновой наноленты (2, 3) от относительной деформации δ .

Вычисления модуля Юнга (модуля упругости) германеновых наноленты проводилось с использованием методики, развитой в работе [6]. По определению модуль Юнга C рассчитывается по формуле [7]:

$$C = \frac{1}{V_0} \cdot \left(\frac{\partial^2 E}{\partial \delta^2} \right), \quad V_0 = L_0 H_0 d \quad (1)$$

где V_0 – объем недеформированного кристаллита, E – полная энергия кристаллита, которая аппроксимируется параболической зависимостью:

$$E = K \cdot \delta^2 \quad (2)$$

Путем преобразований формулы (1) с учетом зависимости (2), получаем расчётную формулу для вычисления модуля Юнга:

$$C = \frac{2 \cdot K}{L_0 \cdot H_0 \cdot d} \quad (3)$$

где, C – модуль Юнга (модуль упругости), $K = 6.82$ эВ – эффективный модуль упругости, $L_0 = 19.04$ Å – длина недеформированной GeНЛ, $H_0 = 8.5$ Å – длина недеформированного образца наноленты, d – ковалентный диаметр атома германия $d = 2.4$ Å.

Вычисление эффективного модуля упругости проводилось путем параболической аппроксимации зависимости полной энергии от деформации. Из формулы (3) рассчитывается значение модуля упругости $C = 5.6$ ГПа. Полученное значение коррелирует по порядку величины с модулем Юнга графена, полученным при аналогичных квантово-химических расчетах в работе [6], а также с литературными данными из работы [8].

Рассчитанные значения модуля упругости позволяют сделать вывод о том, что германен является одним из прочнейших материалов и может стать одним из самых эффективных с точки зрения практических разработок представителем графеноподобного класса.

Список публикаций:

- [1] Acun A., Zhang L., Vampoulis P., Farmanbar M., van Houselt A., Rudenko A.N., Lingenfelder M., Brocks G., Poelsema B., Katsnelson M.I., Zandvliet H.J.W. // *J. Phys.: Condens. Matter* 27 (2015) 443002 (11pp).
- [2] Behzad S. // *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 229 (2018) 13–19.
- [3] Бухараев А. А., Звездин А. К., Пятюк А. П., Фетисов Ю. К. // *УФН*. 2018. Т. 188. № 12. С. 1288.
- [4] McRae A.C., Wei G., Champagne A.R. // *Physical Review Applied* 2019. V. 11. 054019.
- [5] Степанов Н.Ф. *Квантовая механика и квантовая химия*. М.: Мир, 2001. 519 с.
- [6] Перекрестова, К.В. *Электронное строение графеновых нанолент, деформированных растяжением, сжатием. Выпускная квалификационная работа / К.В. Перекрестова. Волгоград, 2016. – 53 с.*
- [7] Лукьянов, С. И., А. В. Бандура, Р. А. Эварестов // *Физика твердого тела*. 2015. Том 57, выпуск № 12. – С. 1-9.
- [8] Lee, C, Wei, X, Kysar, J.W., Hone, J. // *Science*. 2008. Jul 18;321(5887):385 p.

Формирование структурных фрагментов в дихалькогенидах титана, замещённых 3d-переходными металлами

Меренцов Александр Ильич

Шкварин Алексей Сергеевич, Титов Александр Натанович

Институт физики металлов УрО РАН им. М.Н. Михеева

Alexander.Merentsov@urfu.ru

Слоистые дихалькогениды переходных металлов (СДПМ) с общей формулой MCh_2 ($Ch = S, Se, Te$) представляют собой квазидвумерные материалы с чередующимися слоями $Ch-M-Ch$. Внутри слоёв химическая связь имеет преимущественно ковалентный характер, в то время как между слоями связь относительно слаба, что даёт возможность к получению так называемых интеркалатных материалов, в которых примесь попадает в межслоевое пространство. При этом образуются дополнительные связи между интеркалантом и решёткой-матрицей, а при высокой концентрации интеркаланта могут образовываться связи непосредственно между атомами интеркаланта (как, например, в системе Fe_xTiSe_2 [1]), приводя к их упорядочению в виде одномерных атомных цепочек. Многообразие комбинаций интеркалант-матрица даёт возможность варьировать свойства интеркалированных СДПМ в широком диапазоне.

Ещё одним способом модификации свойств СДПМ является замещение по одной из подрешёток (переходного металла [2-4] или халькогена [5]). При таком допировании не образуются дополнительные связи между примесью и решёткой в направлении, перпендикулярном плоскости слоёв, что, в частности, не приводит к подавлению эффективного магнитного момента примеси, если она является магнитной, а также позволяет сохранить относительную слабость взаимодействия между соседними слоями $Ch-M-Ch$. Такого рода материалы удобны для использования в качестве твёрдых электролитов для литиевых батарей, поскольку замещение существенно снижает предел растворимости лития и увеличивает ионную подвижность.

В монокристаллах замещённой системы $Cr_xTi_{1-x}Se_2$ методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в кристалле с $x = 0.83$ было обнаружено [3] два пика Se 3d: один соответствовал селену в матрице $TiSe_2$, другой же имел энергию связи на 1.3 эВ больше. Появление второго пика интерпретировалось как образование в материале слоёв $CrSe_2$, когерентно связанных с матрицей $TiSe_2$. Прямого подтверждения этому, однако, до последнего времени не было. Непосредственно подтвердить наличие структурных фрагментов удалось, используя методику SPEM (Scanning Photoemission Electron Microscopy), реализованной на линии Spectromicroscopy синхротрона ELETTRA (г. Триест, Италия). Благодаря фокусировке размер пучка достигает диаметра 120 нм, что позволяет исследовать наноразмерные включения. На *рис. 1* представлено изображение поверхности 100×100 мкм монокристалла $Cr_{0.78}Ti_{0.36}Se_2$ в контрасте Se 3d. Левый фрагмент – решётка на основе $TiSe_2$, правый фрагмент – решётка на основе $CrSe_2$. Аналогичные структурные фрагменты образуются и в монокристаллах системы $V_xTi_{1-x}Se_2$ в составе с $x = 0.75$.

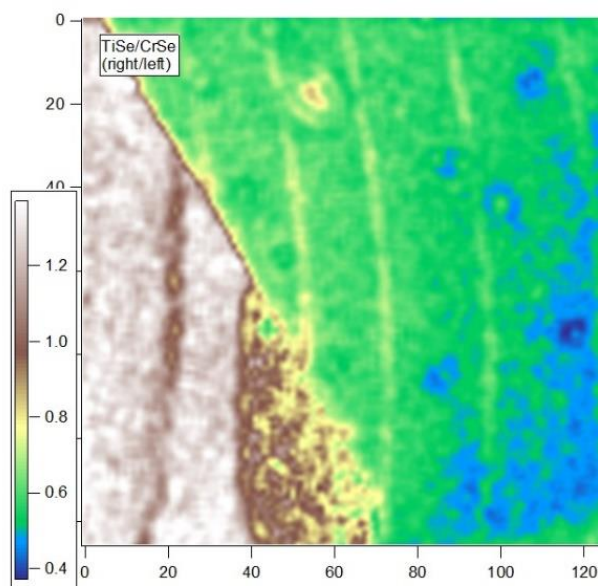


рис. 1. Поверхность 100×100 мкм монокристалла $Cr_{0.78}Ti_{0.36}Se_2$ в контрасте Se 3d. Цветом показана относительная интегральная интенсивность, значения по осям x и y – пиксели.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-60031.

Список публикаций:

- [1] Shkvarin A.S., Yarmoshenko Yu.M., Merentsov A.I., Shkvarina E.G., Suslov E.A., Brezhnevsky M.S., Bushkova O.V., Titov A.N. // RSC Advances. 2016. ЖЭТФ. 2003. 6. 106527.
[2] Shkvarin A.S., Merentsov A.I., Yarmoshenko Yu.M., Shkvarina E.G., Zhukov Yu.M., Titov A.A., Titov A.N. // Journal of Chemical Physics. 2017. 146. 164703.
[3] Merentsov A.I., Yarmoshenko Yu.M., Skorikov A.N., Titov A.N., Buling A., Räkera M., Neumann M., Galieva E.G., Slepudin P.A. // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 2010. 182. 70.
[4] Kirby R. D., Freund G. A., Fagerquist R. L. // Bull. Am. Phys. Soc. 1980. 25. 201.
[5] Shkvarin A.S., Merentsov A.I., Titov A.A., Yarmoshenko Yu.M., Shkvarina E.G., Pis I., Nappini S. Titov A.N. // Journal of Materials Chemistry C. 2018. 6. 12592.

Электрическая проводимость тонких пленок диэлектриков допированных молекулами фенолфталеина

Назыров Эдуард Римович

Ситдииков Финат Фандилович

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Карамов Данфис Данисович, к.ф.-м.н.

dunwich1313@gmail.com

Молекулярное допирование является эффективным способом увеличения проводимости органических полупроводников либо диэлектриков, которое все чаще используется в органической тонкопленочной электронике. Структуры, состоящие из молекул основного органического материал – матрицы и допирующих молекул принято называть системами типа «гость-хозяин». Подавляющее большинство экспериментальных исследований такого рода взаимодействий рассматривается на примерах низкомолекулярных соединений и «гостя» и «хозяина». Аналитическая модель переноса заряда в слабо и сильно допированных неупорядоченных органических материалах хорошо описана в работе Архипова В.И. и др. [1] для систем с РЗНТ. В настоящей работе исследуется взаимодействие высокомолекулярного органического материала – «хозяина» и низкомолекулярного допанта фенолфталеина в качестве «гостя» на возможность применения модели типа «гость-хозяин» в таких структурах.

Объектами исследования в качестве высокомолекулярного полимера – матрицы были выбраны органические несопряженные полимеры полидифениленфталаид (ПДФ) и полиметилметакрилат (ПММА), а в качестве допирующей примеси – молекулы фенолфталеина. Исследуемые образцы представляли собой структуру металл1/полимер+допант/металл2 (Me1/P+дор/Me2). Металлические электроды были изготовлены методом термовакuumного напыления. Нижний металлический электрод был изготовлен из меди (Cu), верхний – из алюминия (Al). Полимерный слой наносился методом центрифугирования на нижний электрод из раствора в циклогексаноне (концентрация всех растворов равна 5 вес.%). Концентрация допанта варьировалась от 0 до 20 вес.% от общей массы смеси «полимер+допант». Толщина полимерной пленки измерялась с помощью атомно-силового микроскопа СММ-2000Т в контактной моде. Для анализа влияния допирующей примеси на электрическую проводимость полимера были исследованы вольт-амперные характеристики изготовленных структур. На рис.1. представлены ВАХ пленок ПДФ с различным содержанием молекул фенолфталеина.

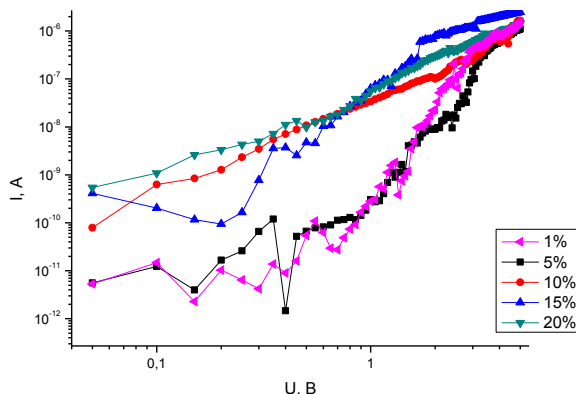


рис.1. Вольт-амперная характеристика Cu/ПДФ+N%Dop/Al в логарифмических координатах.

Из рисунка видно, что проводимость пленок растет с увеличением концентрации примеси. В докладе представлены результаты анализ оценки подвижности носителей заряда и концентрации собственных основных носителей заряда проведен в рамках теории ТООЗ. Проведено сопоставление результатов с моделью, описанной в работе [1].

Список публикаций:

[1] Arkhipov V. I. et al. // *Physical Review B*. 2005. V. 72. №. 23. P. 235202.

Исследования мультиферроиков BiFeO_3 , легированных европием с разными концентрациями

Носов Иван Юрьевич

Зиннатуллин Алмаз Линарович, Черосов Михаил Андреевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Вагизов Фарит Габдулхакович, к.ф.-м.н.

yanka.nosov@mail.ru

Вещества, называемые мультиферроиками, проявляют более одного вида «ферро»-упорядочения: ферромагнетизм, ферроэластичность и сегнетоэлектричество (ферроэлектричество). Мультиферроики получили большое внимание за последние два десятилетия из-за возможности их использования в устройствах для хранения информации, сенсорах, аттенуаторах и спинтронных устройствах. Феррит висмута, BiFeO_3 (далее ВФО), - один из наиболее перспективных мультиферроиков. BiFeO_3 имеет спиральную магнитную структуру (антиферромагнитное упорядочение типа G с температурой Нееля = 643 С) [1]. Температура Кюри сегнетоэлектрического упорядочения ≈ 1100 С. Феррит висмута имеет структуру перовскита и ромбоэдрическую элементарную ячейку.

Необходимым условием для усиления магнитоэлектрического эффекта/ферромагнетизма является изменение пространственно-модулированной спиновой структуры. Из-за различия в ионных радиусах и электронных структурах между редкоземельными элементами и висмутом, пространственно-модулированная спиновая структура BiFeO_3 может быть изменена замещением Bi редкоземельными элементами, ведущим к появлению намагниченности и к модификации магнитоэлектрических свойств допированного BiFeO_3 . Ионный радиус висмута Bi^{3+} (1.17 А) больше чем ионный радиус европия Eu^{3+} (1.07 А), что может привести к заметным искажениям решетки при замещении ионов висмута ионами европия. Предполагалось что, ионы европия Eu^{3+} подавят спиральную спиновую упорядоченность и улучшат магнитные свойства ВФО даже при низких концентрациях [2]. Кроме того, замещение висмута редкоземельными элементами может создать условия для подавления формирования паразитных вторичных фаз типа $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$, которые обычно возникают при синтезе керамическим методом. В этой работе мы приводим результаты рентгеноструктурных, мёссбауэровских и магнитных исследований образцов феррита висмута, допированных ионами европия. Приводится анализ влияния европия на магнитные и магнитоэлектрические свойства синтезированных образцов феррита висмута.

Образцы $\text{Bi}_{1-x}\text{Eu}_x\text{FeO}_3$, где $x = 0, 0.05, 0.1, 0.15$ (далее ВФО, ВЕФО5, ВЕФО10, ВЕФО15 соответственно), были получены стандартной реакцией твердотельного синтеза. Исходные порошки Bi_2O_3 , Fe_2O_3 и Eu_2O_3 (с чистотой не менее 99.5%) были смешаны в соответствующих стехиометрических соотношениях и тщательно перемолоты в агатовой ступке в течение 4 часов. С целью повышения однородности порошки перетирались в среде этанола (ОСЧ). Далее образцы отжигались при температуре 800 °С в течение 10 минут. Исследования методом рентгеновской дифракции показали, что после отжига образуется BiFeO_3 с небольшим содержанием примесных фаз $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$. После этого, с целью избавления от примесных фаз, образцы были обработаны раствором разбавленной азотной кислоты HNO_3 в течение 1 часа по технологии, приведенной в работе [2]. Далее образцы были тщательно промыты дистиллированной водой с целью деактивации кислоты, а взвесь профильтрована. Полученные порошки коричневого цвета были высушены при температуре ≈ 50 °С в течение 5 часов.

Полученные порошки были исследованы методами рентгеновской порошковой дифракции (XRD), мёссбауэровской спектроскопии на ядрах ^{57}Fe и ^{151}Eu и вибрационной магнитометрии. Дифрактограммы полученных образцов ВФО, ВЕФО5, ВЕФО10, ВЕФО15 показали, что образцы однофазны. На дифрактограммах образцов феррита висмута, допированных ионами европия, наблюдалось некоторое смещение рефлексов в сторону больших углов 2θ , что указывает на уменьшение межплоскостных расстояний с ростом концентрации Eu. Это связано с меньшим ионным радиусом европия Eu^{3+} по сравнению с ионным радиусом висмута Bi^{3+} .

Мёссбауэрские спектры на ядрах ^{151}Eu состоят из одиночной линии поглощения. Это свидетельствует, что ионы Eu замещают атомы Bi в ромбоэдрической структуре и имеют степень окисления 3+. С увеличением концентрации европия, значения изомерного сдвига линии поглощения становятся ближе к значению изомерного сдвига для оксида европия.

Мёссбауэрский спектр на ^{57}Fe феррита висмута представляют собой ассиметричный зеемановский секстет с неоднородно уширенными резонансными линиями. Ассиметрия и уширение линий связаны с распределением сверхтонких полей благодаря спиральной магнитной структуре. С увеличением концентрации ионов Eu в $\text{Bi}_{1-x}\text{Eu}_x\text{FeO}_3$, линии секстета принимают более симметричный вид. Наблюдаемое изменение спектра можно объяснить подавлением пространственной спиральной магнитной структуры при замещении висмута ионами европия. Вероятно, введение редкоземельных катионов в структуру ВFO увеличивает магнитокристаллическую анизотропию, тем самым спиральная спиновая структура становится энергетически неблагоприятной [3].

Результаты вибрационной магнитометрии показывают значительную модификацию магнитных свойств феррита висмута по мере увеличения содержания европия. С усилением легирования растет также и намагниченность материала. Проявление необратимости в полевой зависимости намагниченности, т.е. петли гистерезиса, также служит подтверждением изменения магнитной структуры материала.

В заключение: в данной работе приведены результаты структурных, магнитных и мёссбауэровских исследований поликристаллических образцов BiFeO_3 , легированных европием. Установлено что, замещение висмута европием приводит к изменению кристаллической структуры феррита висмута, модифицируя магнитные и магнитоэлектрические свойства синтезированных соединений. Наряду с использованием наноструктурированных образцов и сильных магнитных полей, метод легирования редкоземельными элементами является достаточно эффективным средством подавления пространственно-модулированной спиновой структуры феррита висмута.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы повышения конкурентоспособности Казанского федерального университета. Магнитные измерения были выполнены с использованием оборудования ФЦКП ФХИ КФУ.

Список публикаций:

[1] G. Catalan and J. F. Scott, *Adv. Mater.* 21, 2463 (2009)

[2] Zhengming Jiang, Anguo Peng, Min Liuy, Guoqing Liu and Ge Zhang, *Mod. Phys. Lett. B*, 1950094(2019)

[3] X. Zhang et al., *Journal of Alloys and Compounds* 507 (2010).

Фотоуправляемые органические полевые транзисторы

Павлов Александр Валерьевич

Муллагалиев Ильнур Наилевич

Башкирский государственный университет

Салихов Ренат Баязитович, д.ф.-м.н.

alexpav2457@gmail.com

Органический полевой транзистор (ОПТ) является ключевым элементом в современной органической электронике. Его основные преимущества по сравнению с кремниевым транзистором включают низкую стоимость органических материалов, дешевое и экологически чистое производство органических элементов с помощью технологий печати, а также их универсальные качества, такие как малый вес, гибкость, прозрачность, длительный срок хранения и надежность [1].

В последние годы популярной тенденцией является разработка оптически управляемых полевых транзисторов, которые являются перспективными в качестве элементов оптической памяти, путем объединения органических полупроводников с фотохромными соединениями, поскольку последние демонстрируют двойную проводимость в условиях изомеризации [2-4].

Фотопереключаемые ОПТ (рис. 1) были изготовлены на стеклянных подложках с проводящим слоем ИТО (оксид индия и олова), который действует как затвор. Стеклянные подложки очищали ультразвуком (35 кГц) в деионизированной воде и сушили в печи при 80°C в течение 15 минут. ПАНИ толщиной 300 нм наносили термическим испарением в вакууме (2×10^{-5} мбар) из ячейки Кнудсена через теневую маску. Полианилин находился в непроводящем состоянии и действовал как подзатворный диэлектрик. Фотохромное органическое соединение спиропиран и C_{60} в виде разделенных слоев наносились этим методом (со скоростью 0.3–0.4 нм/с) толщиной 200 нм для каждой пленки. Масса каждого использованного органического вещества составляла 10 мг. Затем алюминиевую пленку (500 нм) осаждали в вакууме в качестве электродов истока и стока. Контроль

толщины пленок проводили с помощью атомно-силового микроскопа NANOEDUCATOR II. Изготовленные устройства характеризовались шириной канала 10 мкм, длиной канала 50 мкм.

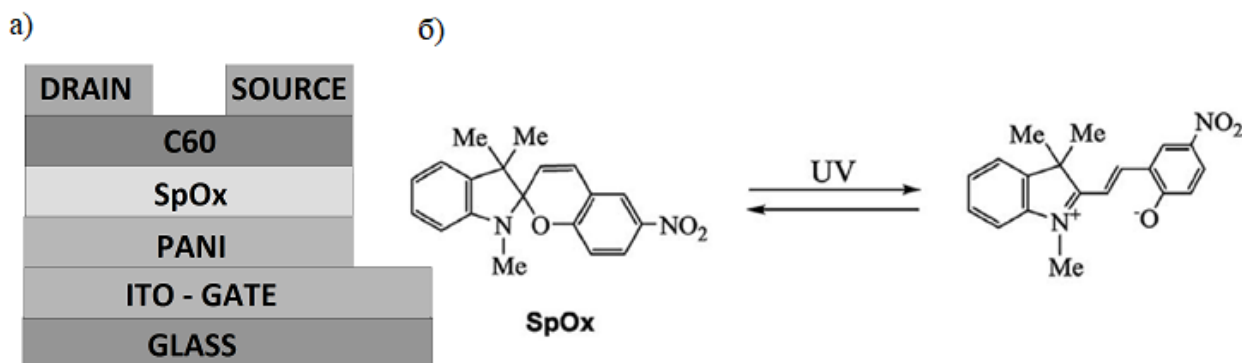


рис.1. Структура фотоуправляемого ОПТ, представленного в этом исследовании (а). Индуцированная ультрафиолетовым излучением обратимая изомеризация SpOx спиropyрана в мероцианин в ОПТ(б)

Были исследованы и проанализированы выходные и передаточные вольтамперные характеристики в отсутствие облучения и при облучении ультрафиолетовым светом (350 нм) в области зазора транзистора. При облучении ток сток-исток увеличивается на три порядка для обоих устройств. Таким образом, текущее соотношение I_{ON}/I_{OFF} около 1000. Возможным объяснением явного увеличения тока через транзистор является эффект цвиттер-иона, который приводит к резкому увеличению дипольного момента молекулы спиropyрана при облучении ультрафиолетом (рис. 1). Подача напряжения на затвор транзистора вызывает преимущественную ориентацию поляризованных молекул, что, в свою очередь, резко увеличивает полевой эффект в транзисторе. Увеличение тока в созданных ОПТ наблюдается при положительном напряжении на затворе, которое соответствует типу электронной проводимости транспортного канала ОФТ. Зависимости нелинейны.

Список публикаций:

- [1] Dimitrakopoulos C. D. and Malenfant P. R. L. // *Adv. Mater.* 2002. V. 14. P. 99.
- [2] Dong H., Zhu H., Meng Q., Gong X. and Hu W. // *Chem. Soc. Rev.* 2012. V. 41. P. 1754.
- [3] Orgiu E. and Samori P. // *Adv. Mater.* 2014. V. 26. P. 1827.
- [4] Fu L.-N., Leng B., Li Y.-S. and. Gao X.-K // *Chin. Chem. Lett*, 2016. V. 27. P. 1319.

Магнитная фазовая диаграмма s-d модели для кубических решеток

Панкратова Анна Константиновна^{1,2}

Игошев Петр Алексеевич^{1,2}

¹Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина

²Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

Игошев Петр Алексеевич, к.ф.-м.н.

pankratovaanny@yandex.ru

Задача описания магнитных свойств систем с редкоземельными металлами, в которой транспортные (s-электроны) и магнитные (d-электроны) степени свободы разделены, является сложной и нерешенной. В работе было исследовано магнитное упорядочение рамках s-d модели в зависимости от параметров (концентрация s-электронов n , величина s-d обменного взаимодействия $I < 0$). Гамильтонан s-d модели имеет следующий вид:

$$H = \sum_{ij\sigma} t_{ij} c_{i\sigma}^\dagger c_{j\sigma} - \frac{I}{2} \sum_{i\sigma\sigma'} (\mathbf{S}_i \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\sigma\sigma'}) c_{i\sigma}^\dagger c_{i\sigma'} \quad (1)$$

где $c_{i\sigma}^\dagger (c_{i\sigma})$ — оператор рождения (уничтожения) s-электрона на i -ом узле с проекцией спина $\sigma = \uparrow, \downarrow$; $\boldsymbol{\sigma}$ — матрицы Паули; I — параметр s-d обменного взаимодействия, t_{ij} — интеграл перескока электрона с узла j на узел i .

В ходе исследования были построены магнитные фазовые диаграммы основного состояния для простой кубической, ОЦК (рис.1) и ГЦК решеток. Были найдены все возможные типы соизмеримого антиферромагнитного порядка (I, II и III типа для ГЦК и ОЦК [1]). Переходы между соизмеримыми фазами с изменением числа носителей реализуются как через области фазового расслоения, так и спирального магнитного порядка. Вблизи потолка и дна зоны обнаруживается ферромагнитный порядок. Насыщенные магнитные состояния (энергия Ферми попадает только в одну из подзон: в подзону для электронов с проекцией

спина вверх или вниз) преимущественно реализуются при больших абсолютных значениях s-d обменного взаимодействия.

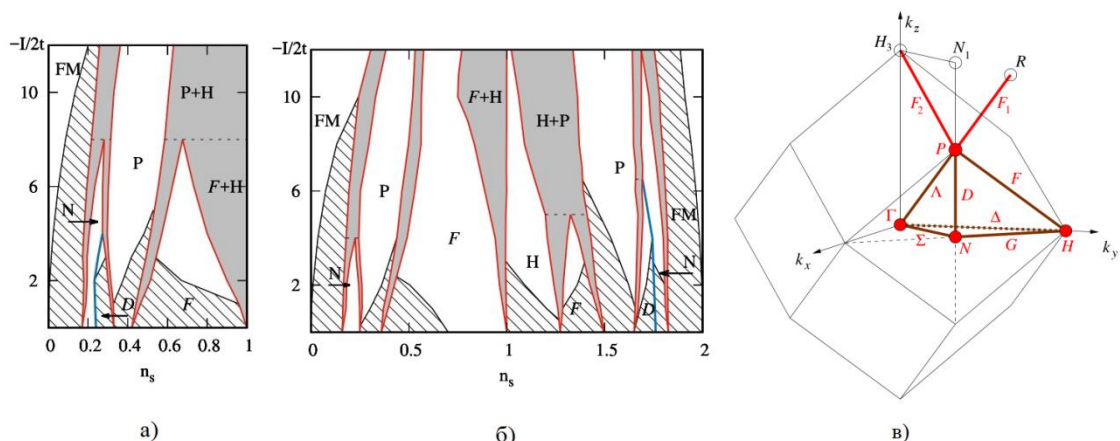


рис.1. Фазовая диаграмма основного состояния ОЦК решетки в переменных n_s — I в приближении ближайших соседей (а), в приближении следующих за ближайшими соседями для $t_2=0.2t$ (б). Толстой(синей) линией указаны фазовые переходы второго рода, тонкой (красной)— первого рода. Закрашенные серым области — области фазового расслоения, заштрихованные — области ненасыщенных состояний. Волновые векторы АФМ и спиральных фаз обозначены стандартным способом. Первая зона Бриллюэна ОЦК решетки (в).

Расчеты в рамках модели Хаббарда в аналогичном приближении [2] в случае большого числа носителей дают результаты, которые качественно близки к полученным в работе: обнаруженные магнитные состояния и типы фазовых переходов между ними оказываются одинаковыми, однако наличие локальных моментов, рассматриваемых в s-d модели, стабилизирует ферромагнитный порядок при малом числе носителей тока даже при малых ($-I$).

Полученные результаты могут быть применены для объяснения свойств магнитных полупроводников и соединений, содержащих ионы редкоземельных металлов/

Список публикаций:

[1] Гуденаф Дж. // *Магнетизм и химическая связь*. М.: Металлургия. 1966.

[2] Igoshv P. A. et al // *J. Phys.: Condens. Matter*. 2015. Vol. 27. P. 446002.

Орбитальный отклик монослойной сурьмы во внешнем магнитном поле

Пушкарев Георгий Владимирович

*Яковлев Илья, Прищепко Данил, Мазуренко Владимир В., Мазуренко Владимир Гаврилович,
Руденко Александр Николаевич*

Уральский федеральный университет

Мазуренко Владимир Гаврилович д.ф.-м.н., Руденко Александр Николаевич к.ф.-м.н.

puskarev.g.v@gmail.com

Двумерные материалы привлекают внимание ученых со всего света благодаря особенностям физических свойств возникающих в них. Монослойная модификация сурьмы - одна из поздних представителей данного класса материалов и обладает хорошей стабильностью, непрямой зонной щелью, а также обладает сильным спин-орбитальным взаимодействием, что усиливает необходимость систематического исследования её магнитных свойств.

Одним из способов выяснения магнитных свойств материала является численное моделирование, которое ввиду развития компьютерных мощностей в современном обществе выходит на первый план. Для данных целей мы рассчитали магнитную восприимчивость двумерной сурьмы с использованием tight-binding (ТВ) приближения при учете спин-орбитального взаимодействия, которое позволяет значительно сократить трудозатратные расчеты с одной стороны и сохранить интересную физику явлений возникающих в сурьме с другой [1]. Магнитная восприимчивость в присутствии спин-орбитального взаимодействия в рамках ТВ модели может быть расписана следующим образом:

$$\chi_{total} = \chi_{orb} + \chi_{spin}, \quad (1)$$

Где, χ_{spin} – спиновая часть магнитной восприимчивости, данная величина может быть рассчитана в рамках теории парамагнетизма Паули и пропорциональна плотности состояний $g(E)$ на уровне Ферми :

$$\chi_{spin} \approx \mu_0 \mu_B g(E_F), \quad (2)$$

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, μ_B – магнетон Бора. Второй член уравнения (1), который обозначает орбитальный вклад в восприимчивость может быть в свою очередь получен в рамках "современной теории орбитальной намагниченности" с помощью средств теории Возмущений с использованием функций Грина [2]:

$$\chi_{orb} = -\frac{\mu_0 e^2}{12 \hbar \pi S} \text{Im} \int_{-\infty}^{+\infty} n_F(E, T) * \text{Tr}[U_k(E) - 4V_k(E)] dE$$

$$U_k(E) = Gh^{xx} Gh^{yy} - Gh^{xy} Gh^{xy}, \quad V_k(E) = Gh^x Gh^x Gh^y Gh^y - Gh^x Gh^y Gh^x Gh^y \quad (3)$$

В данной формуле $n_F(E, T)$ – распределение Ферми-Дирака, Tr – операция взятия следа матрицы, $h^{\alpha\beta}$ и h^α соответственно вторая и первая производные от матрицы гамильтониана (соответствующие им матрицы) по компонентам вектора обратной решетки k_α и k_β . Все производные рассчитывались аналитически следующим образом:

$$h^{\alpha\beta} = \frac{dH(\mathbf{k})}{dk_\alpha dk_\beta} = \sum_j \{H(\mathbf{r}^j)(i\mathbf{r}_\alpha^j)(i\mathbf{r}_\beta^j)e^{i(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}^j)}\} \quad (4)$$

Где $H(\mathbf{r}^j)$ – гамильтониан в прямом пространстве, а \mathbf{r}_α^j – это α компонента вектора \mathbf{r}^j соответствующего - му атому. G в формуле (3) представляет собой Функции Грина которые задавались следующим образом:

$$G(E, \mathbf{k}, \delta) = (E - H(\mathbf{k}) - i\delta)^{-1} \quad (5)$$

Где δ – параметр размытия, который используется в численных расчетах с целью избежать обращения в бесконечность компонент матрицы функций Грина. В наших расчетах мы использовали следующие значения параметров: температура $T = 10K$, параметр размытия $\delta = 0.001 eV$. Мы также используем специальную шкалу для представления результатов, которая выражается в единицах $\chi_o = \mu_0 e^2 \hbar^{-2} a t^2$ со значениями $a = 4.12 \text{ \AA}$ и $t = 2.09 eV$, что соответствует $\chi_o \cong 164.97 \times 10^{-5} \text{ \AA}$.

Полученные результирующие графики зависимостей орбитальной восприимчивости монослойной сурьмы в ТВ приближении при учете спинорбитального взаимодействия изображены на (рис.1).

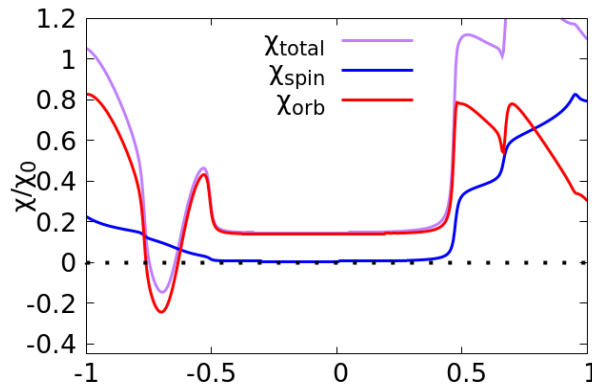


рис.1. Зависимость полной (фиолетовая линия), орбитальной (красная линия), спиновой (синяя линия) магнитных восприимчивостей двумерной сурьмы от значения уровня ферми (допирования).

Как можно видеть из графика полной орбитальной восприимчивости наблюдается положительный по знаку отклик, что является существенным отличием монослойной модификации сурьмы от её трехмерного вида, поскольку в случае объемного кристалла сурьма проявляет диамагнитные свойства [3, 4]. Следующую особенность можно увидеть в области допирования дырками $\sim -0.65 eV$, в данной области наблюдается смена характера восприимчивости, что позволяет контролировать магнитные свойства материала посредством допирования.

Список публикаций:

- [1] A. N. Rudenko, M. I. Katsnelson, and R. Rold'an, *Phys. Rev. B* 95, 081407 (2017)
- [2] A. Raoux, F. Pi'echon, J.-N. Fuchs, and G. Montambaux, *Phys. Rev. B* 91, 085120 (2015).
- [3] R. C. Weast, M. J. Astle, and W. H. Beyer, *CRC Handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data; 64e ed.* (CRC Press, Boca Raton, Fla. (USA), 1984).
- [4] P. Selwood, *Magnetochemistry* (Read Books Limited, 2013).

Исследование из первых принципов структурных свойств сплавов Гейслера на основе $\text{Co}_2\text{Ni}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ ($x=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$)

Саносян Артур Азатович
Соколовский Владимир Владимирович
Челябинский государственный университет.
Соколовский Владимир Владимирович
arthursanosyan@mail.ru

Функциональные свойства сплавов Гейслера на основе Co являются перспективными и в частности, при создании постоянных магнитов [1]. Данные сплавы состоящие из относительно дешевых элементов могут стать заменой современных постоянных магнитов на редкоземельных элементах, таких как (Dy, Nd). В результате это позволит значительно удешевить их себестоимость.

В данной работе рассматриваются сплавы Гейслера $\text{Co}_2\text{Ni}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ ($x=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$). Исследования из первых принципов были выполнены на программном пакете «VASP» [2,3]. Расчеты проводились для 16 атомной суперячейки в приближении GGA-PBE, для различных типов кристаллических структур в кубической и тетрагональной фазе. В результате были рассчитаны равновесные состояния для каждой структуры с различным соотношением Ni и Sn. Также рассчитана зависимость энергии кристалла от степени тетрагонального искажения c/a (рис.1.). В качестве кристаллической структуры аустенитной и мартенситной рассматривались пять типов решеток с различным атомным упорядочением (рис.2.).

В ходе расчетов были определены устойчивые кристаллические структуры для каждой из представленных композиций. Рассчитаны равновесные состояния сплавов в зависимости от параметра решетки. Из (рис.1.) видно, что в аустенитной фазе преобладает структура 1 с атомным упорядочением типа A), а в мартенсите наиболее выгодной является структура 2 с типом кристаллической структуры Б).

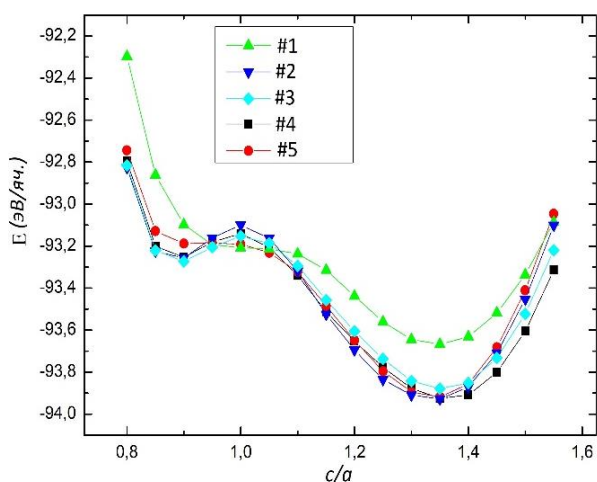


рис.1. Зависимость энергии кристалла $\text{Co}_2\text{Ni}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ от c/a

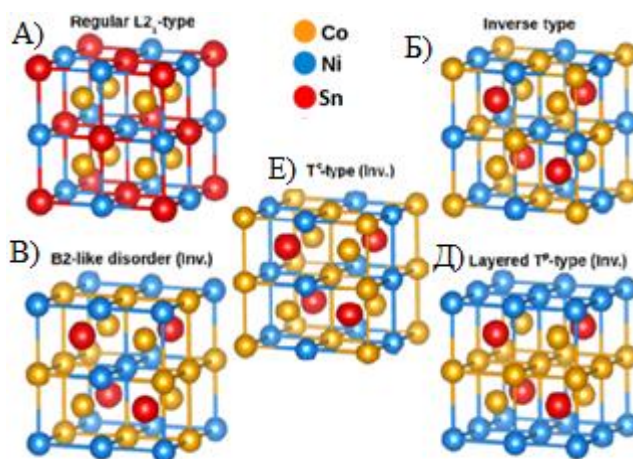


рис.2. Типы кристаллических структур при $x=0$ от степени тетрагонального искажения c/a .

Список публикаций:

- [1] A. Planes et al., *J.Phys.: Condens. Matter* 21, 233201 (2009).
- [2] G. Kresse and J. Furthmüller, *Phys. Rev. B* 54, 11169 (1996).
- [3] G. Kresse and D. Joubert, *Phys. Rev. B* 59, 1758 (1999).

Расчет поляризации для кристаллов типа АВО₃ методом функций Ваннье

Седенкова Ольга Игоревна

Гордиенко Алексей Болеславович

Кемеровский государственный университет

Гордиенко Алексей Болеславович, д.ф.-м.н.

sedenkova.2015@mail.ru

Вычисление поляризации в кристаллах, в отличие от систем конечного размера, сталкивается с рядом трудностей, связанных с неоднозначностью выбора элементарной ячейки, а также фаз одночастичных функций. Одним из эффективных способов решения этой проблемы является использование базиса функций Ваннье, для которого выражение для поляризации может быть записано как

$$\mathbf{P} = \frac{e}{\Omega} \sum_i Z_i^{ion} \mathbf{R}_i^{ion} - \frac{e}{\Omega} \sum_n \bar{\mathbf{r}}_n, \quad (1)$$

где Ω - объем элементарной ячейки, $Z_i^{ion} \mathbf{R}_i^{ion}$ - заряд и положение ионов, $\bar{\mathbf{r}}_n$ - центр функции Ваннье [1]. Выражение (1) является эквивалентным выражению, полученному в рамках квантовой теории поляризации [2] и допускает возможность прямого расчета поляризации после определения набора функций Ваннье.

Целью настоящей работы является исследование электронной структуры кубической и тетрагональной фаз кристаллов ВаTiO₃, РbTiO₃, KNbO₃ и определение спонтанной поляризации. Вычисления проводились в локальном приближении теории функционала плотности с использованием первопринципных псевдопотенциалов и базиса *double- ζ* псевдо-атомных орбиталей [3]. Для расчета функций Ваннье использовался метод [1]. В качестве примера на рис.2 приведена зонная структура кубического РbTiO₃, а также функции Ваннье. Значение поляризации для тетрагональной фазы РbTiO₃, полученное с помощью (1), составляет 0.900 C/м² и хорошо согласуется с результатами других работ: 0.888 C/м² [4], 0.936 C/м²

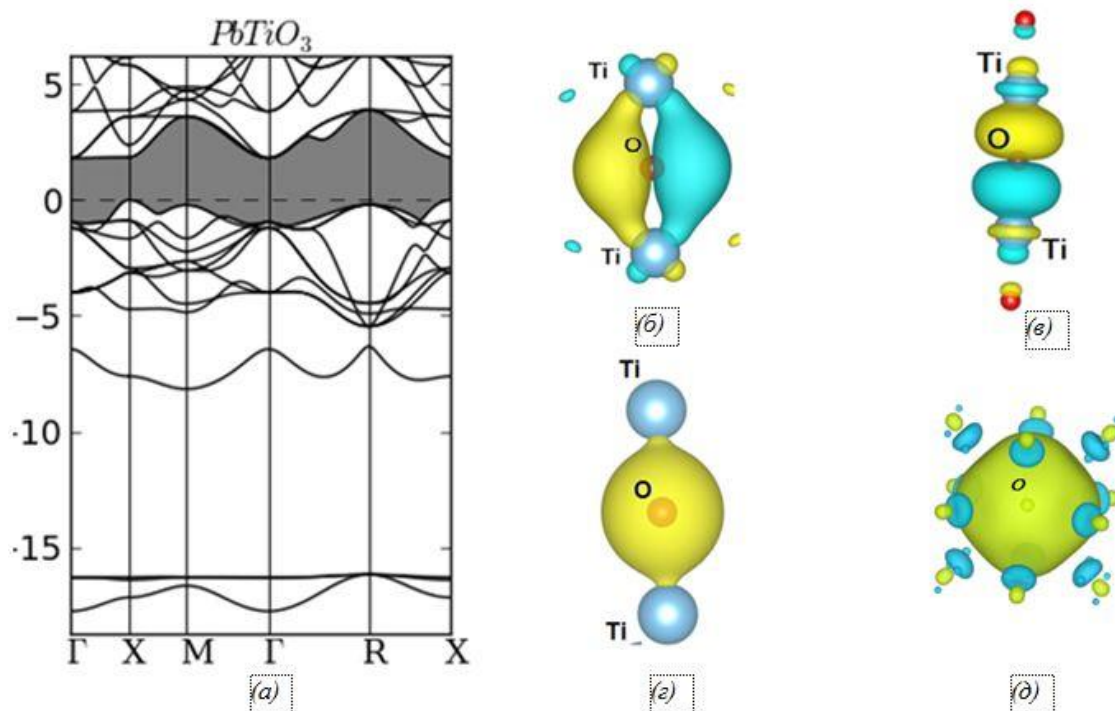


рис.1 Зонная структура кубической фазы РbTiO₃ и функции Ваннье (б-д) для различных способов выбора групп зон.

Список публикаций:

[1] Marzari N., Vanderbilt D. // *Phys. Rev. B.* 1997. V.56. №20. P.12847.

[2] R.D. King-Smith, D.Vanderbilt // *Phys. Rev. B.* 1993. V.47. №3. P.1651.

[3] Гордиенко А.Б., Поплавной А.С. // *Известия высших учебных заведений. Физика.* 1997, В.1. С.1.

[4] Shi J.,Grinberg I.,Wang X.,Rappe A. M. // *Phys. Rev.B.* 2014. V.89. P.094105

[5] Nishida K.,Kasai S.,Tanaka K.,Sakabu Y., Ishii F., Oguchi T. // *Jpn. J. Appl. Phys.* 2001. V.40. P.5806.

Применение методов машинного обучения к operando XANES спектроскопии для палладиевых нанокатализаторов

Усольцев Олег Андреевич

Бугаев Арам Лусеменович, Гуда Александр Александрович, Гуда Сергей Александрович

Южный федеральный университет

Солдатов Александр Владимирович

Oleg-usol@yandex.ru

Палладиевые нанокатализаторы играют значительную роль на современном рынке, так как наночастицы Pd используются в широком спектре реакций, таких как гидрирование алкенов и алкинов. Извлечение структурной информации в ходе operando экспериментов по исследованию катализаторов позволяет нам рассматривать различные процессы с новой точки зрения. В частности, спектроскопия тонкой структуры рентгеновского поглощения в околокраевой области (XANES) является мощным инструментом, широко применяемым для определения атомных и электронных свойств, используемых катализаторов [1]. В большинстве случаев анализ XANES данных требует построения теоретических моделей с огромным количеством параметров. Поэтому применение машинного обучения (ML) к in situ и operando XANES спектроскопии открывает новые горизонты для структурной характеристики материалов.

В данной работе мы обсуждаем построение теоретической модели, охватывающей большое количество структурных параметров. Мы исследуем размер частиц, концентрацию углерода и его распределение в объеме и на поверхности частиц палладия, влияющих на свойства К-края XANES спектров палладия. Мы пошагово показали, как улучшается качество подгонки экспериментальных разностных спектров и теоретической модели, принимая во внимание: только межатомные расстояния (рис. 1 светло-серые точки); межатомные расстояния и концентрацию углерода (рис. 1 светло-серый пунктир); расстояния между атомами, концентрации углерода и соотношение объем/поверхность (рис. 1 темно-серые точки). Наконец, мы предложили набор формальных дескрипторов, относящихся к возможному структурному разнообразию, и построили библиотеку теоретических спектров для анализа данных на основе машинного обучения, реализованного в программном пакете PyFitit [2].

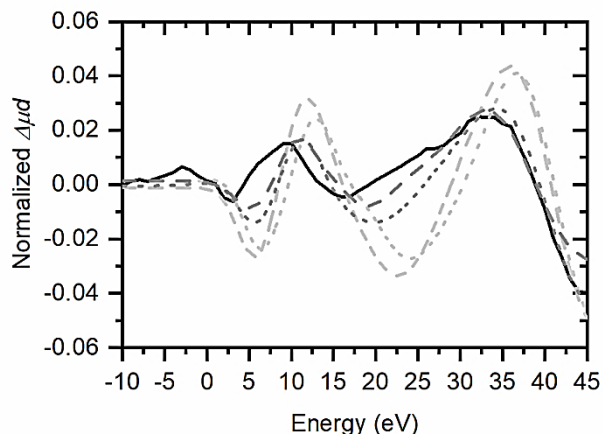


рис.1 Экспериментальный разностный XANES спектр К-края Pd для наночастиц палладия 2,8 нм в ацетилене (сплошная черная линия) и результаты наилучшей подгонки с использованием теоретических спектров только с межатомными расстояниями (светло-серый пунктир); межатомными расстояниями и углеродными примесями в объемной части структуры (светло-серый пунктир) межатомные расстояния, углеродные примеси в объеме и соотношение объем/поверхность (темно-серые точки) в качестве переменных параметров. Лучшая подгонка для алгоритма ML представлена темно-серым пунктиром

Список публикаций:

[1] Guda, A. A., Guda, S. A., Lomachenko, K. A., Soldatov, M. A., Pankin, I. A., Soldatov, A. V., Braglia, L., Bugaev, A. L.; Martini, A., Signorile, M., Groppo, E., Piovano, A., Borfecchia, E., Lamberti, C // *Catal. Today*. 2019. in press

[2] Martini A., Guda S. A., Guda A. A., Smolentsev G., Algasov A., Usoltsev O., Soldatov M. A., Bugaev A., Rusalev Yu., Lamberti C., Soldatov A. V. // *Comput. Phys. Commun.* 2019. T. 250. C. 107064.

Влияние интенсивности света на электропроводность границы раздела двух полимерных диэлектриков

Фаттахова Валерия Олеговна

Булатова Эльвира Ришатовна

Бакирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Юсупов Азам Равилевич, к.ф.-м.н.

lera.fattaxova@gmail.com

Фотопроводимость, наблюдаемая в двумерных системах на основе органических и неорганических структур [1,2] вызывает повышенный интерес в связи с возможным прикладным использованием в различных электронных устройствах. Связано это в первую очередь высокопроводящими свойствами двумерных структур.

Целью настоящей работы является изучение фотопроводящих свойств двумерной структуры сформированной на границе раздела полимер/полимер. В качестве полимера, в работе использовался полидифениленфталид.

Для изучения влияния фотопроводимости в структуре полимер/полимер были изготовлены экспериментальные образцы в следующей последовательности: на предварительно очищенную стеклянную пластинку методом центрифугирования носилась полимерная пленка (из раствора полимера в циклогексаноне) толщиной $\sim 0,5$ μm . 2. После удаления остатков растворителя путем отжига при температуре 150 $^{\circ}\text{C}$ (температура кипения циклогексанона) в течение 40 минут, наносились металлические электроды методом вакуумного термодиффузионного напыления, через теньевую маску. В качестве материалов электродов использовалась медь. 3. Последним этапом было нанесение второго (верхнего) слоя полимера методом центрифугирования с повторным отжигом образца. Для изучения фотопроводимости границы раздела, использовался лазер с длиной волны 405 нм и регулируемой мощностью от 1 мВт до 100 мВт. В качестве основной методики измерения использовался метод основанный на измерении вольтамперных характеристик.

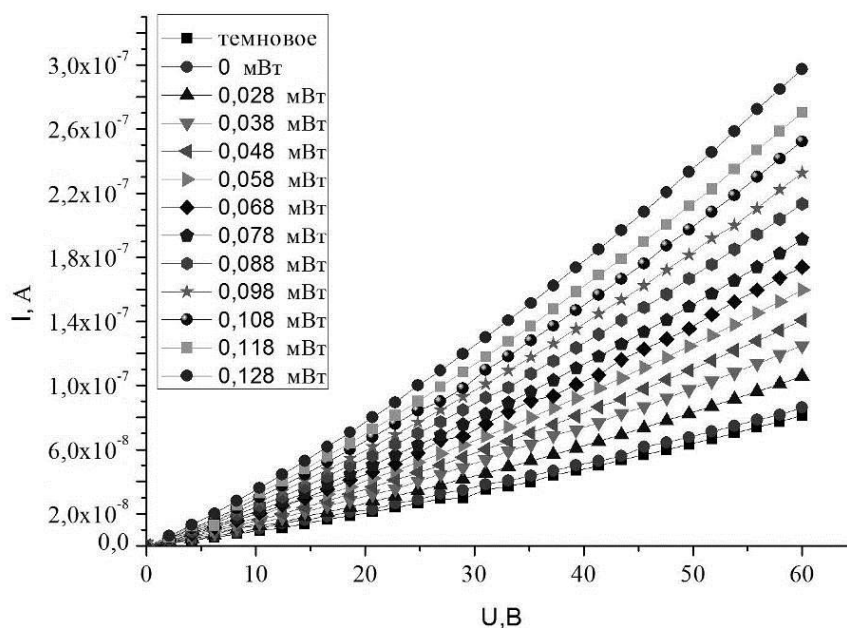


рис.1. Вольтамперные характеристики образца №2 с разной интенсивностью.

На (рис. 1) представлены вольтамперные характеристики исследуемой структуры. Из (рис. 1) видно, что при фотооблучении образца с разной интенсивностью падающего излучения наблюдается рост фототока. Данные вольтамперные характеристики были перестроены в зависимости тока от интенсивности падающего излучения. Как можно видеть из (рис. 2) ток с ростом интенсивности возрастает. Зависимость фототока от интенсивности имеет преимущественно линейный характер, что позволяет сделать предположение о линейной рекомбинации, которая наблюдается в тех случаях, когда концентрация центров рекомбинации велика и в первом приближении не зависит от освещения. Следует также отметить длительные времена жизни неравновесных носителей заряда, наблюдаемые в экспериментах на исследуемых структурах.

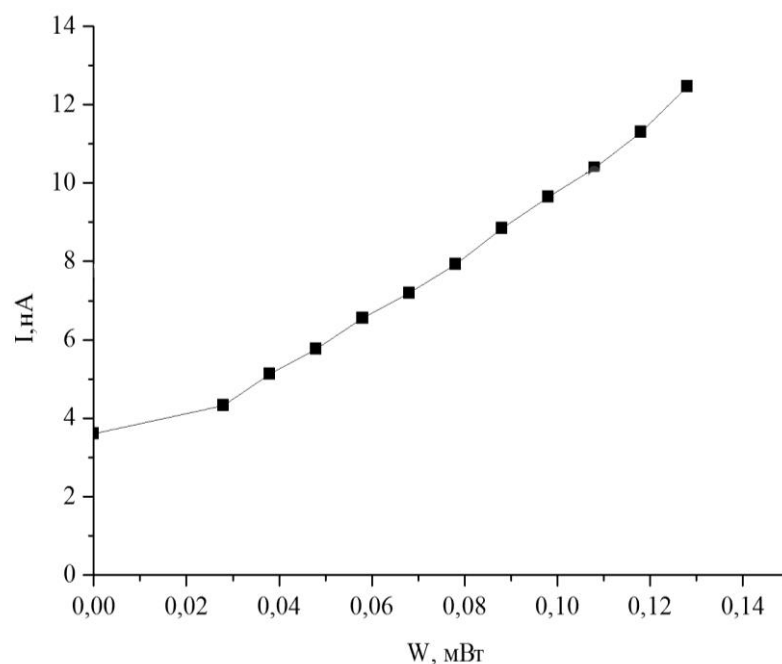


рис.2. Люкс амперная характеристика исследуемых структур.

В докладе приводятся результаты измерения фотопроводящих свойств границы раздела полимер/полимер, а также интерпретация полученных результатов.

Список публикаций:

[1]. *Emiliano Di Gennaro, Umberto Scotti di Uccio, Carmela Aruta Advanced Optical Materials.1, 11, 834 (2013).*

[2]. *Р. М. Гадиев, А. Н. Лачинов, В. М. Корнилов, Р.Б. Салихов, Р.Г. Рахмеев, А.Р. Юсупов. Письма в ЖЭТФ 90, 821 (2009).*

Использование эффекта анизотропии магнитосопротивления для измерения магнитострикции в тонких пленках сплавов 3d-металлов

Фещенко Анастасия Александровна

Кудюков Егор Владимирович, Балымов Константин Геннадьевич

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

Васьковский Владимир Олегович, д.ф.-м.н.

asynickname@mail.ru

Явление магнитострикции заключается в изменение объема и линейных размеров тела при изменении его намагниченности. Разработка и совершенствование материалов, реализующих это явление в практических целях, относятся к числу актуальных физико-технологических задач. [1]. Существует несколько методик прямого измерения величины константы магнитострикции массивных материалов. Однако на плёночных объектах из-за наличия массивной подложки большинство из них не могут быть реализованы. Для решения этой проблемы целесообразно использовать косвенные методы определения магнитострикции. Один из таких методов может быть основан на обратном магнитострикционном эффекте, то есть изменении магнитного состояния при приложении внешней деформации.

Одной из групп материалов, обладающих значительной магнитострикцией, являются сплавы на основе 3d-металлов, многие из которых так же обладают и анизотропией магнетосопротивления. Данное явление заключается в зависимости электросопротивления проводника от взаимной ориентации векторов намагниченности и плотности тока в нём. Таким образом, магниторезистивная кривая, то есть зависимость электросопротивления от напряжённости внешнего магнитного поля, отражает процесс перемагничивания проводника. При упругой деформации проводника за счёт магнитоупругого вклада изменяется его магнитная анизотропия. Это отражается на процессе перемагничивания и соответственно может быть зарегистрировано по магниторезистивной кривой.

Если магнитную плёнку на упругой подложке поместить между двух пар ножей и деформировать путем изгиба по цилиндрической поверхности, то механические напряжения (σ), возникающие в образце можно рассчитать по формуле:

$$\sigma \approx \frac{4\delta d}{L^2} E \quad (1)$$

где d – толщина подложки, L – расстояние между ножами, δ – величина прогиба пленки, E – модуль Юнга. А связь между величиной σ и магнитоупругим вкладом в поле магнитной анизотропии позволяет определить магнитострикцию насыщения (λ_s) по формуле:

$$\lambda_s = \frac{2}{3} \frac{\Delta H_a M_s}{\sigma} \quad (2)$$

где ΔH_a – изменение поля анизотропии, которое на эксперименте определяется из магниторезистивных кривых, M_s – намагниченность насыщения плёнки.

Данный метод нами реализован для исследования магнитострикции пленочных образцов $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ и $\text{Ta}/\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$, с варьируемой толщиной магнитного слоя ($10 \div 100$ нм) и фиксированной толщиной буферного слоя Ta (5 нм). Данные пленки наносились на стеклянные подложки толщиной 0.2 мм, методом высокочастотного ионно-плазменного распыления в присутствии в области подложки однородного магнитного поля напряжённостью 200 Э. Аттестация магнитоупругих свойств плёнок проводились на оригинальной установке [2] и включали измерения параметров изгибной деформации прямоугольных плёночных образцов и соответствующих магниторезистивных кривых. Расстояние между опорными ножами составляло L 12 мм, максимальная стрела прогиба δ - 100 мкм. Электрические контакты с плёнкой формировались с использованием легкоплавкого припоя.

На рисунке 1 для сравнения приведены магниторезистивные кривые пленок двух составов. Одному из них ($\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$), свойственна отрицательная магнитострикция, другой ($\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$) считается немагнитострикционным. Как можно видеть, магниторезистивная петля плёнки $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ (рисунок 1а) показывает существенные изменения при деформации плёнки, а для плёнки $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ подобные изменения отсутствуют (рисунок 1б). Таким образом, данный пример качественно иллюстрирует эффективность использованной методики измерений. Анализ рисунка 1а позволяет определить изменение поля насыщения магнитосопротивления при деформации, и соответственно изменение поля магнитной анизотропии ΔH_a . Расчёты, выполненные с использованием формул (1,2), для дали плёнки $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ толщиной 40 нм $\lambda_s = -1,9 \cdot 10^{-5}$. Полученное значение константы магнитострикции хорошо согласуется с соответствующей характеристикой массивного сплава данного состава, подтверждая тем самым применимость данной методики для определения магнитострикционных свойств плёночных образцов

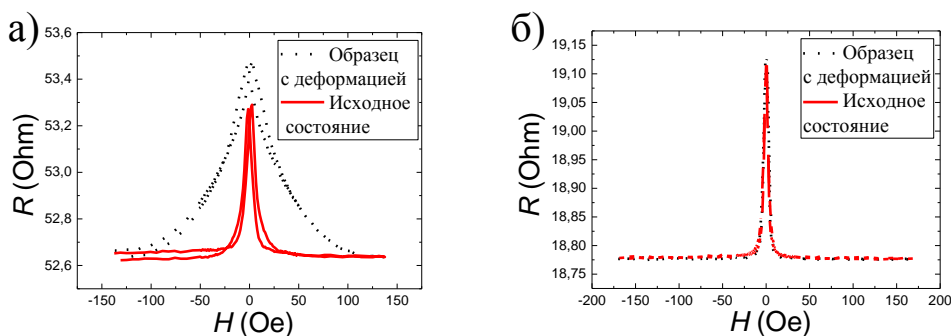


рис. 1. Магниторезистивные петли пленки $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ толщиной 40 нм (а) и пленки $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ толщиной 100 нм (б)

В работе приведены результаты применения представленной методики для подробного исследования магнитострикционных свойств плёнок $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ варьируемой толщины, а также полученные нами данные по магнитострикции других сплавов 3d-металлов в плёночном состоянии.

Список публикаций:

[1] Grössinger R., Turtelli R. S., Mehmood N. *Materials with high magnetostriction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2014. – Т. 60. – № 1. – С. 012002.

[2] Балымов К.Г., Кудюков Е.В., Леаловский В.Н., Кулеш Н.А. Васьяковский В.О. *Использование магниторезистивных плёнок с однонаправленной анизотропией для регистрации упругих деформаций // Дефектоскопия*. - 2017. - №7. - Р.46–51

Влияние электрического поля на спектры поглощения пьезокерамики ПКР-1

Харченко Диана Геннадьевна

Южный федеральный университет

Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.

diana.harchenko555@yandex.ru

В данной работе изучено влияние постоянного электрического поля на спектры поглощения энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ) пьезокерамики ПКР-1 (пьезокерамика ростовская). Для этой керамики характерен широкий интервал рабочих температур и высокая временная стабильность. В настоящее время пьезокерамика ПКР-1 считается одной из наиболее востребованных керамик для практического применения среди других материалов типа ПКР. Одним из главных направлений развития керамики стало создание микрокомпьютеров и важнейших элементов электронной техники. Кроме того, керамика отличается исключительной многофункциональностью по сравнению с другими типами материалов.

Экспериментальная установка состояла из трех генераторов качающейся частоты, перекрывающих диапазон частот от 3,1 до 11,5 ГГц, панорамного измерителя КСВН и ослабления, микрополосковой линии и направленных ответвителей. Микрополосковая линия имела 50-омную нагрузку. Установка работала в режиме бегущей волны. Исследуемые образцы пьезокерамики цилиндрической формы высотой 1 мм и диаметром 10 мм располагались на поверхности микрополосковой линии. На верхней поверхности образца нанесены серебряные электроды в форме двух параллельных полосок шириной 1 мм с расстоянием между ними 1-0,5 мм.

Пьезокерамика ПКР-1 относится к высокочувствительному типу керамик. Поэтому при воздействии на нее СВЧ электромагнитного поля возникает отклик пьезокерамики в виде частичного поглощения энергии этого поля. Типичный спектр поглощения, зависимость поглощенной энергии от частоты $L(f)$ для образца пьезокерамики в отсутствие постоянного электрического поля (E) представлен на *рис.1*. Для него характерно наличие большого максимума поглощения (40 дБ) на частоте $f_0=4,6$ ГГц. Аналогичный график зависимости $L(f)$ наблюдался ранее для керамических и кристаллических сегнетоэлектриков [1]. Наличие больших острых максимумов поглощения в спектре объясняют явлением пьезоэлектрического резонанса ансамблей элементов доменной структуры [2].

Приложение к образцу небольшого постоянного электрического поля ($E = 4-5$ кВ/см) резко изменяет характер поглощения. Максимум энергии смещается в область более высоких частот на несколько МГц, а поглощение в максимуме существенно уменьшается. Причиной этих изменений спектра могут быть изменения параметров и концентрации доменных стенок, которые осциллируют в электромагнитном поле.

При дальнейшем увеличении напряженности поля E спектр поглощения пьезокерамики кардинально изменяется. По-прежнему поглощение в максимуме продолжает уменьшаться, а частота максимума увеличиваться. Но при $E=12-15$ кВ/см спектр поглощения $L(f)$ выглядит модулированным квазипериодическим импульсным сигналом (*рис. 2*). Спектр в интервале частот 3,1 – 5,6 ГГц представляет собой последовательность импульсов шириной приблизительно 50 МГц. Импульс состоит из двух частей, отличающихся по длительности в 4 раза. В моменты воздействия части импульса меньшей длительности, поглощение энергии в спектре резко уменьшается на 4-5 дБ во всем диапазоне частот. Аналогичные изменения в спектре в образцах керамики ПКР-1 происходили и в диапазоне более высоких частот 5,6-8,2 ГГц. Получившемуся спектру соответствует устройство, выполняющее функцию полосового заграждающего фильтра с различными уровнями поглощения.

Напряженность постоянного неоднородного электрического поля максимальна между электродами на поверхности образца. Можно предположить, что причиной происходящих изменений спектра пьезокерамики ПКР-1 являются поверхностные квазипериодические разряды. Такие разряды называют еще незавершенными скользящими разрядами или микропробоями. Они происходят между локальными областями поверхности диэлектрика. Известно, что такие разряды сопровождаются излучением энергии электромагнитного поля в области высоких и сверхвысоких частот [3]. Таким образом, в нашем случае наблюдается наложение поля незавершенных поверхностных разрядов на спектр поглощения пьезокерамики. В результате этого результирующий спектр выглядит модулированным квазипериодическим сигналом. В интервалах времени, когда происходит электрический разряд, наблюдается ослабление поглощения энергии электромагнитного поля образцом, а интервалах времени при отсутствии разряда поглощение восстанавливается до прежнего уровня.

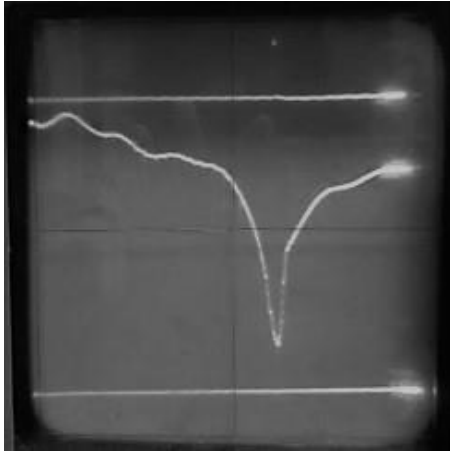


рис.1. Спектр поглощения энергии $L(f)$ ПКР-1 при $E=0$. Ось абсцисс-частота СВЧ поля в диапазоне 3,1-5,6 ГГц, ось ординат-поглощение энергии от 0 до 45 дБ.

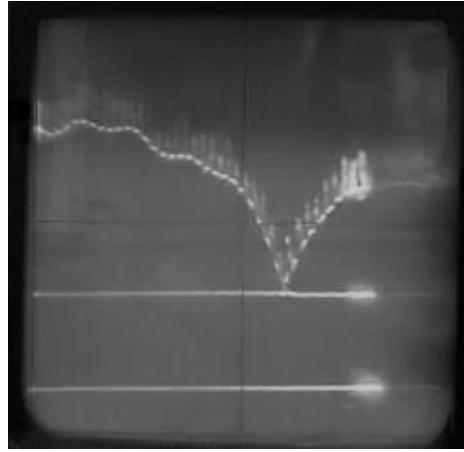


рис.2. Спектр поглощения энергии $L(f)$ ПКР-1 при напряженности постоянного электрического поля $E=12.4$ кВ/см.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы.

1. Постоянное электрическое поле напряженностью менее 10 кВ/см изменяет собственные резонансные частоты и концентрацию осциллирующих в электромагнитном поле доменных стенок пьезокерамики. При этом максимумы в спектрах поглощения энергии электромагнитного поля уменьшаются по величине и смещаются по частоте.

2. Поле повышенной напряженности (12-15) кВ/см вызывает поверхностные микропробои пьезокерамики. В результате чего спектр поглощения энергии образца выглядит модулированными квазипериодическими импульсами. Предполагается, что причиной этого явления является дополнительное электромагнитное излучение незавершенных поверхностных разрядов пьезокерамики ПКР-1.

Список публикаций:

- [1] E. N. Sidorenko, A. V. Turik, I. S. Andreev // *Ferroelectrics*. 2003. № 286. С. 131.
 [2] Е. Н. Сидоренко, В. Г. Гавриляченко, А. В. Турик, А. Ф. Семенчев, И. И. Натхин // *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2013. Т. 18. №9. С.51-54.
 [3] H. Cha, S. Kim, D. Park, G. Kil // *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2011. № 7(3). С.65.

Исследование оптических спектров химически модифицированного поливинилиденфторида

Чалов Дмитрий Александрович

Кундикова Наталья Дмитриевна, д.ф.-м.н., Живулин Владимир Евгеньевич, к.ф.-м.н.

Южно-Уральский государственный университет

Песин Леонид Абрамович, д.ф.-м.н.

chalovdmitriy@gmail.com

В последние годы большое число работ посвящено практическому синтезу и теоретическому моделированию низкоразмерных углеродных структур, в том числе и карбина. Карбин представляет собой совокупность углеродных цепей, в которых соседние атомы соединены между собой либо двойными, либо чередующимся тройными и одинарными связями. Существуют различные, зачастую противоречивые структурные модели карбиновых цепей и их взаимного упорядочения. Однако обнаружение кристаллического карбина в природных минералах вселяет надежду на реализацию условий его синтеза и в лабораторных условиях. Одним из возможных способов синтеза углеродистых материалов, содержащих одномерные фрагменты, является карбонизация галогенсодержащих полимеров.

Поливинилиденфторид (ПВДФ) – полимерный материал, обладающий рядом уникальных физико-химических свойств [1], благодаря которым он находит широкое применение в мембранных технологиях, электронике, медицине, акустике и др. Равное количество фтора и водорода в цепочечном скелете полимера создает потенциальную возможность использования ПВДФ в качестве исходного материала для создания одномерных углеродных наноструктур путем химического и/или радиационного дегидрофторирования (ДФ).

Для использования карбонизированных производных поливинилиденфторида в микро- и оптоэлектронике ключевое значение имеют их полупроводниковые свойства. Изучение оптических спектров позволяет определить ширину запрещенной зоны и уточнить строение вещества.

Для проведения эксперимента нами синтезирована серия образцов с малыми временами ДГФ. Методика химического ДГФ подробно описана в [2]. Реакция проводилась при комнатной температуре, ее продолжительность варьировалась от 1 до 50 минут. Исходным материалом служила пленка ПВДФ марки Ф-2МЭ толщиной 20 мкм, предоставленная ОАО «Пластполимер» (г. Санкт-Петербург). Из пленки вырезались 11 заготовок размерами 20 × 20 мм. Дегидрофторирующая смесь состояла из насыщенного раствора КОН в этаноле и ацетона в объемном соотношении 1:9. Объем смеси составлял 550 мл. Сразу после ДГФ частично карбонизированные пленки промывались в этаноле с помощью вибростенда в течение 30 минут. Для обеспечения единообразия синтез и промывание каждого образца осуществлялись в индивидуальной кювете, т.к. концентрация активных веществ в дегидрофторирующей смеси снижается после проведения каждого последующего синтеза. Полученные образцы затем просушивались при пониженном давлении.

Для регистрации УФ-вид спектров в геометрии на пропускание в интервале длин волн от 200 до 900 нм использовался двухлучевой спектрофотометр Agilent Cary 300. Измерения проводились на трети сутки после синтеза в атмосфере воздуха при комнатной температуре в течение 2 часов.

Ширина запрещенной зоны частично дегидрофторированных пленок рассчитывалась из соотношений Тауца [3]. Вблизи края поглощения зависимости $(\alpha h\nu)^2$ от энергии падающего фотона (где α – коэффициент поглощения, $h\nu$ – энергия фотонов), построенные для нескольких образцов, оказались линейными в диапазоне энергий 1,4–5,1 эВ. Полученные зависимости были аппроксимированы линейной функцией и экстраполированы до пересечения с осью абсцисс в точке, равной ширине запрещенной зоны исследуемых образцов. Установлено, что этот параметр уменьшается от 5,09 до 1,47 эВ с увеличением продолжительности синтеза.

Таким образом, проведенный эксперимент показал возможность синтеза полупроводниковых углеродсодержащих структур на поверхности диэлектрической полимерной пленки, обладающей пьезоэлектрической активностью. Такое сочетание представляется перспективным для практического применения. Тем не менее, для выяснения характера атомного упорядочения углерода в модифицированном слое полимера требуются дополнительные исследования.

Список публикаций:

- [1] Кочервинский В.В. Структура и свойства блочного поливинилиденфторида и систем на его основе / В.В. Кочервинский // Успехи химии. 1996. 65(10). С. 936–987.
- [2] Кудрявцев Ю.П., Евсюков С.Е., Бабаев В.Г. Эффективная дегидрофторирующая система для поливинилиденфторида // Известия Академии наук. Серия химическая. 1992. Вып. 5. С. 1223–1225.
- [3] Мавринская Н.А., Песин Л.А., Баумгартен М. и др. Оптические свойства и ЭПР-поглощение химически дегидрофторированного поливинилиденфторида // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». 2008. №7. Вып. 10. С. 80–88.

03 – Физика полупроводников и диэлектриков

Акчева Регина Ильдаровна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы, институт физики и математики

Исследование наноразмерных проводящих областей в полимерной пленке

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

e-mail: gumirova-regina@mail.ru стр. 112

Алтыншина Гузель Рафкатовна, аспирант 2 года обучения
Уфа, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

Свойства квазидвумерного электронного газа на границе раздела ПММА/ПММА

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: guzel_alтынshina7@mail.ru стр. 113

Артемьева Ксения Валерьевна, магистрант 2 года обучения

Ульяновск, Ульяновский государственный университет, Инженерно-физический

Определение толщины диэлектрических пленок на основе эффекта электросмачивания

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович, к.ф.-м.н.

e-mail: kuzneczova-kseniya@mail.ru стр. 114

Байгутлин Закир Хамзаевич, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы, институт физики и математики

Локальное переключение в субмикронных полимерных пленках

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

e-mail: baigutlin.zakir@yandex.ru стр. 115

Гисматулин Андрей Андреевич, инженер

Новосибирск, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, лаб. 10

Механизм транспорта заряда в бесформовочном мемристоре на основе нитрида кремния

e-mail: aagismatulin@isp.nsc.ru стр. 116

Додонова Татьяна Вадимовна, магистрант 2 года обучения

Кемерово, Кемеровский государственный университет, институт фундаментальных наук

Особенности развертки зон для кристаллов CaF_2 и CdF_2

Гордиенко Алексей Болеславович, д.ф.-м.н.

e-mail: dovata.f-121@mail.ru стр. 117

Евсеев Кирилл Васильевич, 1 курс

Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, физико-технический институт

Структурные и электронные свойства интерфейса графен/силицен

Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.

e-mail: k.evseev97@gmail.com стр. 119

Еникеева Алина Алексеевна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы, институт физики и математики

Влияние дефектов металлической структуры стали на проводимость системы металл/полимер/металл

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: alina.enikeeva.2012@mail.ru стр. 120

Зайтов Минтими́р-Тигран Рафаэлевич, 4 курс

Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт физики

Синтез и исследование монокристаллов MAPbX_3 ($X=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$)

Дулов Евгений Николаевич, к.ф.-м.н.

e-mail: bigfoog@mail.ru стр. 121

Залялов Тимур Маратович, 5 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Деградация сегнетоэлектрических свойств тонких пленок $\text{HfO}_2:\text{La}$
Исламов Дамир Ревинирович, к.ф.-м.н.
e-mail: t.zalialov@gsu.ru стр. 122

Исламов Дамир Ревинирович, с.н.с.
Новосибирск, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, лаб. 10
Сегнетоэлектрическая память - кандидат на роль универсальной памяти
e-mail: damir@isp.nsc.ru стр. 123

Исхаков Ильгизар Гадельянович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, институт физики и математики
Влияние одноосного давления на вольт-амперные характеристики структуры металл/полимер/металл
Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: ilgizariskhakov@mail.ru стр. 124

Киан Мохаммадамин Фарамарз, аспирант
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики
Влияние кислорода на электронные свойства тонких полимерных плёнок полиарилефталидов
Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: aminkian@yandex.ru стр. 124

Колосовский Данил Антонович, магистрант 1 года обучения
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Синтез InGaAlAs/InP из трехкомпонентных твердых растворов
Журавлев Константин Сергеевич, д.ф.-м.н.
e-mail: danil-ak@yandex.ru стр. 125

Кочетовская Александра Юрьевна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им.М. Акмуллы, институт физики и математики
Разработка метода приготовления ориентирующих нанопокровов для жидких кристаллов методом Ленгмюра-Блоджетт
Хазимуллин Максим Вильевич, к.ф.-м.н.
e-mail: kochetovskaya98@list.ru стр. 127

Ладин Павел Алексеевич, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, Институт естественных наук и математики
Влияние контактной разности потенциалов на проводимость структуры металл/полимер/металл
Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: ladinpavel784@gmail.com стр. 127

Магасумова Гульдария Магафуровна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики
Деградация поверхности полимерных покрытий автоэмиссионных катодов
Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.
e-mail: guldariya.magasumova@gmail.com стр. 128

Нуриева Лиана Борисовна, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Термоэлектрические свойства сплавов $\text{CsxCu}_2\text{-xS}$ ($x=0.04, 0.075, 0.125$)
Балапанов Малик Хамитович, д.ф.-м.н.
e-mail: nurieva.liana@bk.ru стр. 129

Османова Елена Вугаровна, 4 курс
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, транспортных, инженерных систем и техносферы

Поведение частоты резонанса ультразвука многокомпонентной керамики при условиях стабилизации температуры

Бурханов Анвер Идрисович, д.ф.-м.н.
e-mail: lenakulagina69@gmail.com стр. 130

Перевалов Тимофей Викторович, с.н.с.
Новосибирск, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, лаб. 10

Моделирование из первых принципов электронной структуры сегнетоэлектрического $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$

e-mail: timson@isp.nsc.ru стр. 131

Петрова Кристина Павловна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им.М. Акмуллы, институт физики и математики

Влияние ион-селективных примесей на спектры импеданса жидких кристаллов

Хазимуллин Максим Вильевич, к.ф.-м.н.
e-mail: krispet98@gmail.com стр. 132

Рахматова Лилия Илфатовна, 2 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики

Изучение фотопроводимости пленок полидифениленфталата

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: rahmatova.liliya@mail.ru стр. 133

Сагадатов Илмир Халитович, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Электрические характеристики стекла при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии
Вальшин Алыс Мустафович, к.ф.-м.н.
e-mail: pro100ilmirsagadotov@gmail.com стр. 134

Солодовников Роман Александрович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики

Влияние упрочной деформации металла на электропроводность полимерной пленки

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: romosol2012@gmail.com стр. 135

Султанов Руслан Ирекович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики

Влияние состава атмосферы на вольт-амперные характеристики структуры металл/полиметилметакрилат

e-mail: princeruslan@rambler.ru стр. 136

Ялалов Ильсур Флюрович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики

Электронное переключение проводимости ультратонких пленок полидифениленфталата

Карамов Данфис Данисович, к.ф.-м.н.
e-mail: ilsur.yalalov@bk.ru стр. 137

Исследование наноразмерных проводящих областей в полимерной пленке

Акчева Регина Ильдаровна

Кильдибаева Гузали Хамитьяновна

Башкирский государственный педагогический университет им. Акмуллы

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

gumirova-regina@mail.ru

Существующие к настоящему времени методы создания органических квазиодномерных проводящих структур (КПС), например, полимерных нанопроводов и углеродных нанотрубок, основаны на использовании достаточно сложных технологических принципов. При этом рост КПС происходит случайным образом, что затрудняет не только их дальнейшее использование, но и проведение исследования их свойств. Целенаправленное формирование КПС в местах заданного позиционирования важная задача, имеющая большое научное и практическое значение.

В настоящей работе использовано явление шнурования тока, происходящее при электронном бистабильном переключении в пленках функциональных полимеров. Идея эксперимента основывалась на нескольких известных свойствах этого явления. Во-первых, в результате переключения в полимерном материале возникают электропроводящие домены в форме квазиодномерных нитей, поперечные размеры которых по разным оценкам могут достигать нескольких нанометров. Во-вторых, при бистабильном переключении высокая электропроводность сохраняется и при отсутствии напряжения на образце (эффект памяти). В третьих, аномально низкое рассеяние носителей заряда в нитях, вследствие чего существует возможность локализации места выделения Джоулева тепла на участке поверхности, окружающей место контактирования проводящей нити с подложкой.

В качестве объекта была выбрана пленка полидифениленфталида, полимера из группы полигетероариленов, в которых ранее наблюдались эффекты переключения при различном воздействии. Из этих полимеров можно изготовить сплошные и однородные пленки в широком диапазоне толщин (в данном эксперименте исследовались пленки толщиной 130 до 450 нм). Использование подложек из полированного кремния позволяет свести к минимуму влияние шероховатости подложки и исключить диффузию металла в полимер. Верхний электрод (острие) изготавливался из медной проволоки методом косого среза. Электрофизические измерения проводились как при атмосферном давлении, последовательно с образцом было включено балластное сопротивление для ограничения измеряемого тока.

Увеличение напряжения на образце до 70-110В (в зависимости от толщины полимера) приводило к скачкообразному необратимому увеличению тока в измерительной цепи. Величина напряженности электрического поля в этом случае близка к значению пробойной напряженности, типичной для полимерных материалов.

Во всех случаях после регистрации резких изменений тока проводилось исследование поверхности полимера методом АСМ. Исследования были выполнены на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000Т, (ООО «Завод ПРОТОН-МИЭТ», Москва, Зеленоград). Было установлено, что в местах, где происходило переключение, образуются дефекты округлой формы. Чем больше ток, протекающий сквозь образец при переключении, тем больше диаметр дефектной области. Ток ограничивался величиной балластного сопротивления и составлял $1 \div 200$ мкА.

Характер деструкции полимерной пленки позволяет предположить, что тепловыделение при протекании тока определялось током растекания, то есть происходило там, где пленка была в диэлектрическом состоянии. Это значит, что в месте протекания тока полимерная пленка имела температуру существенно меньшую, чем в прилегающей области. То есть деструкция полимера была обусловлена не процессами, происходящими собственно в полимере, а сильным локальным нагревом подложки. Можно предположить, что именно в возвышенной области образовались один или несколько проводящих каналов. Оценка диаметра проводящего канала была основана на применении модели растекания. Была использована формула для сопротивления растекания вида.

$$R_p = \rho / (2\pi r_0) \quad (1)$$

При $r_0 \sim 4,5$ Ом·см, и вычисленном $R_p \sim 2,25 \cdot 10^6$ Ом, диаметр проводящего канала составил порядка $2r_0 \sim 6,4$ нм. Для сравнения отметим результаты работы, в которой исследовался пробой пленки полиимида толщиной 12 мкм в структуре с плоскими электродами. Оказалось, что при ограничении тока до 0,1 мкА следы пробоя представляют собой круглые сквозные отверстия диаметром 3-30 мкм. Никаких особенностей в центре отверстия не отмечено. По-видимому, в данной работе регистрировался диэлектрический пробой по механизму, свойственному массивным образцам (толщина пленок составляла более микрометра). При переходе к пленкам субмикронной толщины (в данной работе 130-250 нм) можно ожидать изменения механизма переноса заряда, и, как следствие, наблюдение эффектов переключения.

Свойства квазидвумерного электронного газа на границе раздела ПММА/ПММА

Алтынишина Гузель Рафкатовна

Киан Мохаммадамин Фарамарз

Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

Бакирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

guzel_altynshina7@mail.ru

В докладе представлены результаты исследования электрофизических свойств границы раздела субмикронных пленок полиметилметакрилата (ПММА). Исследования проводили с использованием метода вольтамперных характеристик (ВАХ), который позволил оценить подвижность и концентрацию носителей заряда, а также величину потенциального барьера на контакте с металлом. Пленки получали методом центрифугирования. Толщина пленки составляла ~380 нм. Измерения толщин пленок проводили методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Выбор ПММА был обусловлен тем, что это полимер с сильной локализацией валентных электронов, а также наличием боковых фрагментов с большим дипольным моментом. Ранее [1,2] утверждалось, что вдоль границы раздела двух полимерных пленок может возникать квазидвумерная область, которая обладает высокой проводимостью, обусловленной аномально высокой подвижностью носителей заряда (НЗ). Поляризационная модель, объясняющая эти явления, предполагает необходимость наличия в структуре макромолекулы боковых молекулярных фрагментов с большим дипольным моментом. До сих пор это явление было подтверждено на нескольких полимерах класса полиарилефталидов. В связи с этим возможно исследовать электронные свойства, возникающие вдоль границы раздела полимер/полимер на полимерах другого класса. На рисунке 1 представлена типичная ВАХ измерения вдоль границы раздела ПММА/ПММА.

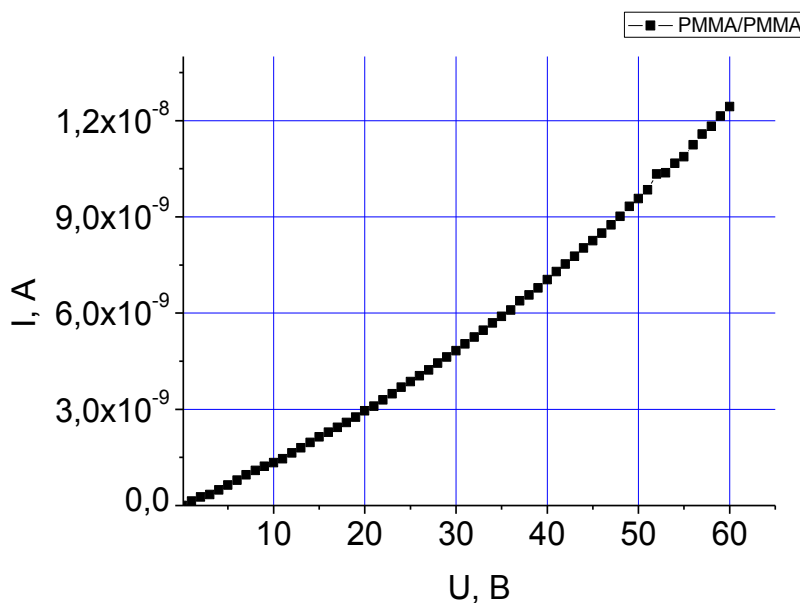


рис.1. ВАХ границы раздела ПММА/ПММА.

Обращает на себя внимание нелинейный вид ВАХ, типичный для органических полупроводников и аномально высокая проводимость полимерного диэлектрика. Анализ ВАХ, проведенный в рамках инжекционной модели показал, что в такой структуре значение подвижности НЗ достигает величины $1,06 \cdot 10^{-2}$ см²/В·с при концентрации НЗ $3,56 \cdot 10^{18}$ м⁻³. В докладе обсуждается механизм транспорта НЗ вдоль границы раздела ПММА/ПММА на основе модели «поляризационной модели». Также в докладе представлены сенсорные свойства структуры ПММА/ПММА. Проводится сравнение полученных данных с известными из литературных источников для квазидвумерного электронного газа.

Список публикаций:

[1] Р.М.Гадиев, А.Н.Лачинов, В.М.Корнилов и др. // Письма в ЖЭТФ, 2009, Т 90, в. 11, с. 821-825.

[2] R.M.Gadiev, A.N.Lachinov, V.M.Kornilov, and others // Appl. Phys. Lett. (2011) 98, 173305.

Определение толщины диэлектрических пленок на основе эффекта электросмачивания

Артемяева Ксения Валерьевна

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович

Ульяновский государственный университет

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович

kuznezova-kseniya@mail.ru

Явление электросмачивания на диэлектрике в настоящее время находит широкое практическое применение в различных областях науки и техники. Например, в качестве уголковых отражателей, дисплеев, микрофлюидных систем типа лабораторий на чипе и т.п. [1, 2]

В данной работе исследовано практическое применение эффекта электросмачивания на диэлектрике, заключающееся в определении толщин диэлектрических пленок. Такой метод основан на параболической зависимости краевого угла смачивания капли жидкости на поверхности диэлектрической пленки от прикладываемого напряжения.

Краевой угол зависит от сил поверхностного натяжения каждой из фаз «жидкость-твёрдое тело-газ», которые действуют на линии контакта и, компенсируя друг друга, приводят к равновесному состоянию, которое описывается уравнением Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{ТГ} - \sigma_{ЖТ}}{\sigma_{ЖГ}} \quad (1)$$

Где $\sigma_{ТГ}$, $\sigma_{ЖТ}$, $\sigma_{ЖГ}$ – поверхностное натяжение на границе твёрдая поверхность–газ, твёрдая поверхность–жидкость и жидкость–газ соответственно.

При подаче напряжения dU на границе раздела твердое тело-жидкость (рис. 1) происходит перезарядка двойного электрического слоя, состоящего, с одной стороны, из ионов на поверхности твердого тела и слоя противоположно заряженных ионов на поверхности жидкости, с другой стороны. В результате происходит уменьшение межфазного натяжения $\sigma_{ЖТ}$ [3].

Предположив, что противоионы все расположены на фиксированном расстоянии d_G от поверхности (слое Гельмгольца), получаем:

$$\sigma_{ЖТ} = \sigma_{ЖТ}^0 - \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2d_G}(U - U_0)^2 \quad (2)$$

где U_0 – потенциал нулевого заряда; $\sigma_{ЖТ}^0$ – межфазное натяжение при $U = U_0$.

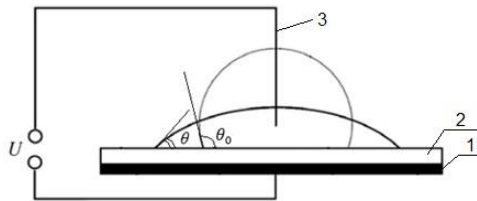


рис. 1. Изменение геометрии капли жидкости, расположенной на металлической подложке (1), покрытой слоем гидрофобного диэлектрика (2) толщиной d . Внешнее напряжение U подается между подложкой (1) и проволочным электродом (3)

Представленные уравнения применимы только в диапазоне напряжения ниже начала электролитических процессов (как правило, до нескольких сотен милливольт).

На практике граничащее с жидкостью твердое тело является диэлектриком, толщина которого намного превышает d_G . Тогда рассматриваемая структура может быть представлена как система из последовательно соединенных конденсаторов, результирующая емкость которых определяется наименьшей емкостью – диэлектрическим слоем. Это дает право принимать жидкость как идеальный проводник (проникновением электрического поля в каплю пренебрегаем). В результате падение напряжения преобладает в диэлектрическом слое. Тогда, выражение (2) с учетом всех поправок и уравнения (1) принимает следующий вид:

$$\cos \theta = \cos \theta_0 + \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2d\sigma_{ЖТ}} U^2 \quad (3)$$

где θ_0 – стационарный угол смачивания при $U = U_0$. Здесь предполагается, что спонтанного накопления заряда не происходит, то есть $U_0 = 0$ [4].

При построении зависимости (3) в координатах $\cos\theta(U^2)$ начальный участок кривой является прямой линией, угловой коэффициент k которой:

$$k = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2d\sigma_{ЖГ}} \quad (4)$$

Экспериментально полученная зависимость $\cos\theta(U^2)$ изображена на рис.2. Для диэлектрической пленки тефлона (AF 400S2-100-1 фирмы DuPont) на поверхности проводящей подложки, нанесенной методом центрифугирования, зависимость близка к теоретической, что говорит о верности представленных суждений.

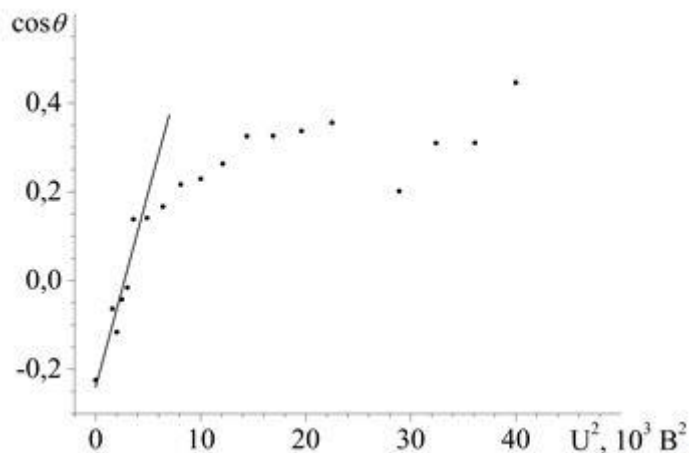


рис. 2. Экспериментальная зависимость уравнения (3), снятая на диэлектрической пленке тефлона. Сплошной линией изображена аппроксимация начального участка прямой.

По угловому коэффициенту (4) прямой, изображенной на рис. 2, была определена толщина диэлектрического слоя тефлона $d = 1.48 \pm 0.31$ мкм. Эта же величина была определена интерференционным методом: $d_{\text{инт}} = 1.50 \pm 0.29$ мкм. Видно, что полученные результаты коррелируют.

Таким образом, эффект электросмачивания на диэлектрике имеет перспективное практическое применение в качестве неразрушающего контроля толщины непроводящих пленок.

Список публикаций:

- [1] J.Heikenfeld, A. J.Steckl // Intense switchable fluorescence in light wave coupled electrowetting devices, Applied Physics Letters. 2005. V. 86. P. 011105.
- [2] S. Kwon Cho, H. Moon, C. J. Kim // Microelectromech, J. Syst, 2003.
- [3] K. Mishra, D. van den Ende, F. Mugele // Micromachines. 2016. V. 7. № 102. P. 1-24.
- [4] F.Mugele and J-Ch.Baret // Electrowetting: from basic to application, J. Phys.: Condens. Matter 17 2005 R705–R774.

Локальное переключение в субмикронных полимерных пленках

Байгутлин Закир Хамзаевич

Баширский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

Baigutlin.zakir@yandex.ru

Работа посвящена экспериментальному исследованию локального резистивного переключения в субмикронных полимерных пленках.

Ранее было установлено, что при кратковременном облучении полимерной пленки на плоской кремниевой подложке ионами с энергией 4–6 кэВ возникает самоподдерживающаяся электронная эмиссия. Это свидетельствует об эффективном переносе электронов сквозь пленку, причем эмиссия происходит из отдельных центров. В связи с этим, была поставлена задача разработки и использования методики инициации электронной эмиссии для создания и исследования отдельных электропроводящих каналов в полимерной пленке субмикронной толщины. Схема экспериментальной ячейки приведена на рис.1(а). Электрофизические измерения проводились в условиях высокого вакуума, для ограничения величины максимального тока в момент

переключения в измерительной цепи последовательно с образцом включалось балластное сопротивление, что позволяло варьировать предельную величину тока.

Для решения поставленной задачи была использована экспериментальная конфигурация типа острие-плоскость. С помощью металлического электрода-острия можно было задавать место, в котором формировался проводящий участок. В качестве полимера использовалась пленка полидифениленфталида. В роли металла были использованы пластины из нержавеющей стали. Медное острие изготавливалось методом косого среза по методике, которая применяется для приготовления зондов для сканирующего туннельного микроскопа. Измерения проводились в условиях высокого вакуума, на образец находящийся в диэлектрическом состоянии, от источника питания, подавалось напряжение в несколько вольт.

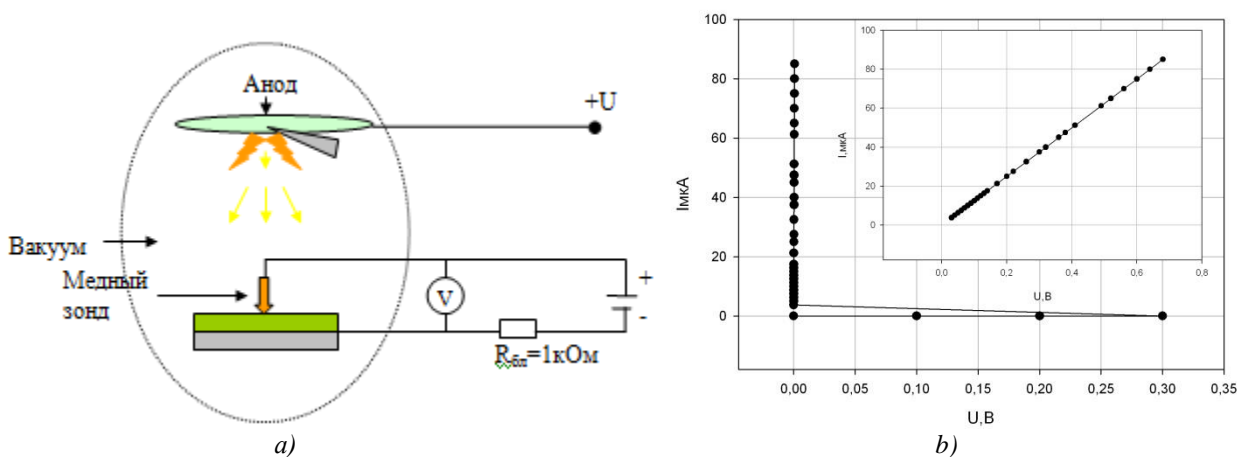


рис.1. а) Схема экспериментальной установки; б) Вольтамперная характеристика образца

На рис.1(б) представлена вольтамперная характеристика образца после воздействия микроразряда. Напряжение на образце плавно поднималось до 0,3 В, затем производился разряд. В этот момент небольшая область образца переходила в высокопроводящее состояние и регистрировалась ВАХ. На врезке показано, что после переключения ВАХ имеет омический вид. АСМ-исследования позволили оценить геометрические размеры проводящих каналов.

Эффекты электронного переключения наблюдались в разных классах объектов (халькогенидные стеклообразные полупроводники, аморфные пленки окислов, органические, в том числе полимерные материалы). Очевидна перспективность использования в электронике элементов, электрическим состоянием которых можно управлять. Использование методики локального переключения позволило определить основные электрофизические свойства отдельных проводящих каналов.

Механизм транспорта заряда в бесформовочном мемристоре на основе нитрида кремния

Гисматулин Андрей Андреевич

Геннадий Николаевич Камаев, Владимир Алексеевич Гриценко

Институт физики полупроводников СО РАН

aagismatulin@isp.nsc.ru

В настоящее время движущей силой в микроэлектронике является разработка универсальной памяти, которая сочетает в себе высокую скорость и бесконечное количество циклов перепрограммирования ОЗУ, энергонезависимость и высокую информационную емкость флэш-памяти, а также низкую стоимость жесткого диска. Одним из наиболее перспективных кандидатов на универсальное запоминающее устройство считается мемристор, основанный на обратимом переходе диэлектрической пленки из состояния с высоким сопротивлением в состояние с низким сопротивлением и обратно при подаче импульса тока. В настоящее время физика переключения резистивного элемента памяти из низкоомного состояния в высокоомное и обратно является предметом дискуссий и интенсивных исследований. Распространённой гипотезой является представление о том, что переключение резистивной памяти осуществляется за счет электродиффузии вакансий кислорода. Отсутствие ясного понимания физики механизмов транспорта заряда в мемристорах сдерживает разработку матриц памяти на их основе. Преимущество SiN_x перед другими диэлектриками заключается в том, что нитрид кремния совместим с кремниевой технологией и широко используется в ней.

Изучалась p^{++} -Si/SiN_x/Ni мемристорная структура с толщиной слоя SiN_x 32 нм. Нестехиометрический нитрид кремния SiN_x получен с помощью плазмохимического метода. Никелевый электрод площадью 0.5 мм² получался с помощью магнетронного распыления. Мемристор на основе нестехиометрического SiN_x является бесформовочным (рис 1.a). Механизм переноса заряда в мемристоре на основе SiN_x изучался в первичном состоянии (VS), высокоомном состоянии (HRS), низкоомном состоянии (LRS) и промежуточном состоянии (IS) (рис. 2.b). Механизм переноса заряда мемристора на основе SiN_x во всех резистивных состояниях описывается током, ограниченным пространственным зарядом (ТОПЗ) [1-2]:

$$I = Se\mu n(T) \frac{U}{d} + S \frac{9}{8} \mu \epsilon \epsilon_0 \theta(T) \frac{U^2}{d^3} \quad (1)$$

Где e – заряд электрона, μ – подвижность, n – концентрация свободных носителей, U – напряжение, d – толщина, ϵ – статическая диэлектрическая константа, θ – степень заполнения ловушек, S – площадь, участвующая в переносе заряда.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 18-49-08001.

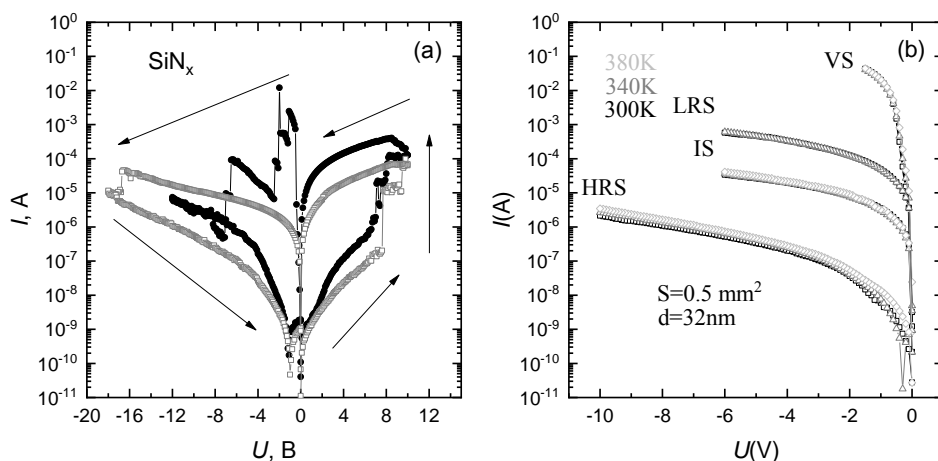


рис.1.a Первый и пятый цикл развертки мемристора на основе SiN_x.

рис.1.b Температурные зависимости тока в разных состояниях мемристора на основе SiN_x.

Список публикаций:

[1] N. F. Mott, R. W. Gurney, *J. Phys. Chem.*, 45, 7, 1142–1142 (1941).

[2] M. A. Lampert, P. Mark, *Current injection in solids*, Academic Press, NY, USA, (1970)

Особенности развертки зон для кристаллов CaF₂ и CdF₂

Додонова Татьяна Вадимовна

Кемеровский государственный университет

Гордиенко Алексей Болеславович

dovata.f-121@mail.ru

Метод развертки зон в первоначальной формулировке рассматривался как один из эффективных способов исследования систем с нарушением пространственной периодичности [1-4]. В основе этого подхода лежит идея отображения точек обратного пространства с «переносом» соответствующих дисперсионных зависимостей, например зон электронных состояний E_{NK} , где N, K – номер энергетического уровня и точка зоны Бриллюэна, в точку $\mathbf{k} = \mathbf{K} + \mathbf{G}_K$, которая соответствует зоне Бриллюэна решетки с другим типом пространственной периодичности. За исключением простого случая кратного расширения элементарной ячейки, трансляционная симметрия одночастичных состояний ψ_{NK} сохраняется не полностью, а лишь «частично», т.е. теореме Блоха для вектора \mathbf{k} будет подчиняться только доля ψ_{NK} , вес которой $W_{KN}(\mathbf{G}_K)$ можно определить стандартными методами теории групп, [5]:

$$W_{KN}(\mathbf{G}_K) = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^V \langle \psi_{NK} | T(\mathbf{r}_j) | \psi_{NK} \rangle e^{-i(\mathbf{K} + \mathbf{G}_K) \cdot \mathbf{r}_j}, \quad 0 \leq W_{KN} \leq 1, \quad (1)$$

где использованы обозначения [5]. Тогда зонная структура E_{NK} , развернутая в зону Бриллюэна решетки с иной периодичностью может быть представлена с помощью спектральной функции:

$$A(\mathbf{k}, E) = \sum_N W_{\mathbf{k}N}(\mathbf{G}_{\mathbf{k}}) \delta(E - E_{N\mathbf{k}}). \quad (2)$$

В настоящей работе метод развертки зон применяется для рассмотрения особенностей зонной структуры идеальных кристаллов, в структуре которых можно выделить подрешетки, трансляционная симметрия которых отличается от симметрии кристалла как целого. Классическим случаем такого типа являются кристаллы со структурой флюорита, которые имеют гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК), но содержат идеальную простую кубическую подрешетку (ПКР), образованную атомами только одного типа, *рис.1*. В этом случае представляется интересным исследовать насколько симметрия ПКР сохраняется в структуре электронного спектра идеального кристалла, а также какие условия, кроме чисто геометрических, могут оказывать влияние на эффект такого сохранения, что определяет цель данной работы.

В качестве объектов исследования выбраны кристаллы CaF_2 и CdF_2 и для сравнения CsCl (ПКР). Расчеты электронной структуры выполнялись в локальном приближении теории функционала плотности с использованием базиса локализованных псевдоатомных *single*- и *double*- ζ орбиталей, а также реализации [6] вычисления спектральной функции (2). Зонные структуры представлены на *рис.1*, а на *рис.2* их развертки в зону Бриллюэна ПКР.

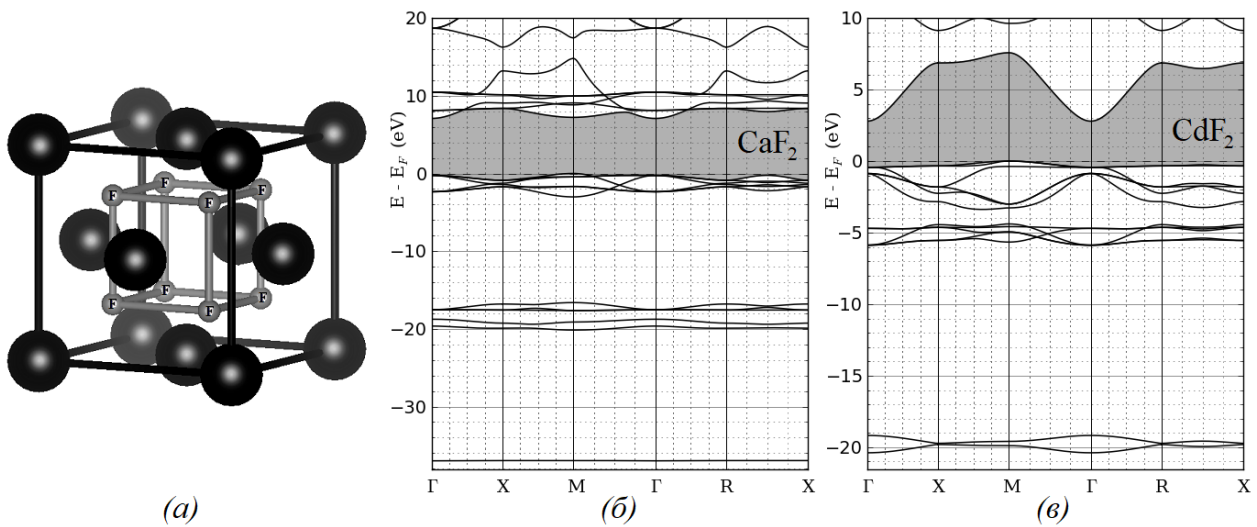


рис.1. Кристаллическая структура CaF_2 и CdF_2 (а); зонная структура CaF_2 (б) и CdF_2 (в)

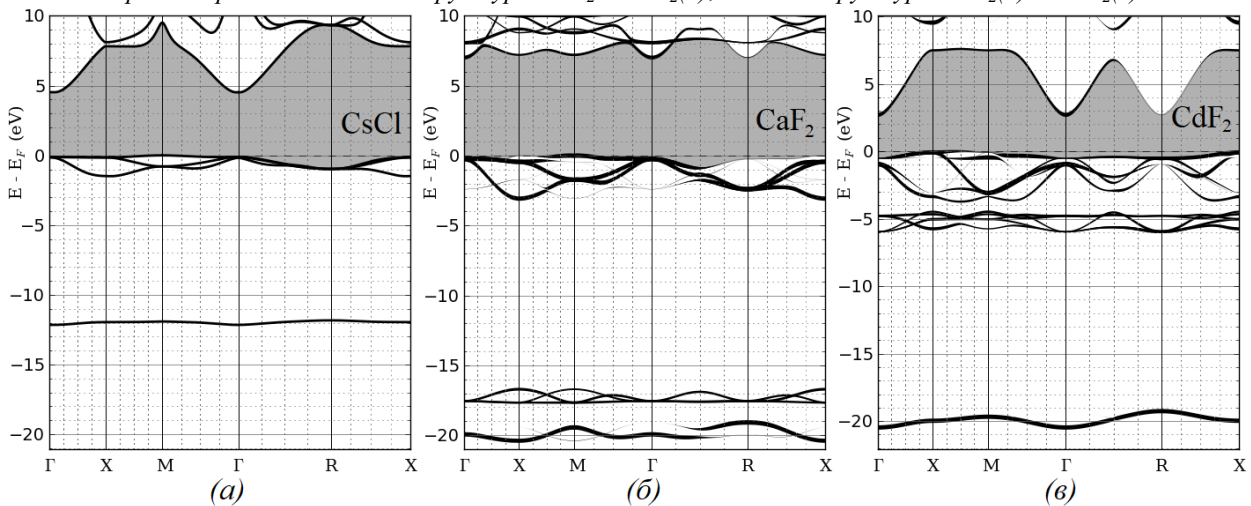


рис.2. Зонная структура CsCl (а), спектральные функции CaF_2 (б) и CdF_2 (в)

Из сравнения с зонной структурой CsCl , *рис.2(а)*, видно, что для CaF_2 , *рис.2(б)*, развертка практически полностью восстанавливает зоны анионных s- и p-состояний, а разрывы на линии Γ -R можно связать с влиянием поля ГЦК решетки катионов. В случае CdF_2 , *рис.2(в)*, трансляционная симметрия ПКР сохраняется только для s-зоны фтора, а для состояний верхней валентной зоны, она полностью нарушена, что обусловлено эффектом гибридизации с d-состояниями катионов. Таким образом, метод развертки зон в применении к идеальным кристаллам позволяет различать случаи, когда можно говорить о «физической» подрешетке,

которая является почти самостоятельной единицей кристалла, либо только о «геометрической», структура которой не является определяющей для электронных свойств кристалла.

Список публикаций:

- [1] Dagram T.G., Capaz R.B., Koiler B. // *Phys. Rev.B.* 1997. V. 56. P. 9625.
- [2] Wang L.W., Bellaiche L., Wei S.H., Zunger A. // *Phys. Rev. Lett.* 1998. V. 80. P. 4725.
- [3] Boykin T.B., Klimeck G. // *Phys. Rev. B.* 2005. V. 71. P. 115215.
- [4] Boykin T., Kharche N., Klimeck G. // *Phys. Rev.B.* 2007. V. 76.P. 035310.
- [5] Allen P.B., Berlijn T., Casavant D.A., Soler J.M.// *Phys. Rev. B.* 2013. V. 87. P. 085 322.
- [6] Гордиенко А.Б., Кособуцкий А.В. // *ФТТ.* 2016. Т. 58. № 3. С. 451-457.

Структурные и электронные свойства интерфейса графен/силицен

Евсеев Кирилл Васильевич

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

Шарин Егор Петрович, д.ф.-м.н.

k.evseev97@gmail.com

В последнее время двумерные материалы вызвали большой интерес благодаря их уникальным свойствам. Недавно была теоретически предсказана и синтезирована экспериментально кремниевая версия графена - силицен. Если графен имеет планарную структуру вследствие полной sp^2 -гибридизации, то силицен является структурой с низким изгибом вследствие частичной sp^2 - sp^3 -гибридизации атомов кремния [1]. Многие уникальные свойства графена также можно наблюдать в силицене, включая его характерное поведение электронов типа Дирака. По сравнению с графеном манипулирование силицином может быть совместимо с существующей кремниевой промышленностью. Однако у силицена также отсутствует запрещенная зона, которая чрезвычайно важна для электронных устройств [2]. Поэтому поиск действенного способа открыть значительную энергетическую пропасть все еще остается насущной проблемой.

В настоящей работе исследуются структурные и электронные свойства интерфейса графен/силицен. Структура такого интерфейса представляет собой силицен, наложенный на слой графена таким образом, что он составляет сверхрешетку.

Все вычисления проводились с использованием программы Quantum Espresso. В основе лежит метод псевдопотенциала с использованием плоских волн в рамках теории функционала плотности (DFT). Влияние остовных электронов учитывалось путем использования ультрамягких псевдопотенциалов. Использовался нелокальный обменно-корреляционный функционал в параметризации Perdew-Zunger (PZ). Энергия обрезания плоских волн для самосогласованного расчета составляла 60 Ry. Для интегрирования линейной зоны Бриллюэна была использована сетка $5 \times 5 \times 1$ в обратном пространстве.

Таким образом была рассчитана зонная структура суперячеек интерфейса графен/силицен 3×3 , 5×5 и 7×7 . Зонную структуру суперячейки 3×3 с одним допированным атомом азота показан на рисунке снизу (рис.1).

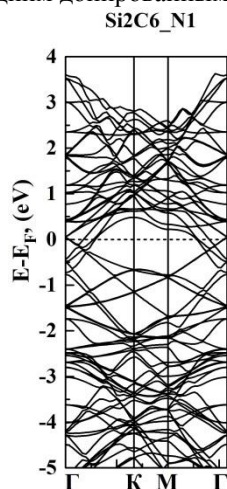


рис.1. Зонная структура суперячейки 3×3 с одним допированным атомом азота.

Список публикаций:

- [1] Patrick B. Benasutti. *Electronic and Structural Properties of Silicene and Graphene Layered Structures* (2012).
- [2] Andres Castellanos-Gomez. *Strain engineering in semiconducting two-dimensional crystals*, *Journal of Physics Condensed Matter* (2015).

Влияние дефектов металлической структуры стали на проводимость системы металл/полимер/металл

Еникеева Алина Алексеевна

Киан Мохаммадамин Фарамарз, Алтыншина Гузель Рафкатовна

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

alina.enikeeva.2012@mail.ru

В данном докладе приведены результаты экспериментального исследования электропроводности структуры металл/полимер/металл в зависимости от разной концентрации дефектов в одном из контактирующих металлов.

Структура образца представляла собой многослойную систему типа металл/полимер/металл, в которой один из металлов представлял собой пластину толщиной 0,5 мм изготовленную из трубной стали. В качестве второго металла использовали индий. В качестве полимерного материала были использованы тонкие пленки полидифениленфталаида. Полимерные пленки были изготовлены по технологии Ленгмюра—Блоджетт. Стальная пластина была предварительно подвергнута пластической деформации путем разрыва. Индиевый электрод был изготовлен двумя различными методами. Исследование проводилось путем последовательного измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) на автоматизированной установке с использованием регулируемого источника постоянного напряжения G^WInstekPSM-6003 и вольтметра Agilent-34401A. Предполагалось, что концентрация дефектов изменяется от места разрыва до места крепления пластины в разрывной машине. В связи с этим измерения ВАХ проводили в зависимости от расстояния от места разрыва. ВАХ были нелинейные поэтому для интерпретации результатов была привлечена инжекционной модели токов, ограниченных объемным зарядом. Результаты оценок концентрации носителей заряда, подвижности и потенциального барьера приведены в таблице

Расстояние от места деформации, мм	Концентрация, см ⁻³		Подвижность заряда, м ² /(В·с)		Потенциальный барьер, эВ	
	1	2	1	2	1	2
0	2,40·10 ¹⁹	3,50·10 ¹⁹	0,81·10 ⁻¹²	0,87·10 ⁻¹²	0,93	0,90
3,75	2,22·10 ¹⁹	3,32·10 ¹⁹	0,80·10 ⁻¹²	0,44·10 ⁻¹²	0,92	0,80
7,5	2,03·10 ¹⁹	2,22·10 ¹⁹	2,51·10 ⁻⁹	0,77·10 ⁻¹¹	0,73	0,75
11,25	1,85·10 ¹⁹	1,66·10 ¹⁹	5,58·10 ⁻¹²	0,53·10 ⁻¹²	0,88	0,84
15	1,66·10 ¹⁹	1,48·10 ¹⁹	6,73·10 ⁻¹²	0,57·10 ⁻¹⁰	0,89	0,73
18,75	1,48·10 ¹⁹	1,11·10 ¹⁹	2,02·10 ⁻¹²	0,34·10 ⁻¹⁰	0,81	0,75
22,5	1,28·10 ¹⁹	5,54·10 ¹⁸	1,98·10 ⁻⁹	0,24·10 ⁻⁹	0,76	0,73
26,25	0,74·10 ¹⁸	3,69·10 ¹⁸	1,64·10 ⁻⁸	0,21·10 ⁻⁸	0,67	0,70

В результате проведенного исследования концентрация носителей заряда вблизи области разрыва возрастает по мере удаления к месту крепления пластины от 2,40·10¹⁹ до 0,74·10¹⁸ см⁻³, потенциальный барьер изменяется в показаниях от 0,93 до 0,67 эВ и показания подвижности заряда от 0,81·10⁻¹² до 1,64·10⁻⁸ м²/(В·с).

Полученные результаты интерпретируются с точки зрения взаимосвязи деформации металла и его эффективной работы выхода. В докладе обсуждаются перспективы и возможности дальнейшего практического применения.

Синтез и исследование монокристаллов MAPbX_3 ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$)

Зайтов Минтими́р Тигран Рафаэ́левич

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Дулов Евгений Николаевич, к.ф.-м.н.

bigfoog@mail.ru

Известно, что на сегодняшний день некоторые металлоорганические материалы со структурой перовскита активно рассматриваются на роль материалов для фотовольтаики. Например, металлоорганические галоидные перовскиты со структурой ABX_3 (A - органический CH_3NH_3^+ (MA^+), $\text{HN} = \text{CHNH}_3^+$ (FA^+) или неорганический (Cs^+ , Rb^+) катион, B - катион металла (Pb^{2+} , Sn^{2+}), а X - галогенид-ион (Cl^- , Br^- , I^-) могут иметь различную ширину запрещенной зоны при изменении химического состава [1]. Это позволяет выбрать оптимальный состав перовскита для достижения желаемых свойств. В недавних статьях было показано ещё одно возможное применение монокристаллов металлоорганических перовскитов MAPbI_3 и FAPbI_3 (формамина-иодида свинца) - детекторы ионизирующего излучения, позволяющие считать частицы, и определять их энергию при комнатной температуре.[2] Наличие атомов свинца делает возможным создание детекторов малых размеров, а возможность выращивания монокристаллов и плёнок из растворов позволяет удешевить производство устройств на основе металлоорганических перовскитов. [3] В 2017 г. были исследованы смешанные перовскитные соединения $\text{MAPbBr}_3\text{-xCl}_x$, в которых авторы добивались лучшего энергетического разрешения, изменяя соотношение долей атомов брома и хлора. [4]. В настоящий момент детекторы, на основе $\text{MAPbBr}_3\text{-xCl}_x$ по своим характеристикам приближаются к сцинтилляционным детекторам, тогда как MAPbBr_3 совсем не обладает спектроскопическими характеристиками, что оставляет открытым вопрос улучшения свойств металлоорганических перовскитов путём подбора оптимального состава кристалла. Причина такого поведения требует изучения влияния дефектов на электрические свойства монокристаллов и исследования зонной структуры полупроводников. К тому же, способ образования дефектов в монокристаллах и влияние на этот процесс условий синтеза остаётся открытым.

Для описания транспортных свойств полупроводников может быть применён метод диэлектрической спектроскопии [5], позволяющий обнаружить наличие примесных уровней энергии, т.н. зарядовые ловушки. Такая информация может быть получена потому, что свободные носители заряда захватываются примесными уровнями на время, называемое характерным. Характерному времени соответствует средняя частота покидания примесных уровней (характерная или характеристическая частота), которая в больцмановском приближении выглядит как:

$$\omega \propto \exp(\Delta E / kT) \quad (1)$$

ΔE - глубина залегания уровня-ловушки [6]. При этом, задержка в появлении тока через полупроводник по отношению к приложенному напряжению подчиняется тем же закономерностям, что и поляризация атомов и молекул. Частотная зависимость эффективной комплексной диэлектрической проницаемости описывается формулой Дебая, изначально полученной для частотной зависимости поляризации диэлектриков. Важным отличием является то, что инерционность отклика в полупроводниках с примесными уровнями имеет характерную температурную зависимость, связанную с активационным законом высвобождения заряда, тогда как дипольные вклады её не имеют.

В процессе работы был проведён синтез крупных (1-7 мм) монокристаллов MAPbBr_3 , разработан способ роста монокристаллов MAPbBr_3 из раствора диметилформаида методом испарения при комнатной температуре, полученные кристаллы были исследованы методом порошковой рентгеновской дифрактометрии, спектрофотометрии. Были получены диэлектрические спектры, по температурным зависимостям которых было определено положение примесного уровня – 0.14 эВ от потолка валентной зоны, по краю зоны поглощения с помощью спектрофотометра была определена ширина запрещённой зоны $\text{MAPbBr}_3 \sim 2.2$ эВ

Список публикаций:

- [1] Eya B. et al. Transformation of PbI_2 , PbBr_2 and PbCl_2 salts into MAPbBr_3 perovskite by halide exchange as an effective method for recombination reduction [Text]// *Phys.Chem.Chem.Phys.* – 2017. – Vol. 19. – P. 10913–10921
- [2] Yakunin S., Dirin D.N., Shynkarenko Y., Morad V., Cherniukh I., Nazarenko O., Kreil D., Nauser T., Kovalenko M.V. Detection of gamma photons using solution-grown single crystals of hybrid lead halide perovskites [Text]//*Nature Photonics.* – 2016. – Vol. 10. – P. 585–589
- [3] Haotong W., Jinsong H. Halide lead perovskites for ionizing radiation detection [Text]//*Nature comm.* – 2019 – Vol. 10. – <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08981-w>
- [4] Wei, H. et al. Dopant compensation in alloyed $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3\text{-xCl}_x$ perovskite single crystals for gamma-ray spectroscopy [Text] //*Nat. Mater.* – 2017 – Vol. 16. P. 826.
- [5] Jonscher, K. A. Dielectric spectroscopy of semi-insulating gallium arsenide [Text] / K.A. Jonscher, C. Pickup, S.H. Zaidi // *Semicond. Sci. Technol.* – 1985. – Vol. 1. – P. 71–92.
- [6] Bueno, P. R. Admittance and dielectric spectroscopy of polycrystalline semiconductors [Text] / P.R. Bueno, J.A. Varela, E. Longo // *Journal of the European Ceramic Society.* – 2007. – Vol. 27. – P. 4313–4320.

Деградация сегнетоэлектрических свойств тонких пленок $\text{HfO}_2\text{:La}$

Залялов Тимур Маратович

Новосибирский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

Исламов Дамир Ревинирович

t.zalialov@g.nsu.ru

Увеличение вычислительных мощностей современных компьютеров сопровождается увеличением быстродействия и информационной емкости элементов памяти, снижением их энергопотребления. Распространенным делением типов памяти на два вида является деление на оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) и постоянные запоминающие устройства (ПЗУ). Уменьшение энергопотребления энергозависимой памяти и увеличение быстродействия энергонезависимой памяти требует создания универсальной памяти, совмещающей в себе высокую скорость работы ОЗУ и энергонезависимость ПЗУ.

Одним из кандидатов на роль универсальной памяти является сегнетоэлектрическая память, или FeRAM. В основе ее ячейки лежит структура с запоминающей средой, представляющей собой сегнетоэлектрик. Сегнетоэлектрики – это материалы, способные к самопроизвольной поляризации. При приложении внешнего электрического поля поляризация может быть переориентирована. Так можно задавать два хорошо различимых состояния – поляризация «вверх» и «вниз», что будет соответствовать, например, логическим «0» и «1».

В основе выпускаемой в наши дни памяти, лежит цирконат-титанат свинца $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ (PZT). Сегнетоэлектрическая память, основанная на PZT обладает огромным, в сравнении с флэш-памятью числом возможных перезаписей: 10^{14} против 10^5 . Время чтения и записи FeRAM составляет 50 нс, в то время как флэш-память имеет время чтения порядка 100 нс, а записи – 10^{-6} – 10^{-3} с. Однако, при уменьшении толщины сегнетоэлектрических пленок, после достижения определенного порога, начинается катастрофически быстрое исчезновение сегнетоэлектрических свойств пленок. Это существенно влияет на масштабирование ячеек приборов FeRAM, так как при уменьшении площади ячейки необходимо уменьшать толщину диэлектрического слоя. Данное ограничение приводит к тому, что объем памяти производимых в настоящее время устройств не превышает 256 Кбит.

Прорыв в исследовании сегнетоэлектрической памяти случился в 2011 году, когда был открыт сегнетоэлектрический эффект в 10 нм пленках оксида гафния, легированных кремнием [1]. После этого открытия было получено множество данных о наличии сегнетоэлектрических свойств в тонких пленках оксида гафния, легированных целым рядом примесей, а также, в твердых растворах оксида гафния и циркония. Сегнетоэлектричество в данных материалах связывают с возможностью стабилизации centro-несимметричной орторомбической фазы при малых толщинах диэлектрических пленок.

Благодаря малым толщинам пленок оксида гафния, ячейки FeRAM могут иметь размеры, позволяющие обеспечить высокую информационную емкость прибора памяти. Однако, у технологии FeRAM, основанной на оксиде гафния, имеются две нерешенные проблемы. Первая проблема связана с недостаточно долгим хранением информации. Оксид гафния теряет свою поляризацию за короткое время и считывание информации становится невозможным. В то же время, известны образцы, полученные по другой технологии, обеспечивающие хранение информации на протяжении 10 лет. Но с описанными образцами связана вторая проблема – недостаточное число возможных циклов перезаписи. Окно памяти начинает уменьшаться после 10^4 циклов перезаписи [2]. Указанное отличие образцов связано с разными параметрами запоминающей ячейки, в том числе, легирующими примесями активной среды. Существующие проблемы накладывают ограничения на производство памяти по технологии FeRAM на основе HfO_2 и тормозят ее развитие на уровне разработки и выпуска опытных образцов. Это делает актуальным исследование пленок оксида гафния с разными легирующими примесями для выбора материала запоминающей среды, совмещающего в себе большой ресурс циклирования и длительное хранение информации.

В данной работе представлены зависимости поляризации и концентрации дефектов от числа циклов переключения поля в тонких пленках оксида гафния, легированных лантаном. Показано, что при достижении некоторого порогового количества циклов перезаписи $\sim 10^5$ концентрация дефектов возрастает на фоне уменьшения окна памяти.

Список публикаций:

[1] T. S. Böske, St. Teichert, J. Müller, D. Bräuhaus, U. Schroeder, U. Böttger, T. Mikolajick, *Appl. Phys. Lett.* 99(10), 102903 (2011).

[2] D.R. Islamov, V.A. Gritsenko, T.V. Perevalov, V.A. Pustovarov, O.M. Orlov, A.G. Chernikova, A.M. Markeev, S. Slesazek, U. Schroeder, T. Mikolajick, G. Ya. Krasnikov, *Acta Materialia* 166, 47-55 (2019).

Сегнетоэлектрическая память FRAM – кандидат на роль универсальной памяти

Исламов Дамир Ревинирович

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

damir@isp.nsc.ru

Одной из наиболее приоритетных задач современной микроэлектроники является создание универсального запоминающего устройства, обладающего высокой скоростью записи и считывания информации, вместе с большим временем хранения, высокой информационной плотностью и энергонезависимостью. Для создания универсальной памяти необходимо эксплуатировать новые материалы и их функциональные свойства, поскольку физические принципы работы выпускаемых промышленностью устройств памяти и технологии, основанные на них, практически уже достигли предела своих возможностей. Исследования памяти на основе сегнетоэлектрического переключения FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) осуществляются на протяжении более 30 лет. Детально изучены технология и сегнетоэлектрические свойства SrTiO_3 , $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ (PZT), $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT), $\text{Bi}_{3,75}\text{La}_{0,25}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BLT) и других сегнетоэлектрических плёнок. Проблема применения перечисленных материалов в качестве активной среды FRAM состоит в том, что их поляризация катастрофически падает при толщинах плёнок менее 100 нм. В свою очередь большая толщина сегнетоэлектрических плёнок (большое аспектное соотношение) приводит к большим размерам ячейки памяти FRAM. По этой причине информационная ёмкость современных FRAM не превышает 128 Мбайт/чип (Компания Ramtron, США). Для сравнения ёмкость современной флэш памяти составляет 256 Гбайт/чип.

Открытие сегнетоэлектрического эффекта в нанометровых слоях HfO_2 вызвало взрывной интерес к изучению физических свойств этих материалов, в связи с перспективой разработки FRAM памяти терабитного масштаба, способной претендовать на роль универсальной памяти. Сегнетоэлектрические свойства тонких легированных плёнок HfO_2 были обнаружены в 2007 году членами группы из NaMLab в компании Qimonda совместно с RWTH Aachen при поиске материалов с высокой диэлектрической проницаемостью для использования в конденсаторах ДОЗУ. Авторами была обнаружена ранее не наблюдавшаяся в нормальных условиях нецентросимметричная (полярная) орторомбическая фаза (o-фаза) между моноклинной (m-) и тетрагональной (t-) фазами в легированных слоях HfO_2 толщиной от 5 до 50 нм [1–3]. Для более толстых плёнок доля m- фазы увеличивается по отношению к o- фазе, что приводит к снижению сегнетоэлектрических свойств. Поляризация плёнки происходит внутри элементарных ячеек o- фазы, перемещая четыре атома кислорода между двумя зеркально симметричными положениями, определяемыми двумя локальными минимумами, разделёнными энергетическим барьером. Стабилизация сегнетоэлектрической фазы в HfO_2 требует легирования различными элементами, в том числе Si, Al, Y, Gd, La и другими, с последующим высокотемпературным отжигом (~1000 °C). При переборе легирующих примесей выявлено, что окно уровня легирования для формирования сегнетоэлектрической фазы увеличивается с атомным радиусом легирующей примеси. Для легирующих примесей относительно малого ионного радиуса, таких как Si и Al (радиус 110/125 пм), имеется небольшое окно уровня легирования (~2 ат.%) в отличие от более «крупных» атомов, таких как La (радиус 195 пм), для которых окно легирования >10 ат.%. До сих пор неясно, что больше влияет на формирование сегнетоэлектрической фазы легированного слоя HfO_2 : ионный радиус примеси или связанная с примесью повышенная концентрация вакансий кислорода в HfO_2 . Для разных концентраций вакансий кислорода была обнаружена прямая корреляция с долей фазы беспримесного HfO_2 в структуре легированной плёнки [4, 5]. Несмотря на то, что небольшая концентрация вакансий кислорода стабилизирует сегнетоэлектрическую фазу в HfO_2 , повышение количества дефектов приводит к разрушению этой фазы и деградации всего прибора памяти.

Особый интерес представляет тот факт, что сегнетоэлектрические свойства также были продемонстрированы в тонких плёнках твёрдого раствора $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$, для которых высокотемпературный отжиг не требуется, что делает этот материал совместимым с современным технологическим процессом кремниевого производства.

В настоящем обзоре описаны физические принципы работы FRAM, основные проблемы, которые необходимо решить перед массовым коммерческим производством.

Список публикаций:

- [1] T. S. Böске, St. Teichert, J. Müller et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2011. V. 99. P. 102903.
- [2] T. S. Böске, St. Teichert, J. Müller et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2011. V. 99. P. 112904.
- [3] X. Sang, E. D. Grimley, T. Schenk et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2015. V. 106. P. 162905.
- [4] A. Pal, V. Narasimhan, S. Weeks et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2017. V. 110. P. 022903.
- [5] D.R. Islamov, V.A. Gritsenko, T.V. Perevalov et al. // *Acta Materialia.* 2019. V. 166. P. 47.

Влияние одноосного давления на вольт-амперные характеристики структуры металл/полимер/металл

Исхаков Ильгизар Гадельянович

Киан Мохаммадамин Фарамарз, Султанов Руслан Ирекович, Алтыншина Гузель Рафкатовна
Башкирский государственный педагогический университет им. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

ilgizariskhakov@mail.ru

В данной работе изучались вольт-амперные характеристики структуры металл/полимер/металл (М/П/М) в зависимости от одноосного давления. Был использован метод вольт-амперных характеристик (ВАХ). В качестве металлических электродов была использована медь. В качестве полимера полиметилметакрилат.

Полимер наносился методом центрифугирования. Концентрация раствора полимера в толуоле была равна 3.5%. Всего для данной работы было изготовлено десять образцов из которых семь были не были пригодны для исследования.

В ходе выполнения данной работы было установлено, что при увеличении давления проводимость растет полимера растет рис .1. Таким образом, мы обосновали что, сам по себе полиметилметакрилат хотя и является диэлектриком. Но если приложить механическое давление он начинает терять свои диэлектрические свойства. При малом давлений ПММА плохо проводит ток. Но с увеличением давления ток начинает возрастать. Для выяснения природы и механизма данного явления необходимы дополнительные эксперименты

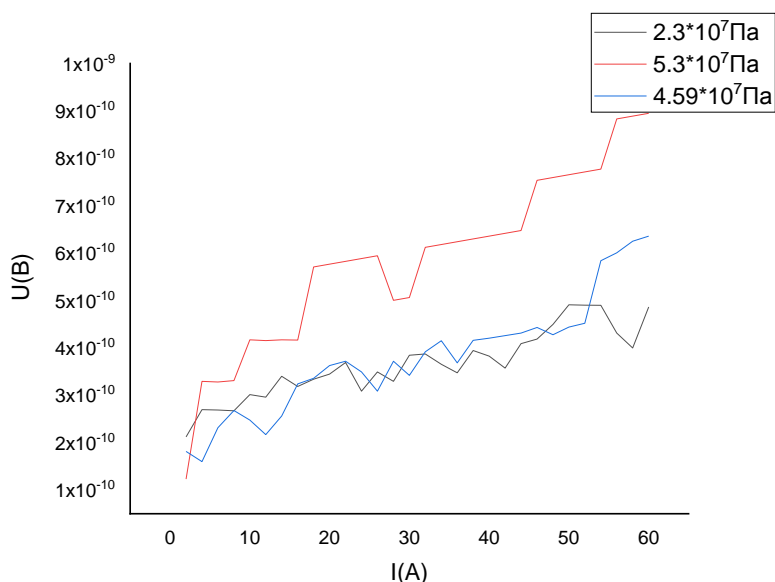


рис 1. Зависимость ВАХ от приложенного давления.

Влияние кислорода на электронные свойства тонких полимерных плёнок полиарилефталидов

Киан Мохаммадамин Фарамарз

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

aminkian@yandex.ru

Тонкие нанометровой толщины пленки полиарилефталидов обладают уникальными электронными свойствами, изучение которых имеет большое значение не только для фундаментальной науки, но и для практического использования в устройствах органической электроники. Однако до сих пор мало внимания уделялось изучению стадии формирования полимерной пленки и влиянию окружающей среды на электронные свойства тонкопленочных устройств [1]. В докладе представлены результаты изучения электронных свойств тонких пленок полидифенилефталидов при различных условиях их формирования от стадии растворения до стадии конечной твердой пленки.

Экспериментальные образцы имели структуру металл – полимер – металл. В ходе изготовления образцов были использованы два метода отжига полимерных пленок: в присутствии атмосферы и в вакууме. Методом исследования в данной работе являлся вольт-амперные характеристики. Анализ полученных результатов был проведен в рамках модели инжекционных токов, ограниченных объемным зарядом. Это позволило оценить подвижности и концентрации носителей заряда.

В результате проведенных исследований установлено, что наличие кислорода при формировании пленки приводит к более высокой проводимости (Рис. 1.). Полученные результаты объясняются повышением подвижностей носителей заряда плёнок, изготовленные при присутствии кислорода. В докладе обсуждаются возможные применения данного явления на практике.

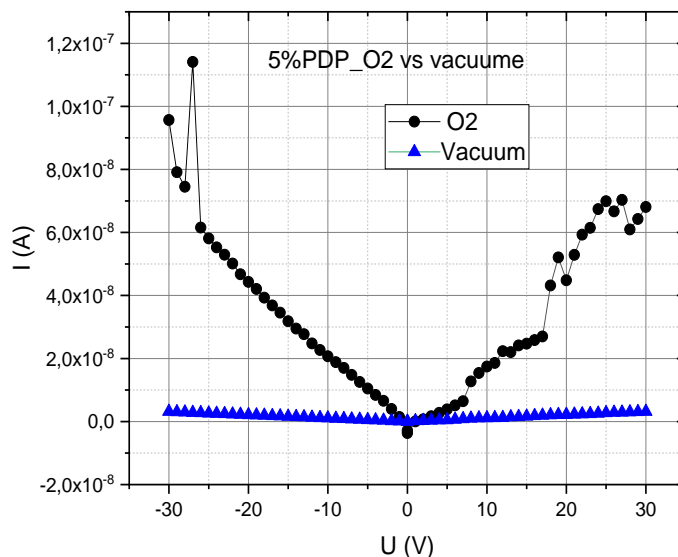


рис. 1. Вольт-амперные характеристики тонких полимерных плёнок, изготовленные на воздухе и в вакууме; пленка изготовлена из 5% раствора полидифениленфталид

Список публикаций:

[1] А.Р. Юсупов, А.Н. Лачинов, Л.Р. Калимуллина, Р.М. Гадиев, Д.В. Никитина //Физика твердого тела, 2019, том 61, вып. 3, С.581-586.

Синтез InGaAlAs/InP из трехкомпонентных твердых растворов

Колосовский Данил Антонович

*Дмитриев Дмитрий Владимирович, Торопов Александр Иванович, Гуляев Дмитрий Владимирович,
Гаврилова Татьяна Александровна, Кожухов Антон Сергеевич*

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Журавлев Константин Сергеевич, д.ф.-м.н.

danil-ak@yandex.ru

Гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) InGaAlAs синтезируемые методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложке (001)InP нашли применение в большом количестве приборов радиофотоники: фотодетекторы [1], лазеры [2-5] и электро-оптические модуляторы (ЭОМ) [6]. Достоинством слоев InGaAlAs является то, что варьируя между собой состав In, Ga и Al можно получить узкозонный материал [6], широкозонный материал [5], и материал с различными коэффициентами преломления [6]. Однако, несмотря на все плюсы данного материала, синтез эпитаксиальных слоев InGaAlAs изучен не до конца. В работах [7-9] твердый раствор InGaAlAs синтезировали на подложке InP различными эпитаксиальными методами. Авторы данных работ приводят спектры фотолюминесценции (ФЛ), кривые качания высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии и данные о концентрации и подвижности носителей заряда, но в то же время авторы не упоминают морфологию поверхности, кристаллическую структуру, наличие прорастающих дислокаций или дефектов, а также резкость гетерограниц. Таким образом, целью работы является исследование структурных характеристики слоев InGaAlAs выращенных методом МЛЭ.

Существует две основные технологии роста четырехкомпонентного твердого раствора InGaAlAs: классическая МЛЭ и цифровая МЛЭ. В классическом методе МЛЭ рост эпитаксиальных слоев происходит за счет атомарных или молекулярных потоков, которые поступают на поверхность подложки из молекулярных источников. Таким образом, для синтеза слоев InGaAlAs в классической МЛЭ на поверхность подложки InP поступают потоки In, Ga, Al и As. В методе цифровой МЛЭ рост слоев InGaAlAs происходит за счет попеременного роста монокристаллических слоев InAlAs/InGaAs. В данной работе использовался метод цифровой МЛЭ т.к. этот метод обладает хорошей воспроизводимостью задаваемых составов, за счет неизменности потоков материалов из источников, т.к. для получения различных составов меняется время открытия заслонки источника, а не его температура.

Рост эпитаксиальных слоев InGaAlAs проводился в ростовой камере МЛЭ установки Riber Compact-21T на полуизолирующих *epi-ready* подложках (001)InP фирмы AXT. МЛЭ установка оснащена системой дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО) с системой регистрации дифракционных картин kSA 400 фирмы k-Space Associates, что обеспечило возможность изучения атомных процессов на поверхности подложки и эпитаксиальной пленки в процессе роста. Контроль молекулярных потоков, поступающих на поверхность подложки, осуществлялся двумя независимыми способами: (1) С помощью ионизационной лампы «Bayard-Alpert JBA» и вакуумметра «Granville-Phillips series 350». Для измерения эффективного давления в потоке лампа помещалась в положение под подложкой, где параметры эффективного давления в потоке считывались с ионизационной лампы вакуумметром. Учитывая коэффициент ионизации, для каждого элемента вычислялись потоки материалов поступающие на поверхность ГЭС. После измерения лампа убирается в сторону, в специальную полость ростовой камеры. (2) Измерение скорости роста по осцилляциям интенсивности зеркального рефлекса в ДБЭО. Каждый полный период в осцилляциях соответствует росту одного монослоя. Получив экспериментальные данные на тестовом образце, по скорости роста каждого компонента задавался состав и толщины для синтезируемых слоев и структур. Температура подложки контролировалась *in-situ* инфракрасным пирометром «Ircan Modline Plus».

Слои $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}$ толщиной от 0.2 мкм до 1 мкм синтезировались методом цифровой МЛЭ путем совмещения роста отдельных монокристаллических слоев $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ и $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ решеточно-согласованных с подложкой (001)InP. Состав $x = 0,5275$, $y = 0,3525$ набирался из 6 монослоев InGaAs и 2 монослоев InAlAs. А состав $x = 0,5283$, $y = 0,3917$ набирался 10 монослоев InGaAs и 2 монослоев InAlAs. Твердый раствор InGaAlAs синтезировался при температурах 480-505°C, так как оптимальная ростовая температура InGaAs составляет 480°C [10], а для InAlAs 500-510°C [11]. Для исследования структурных характеристик выращенных слоев InGaAlAs использовались такие методы как: метод оптической дефектоскопии поверхности, метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), метод ФЛ и методом атомно-силовой микроскопии. Спектр ФЛ слоя $\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.39}\text{Al}_{0.09}\text{As}$ содержит единственный пик на 0.89 эВ, что совпадает с данными работы [9], в которой синтез слоев InGaAlAs проводился классическим МЛЭ методом, и с данными работы [10], где синтез слоев InGaAlAs осуществлялся методом цифровой МЛЭ. Методом оптической дефектоскопии поверхности установлено, что более чем на 90% поверхности плотность дефектов не превышает значения 1000 см^{-2} . Метод АСМ показал явно выраженные монокристаллические ступени на поверхности ГЭС, что характеризует двумерно-слоевой рост. Так же методом АСМ установлено, что среднеквадратичная шероховатость поверхности не превышает 0,7 нм, что соответствует 2-3 монослоям. На ПЭМ изображениях поперечного скола видны четкие гетерограницы, отсутствие прорастающих дислокаций и дефектов.

Таким образом, в работе экспериментально изучен процесс роста методом цифровой МЛЭ четвертого твердого раствора InGaAlAs, синтезируемого путем совмещения роста отдельных монокристаллических слоев InAlAs и InGaAs, и исследованы структурные характеристики выращенных слоев.

Используя разработанную технологию эпитаксиального роста, были получены ГЭС InGaAlAs/InAlAs/InP, на которых были изготовлены макеты ИОМ Маха–Цендера. В активной области ГЭС значение показателя преломления изменяется на 2×10^{-3} при напряжении 1В [6].

Список публикаций:

- [1] Jelen C., et. al., // *IEEE Journal of Quantum Electronics*. 1998. V. 34. P. 1873-1876.
- [2] G. K. Kuang, et. al., // *Journal of Crystal Growth*. 2001. V. 227-228. P. 334-337.
- [3] M. Belz, et. al., // *Electronics Letters*. 1991. V. 27. P. 93-95.
- [4] F. Steinhagen, et. al., // *Electronics Letters*. 1995. V. 31. P. 274-275.
- [5] F. Steinhagen, et.al., // *Proceedings of 8th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials*. 1996. P.777-780.
- [6] D. V. Gulyaev, et. al., // *ITM Web of Conferences*. 2019. V. 30. P. 1-7.
- [7] K. Masu, et. al., // *Journal of Applied Physics*. 1982. V. 53. P. 7558-7560.
- [8] Yi Gu, et. al., // *Journal of Infrared and Millimeter*. 2012. V. 31. P. 358-389.
- [9] T. Fujii, et. al., // *Japanese Journal of Applied Physics*. 1986. V. 25. P. 254-256.
- [10] D. V. Dmitriev, et. al., // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 475. P.012022.
- [11] Д. А. Колосовский, Д. В. Дмитриев. // *Физика твердого тела материалы 57-й Международной научной студенческой конференции*. 2019. С. 17.

Разработка метода приготовления ориентирующих нанопокровтий для жидких кристаллов методом Ленгмюра-Блоджетт

Кочетовская Александра Юрьевна

Мерзина Юлия Валерьевна

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Хазимуллин Максим Вильевич, к.ф.-м.н.

kochetovskaya98@list.ru

Одной из задач нанотехнологии является создание тонкопленочных покрытий с заранее известными физическими и химическими свойствами. Широко распространенным методом создания таких покрытий является метод Ленгмюра-Блоджетт, который позволяет формировать тонкопленочные покрытия поверхностно-активных веществ (ПАВ) на твердой поверхности.

Задачей данной работы являлась разработка техники получения монослоев ПАВ с разной степенью плотности молекулярной упаковки для управления поверхностными свойствами жидких кристаллов (ЖК). Для проведения практической работы использовался ПАВ N—диметил—N—октадецил—3—аминопропилтриметоксилилхлоридом (DMOAP), который является распространенным ориентирующим материалом при создании гомеотропно-ориентированных слоев нематического ЖК. Молекулы DMOAP химически связываются с поверхностью стекла полярной частью и образуют хорошо выраженное монослойное покрытие. неполярная часть молекул, благодаря стерическому взаимодействию, ориентирует молекулы жидкого кристалла перпендикулярно поверхности.

Осаждение слоев проводилось при помощи ванны Ленгмюра-Блоджетт лабораторного изготовления с использованием торсионных весов WT-500 для измерения поверхностного натяжения DMOAP на поверхности воды. Раствор DMOAP в этаноле разной концентрации помещался на водную поверхность и поверхностное натяжение измерялось методом Вильгельми. Для разных концентраций раствора были получены изотермы поверхностного давления (π) от площади, приходящейся на одну молекулу ПАВ (S). Зависимости $S(\pi)$ позволили определить значения S_c , при которых которой начинается переход от «газовой» фазы к «жидкой» фазе монослоев. В дальнейшей работе эти результаты будут использованы для определения поверхностной плотности молекул DMOAP на поверхности стеклянных подложек при изготовлении ячеек с жидким кристаллом.

Список публикаций:

[1] *Голосова А. //Тонкие полимерные пленки на основе мультислойной сборки :Наноиндустрия. 2007. № 4. С.34-36.*

[2] *Тенфорд Ч. // Физическая химия полимеров. 1965. С. 772.*

Влияние контактной разности потенциалов на проводимость структуры металл/полимер/металл

Ладин Павел Алексеевич

Киан Мохаммадамин Фарамарз

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

ladinpavel784@gmail.com

В докладе приведены результаты исследования проводимости структуры металл/полимер/металл (МПМ) при изменении граничных условий. Изменение условий производили путем подключения массивного металлического образца к одному из электродов МПМ структуры. Металлические образцы выбирались с разной эффективной работой выхода электрона. В качестве объектов исследования в работе использовались структуры металл/полимер/металл (МПМ). Образцы имели форму пластин различной толщины из Al и Cu, с практически одинаковой массой (29 ± 1 г). В работе были использованы известные свойства полимерных пленок полидифениленфталаида менять свои электрические свойства при изменении граничных условий [1]. Структуры МПМ были созданы методом термического напыления в вакууме в ВУП - 5М. Основным методом исследования был метод вольтамперных характеристик (ВАХ).

На рис. 1 представлены ВАХ структуры МПМ при различных способах подключения дополнительной металлической навески и разных металлах. Полученные ВАХ были интерпретированы в рамках инжекционной модели, которая позволила оценить изменение концентрации и подвижности носителей заряда в полимерной пленке согласно формулам, приведенным ниже.

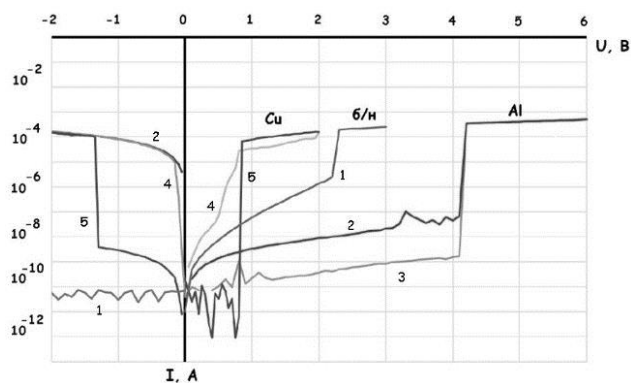


рис.1. ВАХ структуры МПМ. Типы подключения: 1 – без нагрузки, 2, 4 – потенциометрическое, 3, 5 – токопроводящее.

Формула для расчета подвижности носителей заряда:

$$\mu = J \cdot L^3 / \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n^2, \quad (1)$$

где U_n – пороговое напряжение, соответствующее точке перехода, J – плотность тока, L – расстояние между электродами, ε – диэлектрическая проницаемость материала.

Концентрация носителей заряда:

$$n_0 = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n / e \cdot L^2, \quad (2)$$

Установлено, что при увеличении работы выхода металла изменяется форма ВАХ. Также это влияет на подвижность и концентрацию носителей заряда в связи с изменением высоты потенциального барьера на границе металл/полимер. В докладе обсуждаются возможности применения обнаруженного явления для целей диагностирования дефектного состояния металлов.

Список публикаций:

[1] Лачинов А. Н. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров [Текст] / А. Н. Лачинов, Н. В. Воробьева // УФН – 2006. - №12. — С. 176.

Деградация поверхности полимерных покрытий автоэмиссионных катодов

Магасумова Гульдария Магафуровна

Башкирский государственный педагогический университет им.М. Акмуллы

Корнилов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н.

Guldariya.magasumova@gmail.com

В данной работе проведены исследования эмиссионных свойства планарной структуры кремний-полимер-вакуум. Объектом исследования выбрана полимерная пленка, нанесенная на кремний. Исходя из этого были поставлены следующие задачи: освоение работы вакуумного универсального поста, подготовка образца и изготовление экспериментальной ячейки, исследование эмиссионных процессов, оптический контроль полимерного покрытия до и после проведения исследования. Проведенные ранее работы по исследованию вольфрамовых острых катодов с полимерным покрытием [1] показали, что полимерное покрытие может существенно снизить работу выхода и повысить стабильность эмиссионного тока. Однако в данном случае радиус кривизны вольфрамового острия составляет 20-30 нм, что сильно затрудняет контроль состояния полимерного покрытия. Поэтому было предложено для исследования свойств полимерного покрытия использовать полированную кремниевую подложку, покрытую полимерной пленкой.

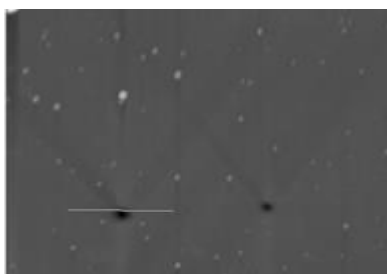


рис.1. 2D изображения полимера после эмиссии.

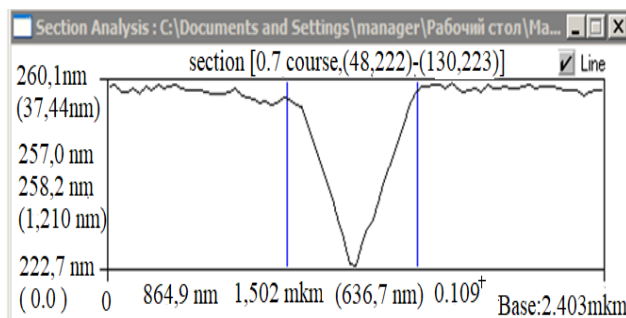


рис.2. Профиль поверхности вдоль измерительной линии, позволяющий определить геометрические размеры объектов.

Известно, что шероховатость поверхности кремния очень мала и можно ожидать, что эмиссионные свойства структуры кремний-полимер-вакуум будут определяться свойствами полимерной пленки. Для инициации эмиссии на поверхности полимерной пленки формировался положительный заряд, который служил вытягивающим электродом (эффект Малтера). Длительная (в течение нескольких часов) эмиссия электронов приводила к изменению свойств поверхности полимерной пленки (рис.1). Методами оптической и атомно-силовой микроскопии была исследована морфология поверхности полимера до и после наблюдения электронной эмиссии. Показано, что электроны эмиттируются не со всей поверхности полимера, а из отдельных центров субмикронных размеров (рис.2). Вопросы о роли подложки (полупроводник или металл), о структуре полимерной пленки до и после эмиссии, о механизме формирования эмиссионных центров являются предметом дискуссии и дальнейших исследований. Однако простота изготовления кремний-полимерного эмиттера, величина и стабильность эмиссионного тока таковы, что планарная структура кремний-полимер-вакуум может рассматриваться как перспективный источник электронной эмиссии.

Список публикаций:

- [1] Юмагузин Ю.М., Корнилов В.М., Лачинов А.Н. Энергетические распределения электронов в системе металл-полимер-вакуум [Текст] // ЖЭТФ.-2006.-Т (130)- №2.- С.303-308.
 [2] В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Б.А. Логинов, В.А. Беспалов, Эмиссионные свойства планарной структуры кремний-полимер-вакуум [Текст] / В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Б.А. Логинов, В.А. Беспалов // Журнал технической физики.-2009.-Т(79).-№5.

Термоэлектрические свойства сплавов $Cs_xCu_{2-x}S$ ($x=0.04, 0.075, 0.125$)

Нуриева Лиана Борисовна

Башкирский государственный университет

Балапанов Малик Хамитович, д.ф.-м.н.

nurieva.liana@bk.ru

Сульфид меди является важным полупроводником р-типа из-за его уникальных оптических и электрических свойств, в том числе других физических и химических свойств. В последние годы он интенсивно исследуется как перспективный термоэлектрический материал [1]. Возможности нанотехнологий позволяют изменять электрические свойства одного и того же вещества в зависимости от способа приготовления, размеров частиц и их формы, структурирования и других факторов в весьма широких пределах [2]. Однако, анализ публикаций за последние 10 лет показывает, что даже само по себе применение нанокристаллического порошка в объемных термоэлектрических материалах способно повысить основной параметр материала - термоэлектрическую эффективность на 20 - 30 %.

В данной работе были исследованы сплавы $Cs_xCu_{2-x}S$ ($x=0.04, 0.075, 0.125$), полученные реакцией необходимых количеств $CsCl$, $CuCl$ и девятиводного сульфида натрия в расплаве $NaOH$ и KOH при $165^\circ C$.

Согласно известной формуле (1), полученной впервые А.Ф. Иоффе, эффективность Z работы полупроводника в термоэлектрических устройствах определяется его тремя кинетическими параметрами:

$$Z = \alpha^2 \sigma / \chi \quad (1)$$

где α – коэффициент термо-э.д.с. (коэффициент Зеебека), σ – электрическая проводимость, χ – теплопроводность материала, T – рабочая температура. Чаще используется безразмерный параметр ZT (2), называемый термоэлектрической эффективностью:

$$ZT = \alpha^2 \sigma T / \chi \quad (2)$$

Для определения ZT были проведены измерения коэффициента термо-э.д.с., электропроводимости и теплопроводности сплавов. На рисунке 1 показаны измеренные значения термоэлектрической эффективности ZT сплавов в области температур 300 – 700 К.

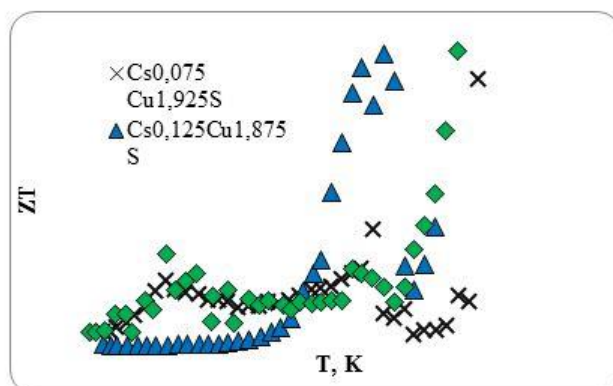


рис. 1. Температурные зависимости термоэлектрической эффективности ZT сплавов

В области фазовых переходов (550-650 К) наблюдаются высокие значения, значительно превышающие показатели ($ZT \approx 1$ при 300-400 К) сплава теллурида висмута $(Bi_{1-x}Sb_x)_2(Se_{1-y}Te_y)_3$, наиболее распространенного промышленно производимого термоэлектрика [1-3]. Кроме того можно отметить, что при малой степени легирования цезием в несколько раз увеличивается ZT по сравнению с чистым сульфидом меди вблизи 400 К. Рост ZT обусловлен повышением коэффициента термо-э.д.с. и снижением теплопроводности сплавов в результате легирования.

Список публикаций:

- [1] Pengfei Qiu, Xun Shi, Lidong Chen. Cu-based thermoelectric materials // *Energy Storage Materials*. 2016. V.3. P.85–97.
 [2] Дмитриев А.В. Звягин И.П. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов // УФН. – 2010. Т. 180, № 8. С. 821 – 838.
 [3] Z. H. Ge, B. P. Zhang et al. Synthesis and transport property of $Cu_{1.8}S$ as a promising thermoelectric compound, *Chem. Commun.* 2011. V.47. P. 12697.

Поведение частоты резонанса ультразвука многокомпонентной керамики при условиях стабилизации температуры

Османова Елена Вугаровна

Боркунов Валентин Алексеевич

Волгоградский государственный технический университет

Бурханов Анвер Идрисович д.ф.-м.н.

lenakulagina69@gmail.com

Известно, что пятикомпонентный состав керамики на основе цирконата-титаната свинца $(PbTiO_3-PbZrO_3-PbNb_{2/3}Zn_{1/3}O_3-PbW_{1/2}Mg_{1/2}O_3-PbW_{3/5}Li_{2/5}O_3+Yb_2O_3)$ является не только перспективным материалом для прикладных применений, но и актуальным с точки зрения исследований различного типа физических процессов в области температур структурных фазовых переходов.

Целью настоящей работы являлось исследование стабильности упругих свойств в области размытого структурного фазового перехода в данном составе керамического материала на основе цирконата-титаната свинца.

Керамика исследуемого состава получена методом горячего прессования в институте высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета. Образцы изготовлены в виде брусков длиной 15 мм и толщиной 2 мм (квадрат в сечении) с электродами на больших гранях. В качестве электродов использовалось воженное серебро.

Для оценки упругих характеристик материала использовался резонансный метод измерения скорости продольных звуковых волн, когда поляризованный образец зажимался в узле колебаний и возбуждался на собственных частотах продольных колебаний. Через зажимы подавалось возбуждающее поле в виде импульсов синусоидальных колебаний длительностью 6 мс. Скорость звука v определялась по формуле (1):

$$v = \frac{2 * f_r * l}{n} \quad (1)$$

где f_r – частота первого резонанса образца, l – длина образца, n – номер гармоники.

Учитывая, что скорость звука прямо пропорциональна частоте резонанса, а точность определения частоты резонанса определялась по частотомеру ЧЗ-64, то в работе оценивалось только поведение данного параметра (частоты), так как это напрямую указывало на изменение упругих свойств материала при постоянной температуре.

На (рис.1) представлены температурные зависимости частоты резонанса при различных температурах в поляризованной керамике.

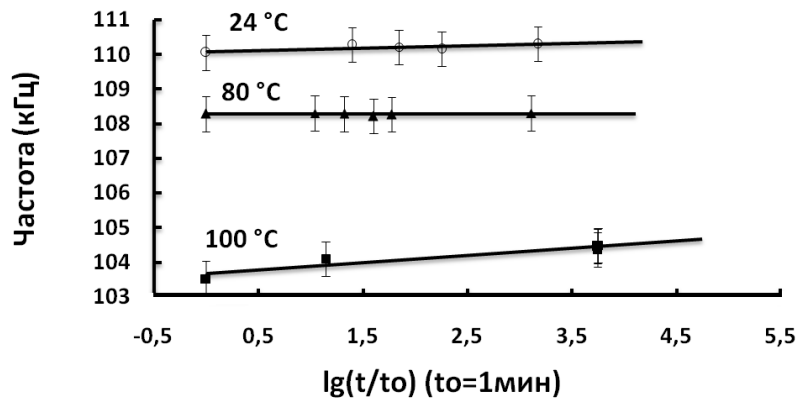


рис.1 Временная зависимость частоты резонанса при определенных температурах в многокомпонентной керамике

Как следует из хода зависимостей практически при всех температурах частоты резонанса не изменяются, или изменяются в пределах ошибки. Таким образом можно утверждать, что упругие свойства материала в диапазоне температур от $T=24$ °C до 100 °C не подвергаются фактору старения в отличие от диэлектрических параметров в системе цирконата-титаната свинца и других сегнетопьезокерамик.

Авторы выражают благодарность сотрудникам института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета за любезно предоставленные образцы испытываемой керамики.

Моделирование из первых принципов электронной структуры сегнетоэлектрического



Перевалов Тимофей Викторович

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

timson@isp.nsc.ru

Тонкие плёнки $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$ являются перспективными кандидаты для энергонезависимой сегнетоэлектрической памяти (Ferroelectric random-access memory, FRAM) [1]. Сегнетоэлектрический эффект этих плёнок связан со стабилизацией нецентросимметричной орторомбической фазы Pbc_{21} . Известно, что ключевым дефектом, определяющим электрофизические характеристики оксидных диэлектриков, являются вакансии кислорода. Было показано, что кислородные вакансии стабилизируют сегнетоэлектрические свойства плёнок HfO_2 . С другой стороны, было показано, что генерация дефектов (вакансий кислорода) в плёнках $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$ в результате многократного переключения ячейки приводит к разрушению сегнетоэлектрической фазы и, как следствие к деградации сегнетоэлектрических свойств [2]. Целью настоящей работы является изучение атомной и электронной структуры кислородных вакансий в $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$, а также их влияния на возможность фазового перехода от стабильной моноклинной фазы $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$ к орторомбической Pbc_{21} .

Надёжным методом изучения атомной и электронной структуры дефектов в твёрдых телах является квантово-химическое моделирование в рамках теории функционала плотности (ТФП). В настоящей работе моделирование проводится с использованием программного пакета Quantum ESPRESSO. Давления фазового перехода из стабильной моноклинной фазы $m\text{-Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$ в различные орторомбические фазы (oI - ($Pbca$), oII - ($Pnma$) и сегнетоэлектрическая of - (Pbc_{21})) рассчитывается, как минимум функции энтальпии системы от внешнего давления.

Для изучения влияния вакансий О на стабилизацию $of-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ рассчитаны фазовые диаграммы зависимости объёма элементарной ячейки от внешнего давления (рис. 1). Увеличение концентрации вакансий О приводит к тому, что диапазон давлений P , при которых структура $of-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ может существовать, сужается: структура претерпевает сильную трансформацию с изменением симметрии для 1 вакансии на 12 атомов при $P > 4$ ГПа, для 1 вакансии на 24 атома – при $P > 13$ ГПа, для вакансии на 36 атомов – при $P > 15$ ГПа. $m-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ оказывается ещё более чувствителен к величине внешнего давления: давления фазового перехода составляют 3, 8, 10, 13 ГПа в расчётах вакансий в суперячейках 12, 24, 36 и 48 атомов, соответственно.

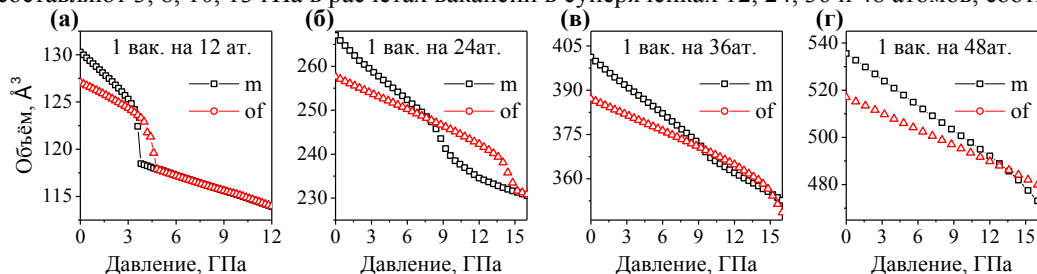


рис. 1. Зависимость объёма элементарных ячеек m - и $of-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ от величины внешнего давления.

Для любой концентрации вакансий О энтальпия of - фазы $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ не бывает меньше энтальпии m -, oI и oII фаз (рис. 2). Вакансии О положительно сказываются на стабилизации $oII-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$. Как и для бездефектных кристаллов, $of-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ является нестабильным для кристаллов с вакансиями кислорода при любой величине внешнего давления, при которой структура способна существовать. Таким образом, наличие вакансий О негативно сказывается на возможности стабилизации ферроэлектрической фазы. Данный результат согласуется с гипотезой, что деградация тестовых структур FRAM обусловлена генерацией вакансий О.

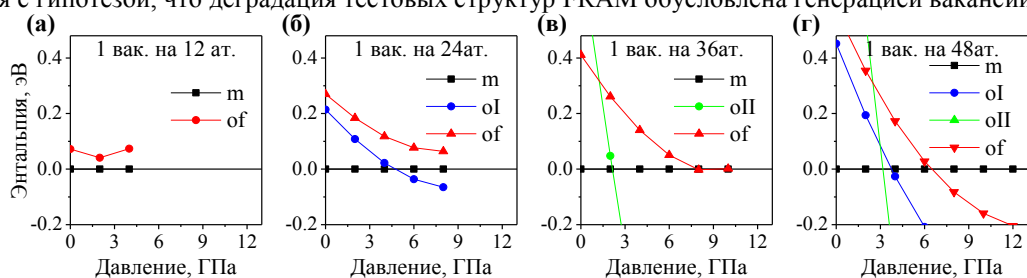


рис. 2. Энтальпия орторомбических фаз и $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ по отношению к энтальпии моноклинной фазы $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$, рассчитанная для кристаллов с различной концентрацией вакансий кислорода.

Список публикаций:

- [1] J. Müller, T.S. Böске, D. Bräuhaus, U. Schröder, U. Bötger, J. Sundqvist, P. Kücher, T. Mikolajick and L. Frey, *Appl. Phys. Lett.* 99, 112901 (2011).
 [2] F.P.G. Fengler, R. Nigon, P. Murali, E.D. Grimley, X. Sang, V. Sessi, R. Hentschel, J.M. LeBeau, T. Mikolajick and U. Schroeder, *Adv. Electron. Mater.* 4, 1700547 (2018).

Влияние ион-селективных примесей на спектры импеданса жидких кристаллов

Петрова Кристина Павловна

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Хазимуллин Максим Вильевич, к.ф.-м.н.

krispet98@gmail.com

Механизмы транспорта электрического заряда в органических соединениях являются предметом активного исследования современной физики конденсированного состояния. Жидкие кристаллы представляют собой органические жидкости с небольшой проводимостью, вызванной примесными ионами, содержание и свойства которых часто не известны. Метод импедансной спектроскопии позволяет получить количественные оценки параметров ионов (подвижность и концентрацию). Однако свойства положительных и отрицательных носителей зарядов стандартными средствами импеданс-спектроскопии различить не удастся. В данной работе для определения свойств ионов разного знака были выполнены измерения и анализ импеданс-спектров жидких кристаллов, допированных ион-селективными молекулами – макроциклическими полиэфирами (краун-эфирами), способными присоединять ионы определенного знака.

Спектры импеданса “чистого” и допированного жидкого кристалла МБА измерялись в плоскопараллельных ячейках с электродами, покрытых тонкой полимерной пленкой полиимида. Допирование

ЖК проводилось из раствора комплекса краун-эфира с неорганической солью NaCl (1:1) в хлороформе и этаноле. Концентрация краун-эфира (дибензо-18-краун-6 эфир) составляла 2 wt.%. Измерения спектров импеданса проводились с использованием потенциостата-измерителя импеданса Autolab (Metrohm B.V. Netherlands) по двухэлектродной схеме при напряжении 25 мВ в частотном диапазоне 10^{-3} - 10^5 Гц. Анализ спектров основывался на модели электродной поляризации. Сравнение результатов анализа чистого и допированного комплексом краун-эфира с NaCl жидкого кристалла позволило оценить концентрацию и коэффициенты диффузии положительных и отрицательных ионов.

Список публикаций:

[1] Лебедев Ю. А., Чувывров А. Н // Кристаллография. Москва. Изд-во Академия наук СССР. 1983. № 2. С.538.

Изучение фотопроводимости пленок полидифениленфталата

Рахматова Лилия Илфатовна

Юсупов Азат Равилевич, Киан Амин

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

rahmatova.liliya@mail.ru

Ранее было выявлено, что в пленках полидифениленфталата (ПДФ) наблюдается длительное послесвечение, которое объясняется в рамках представлений о электронных состояниях в запрещенной зоне полимера, которые могут участвовать в излучательной рекомбинации и процессе транспорта зарядов [1].

В данной работе проведены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) тонких пленок ПДФ при воздействии УФ-излучения (рис.1). Образцы представляли собой структуру полупроводник-диэлектрик-металл - ITO/ПДФ/Al, за основу была взята стеклянная подложка со слоем ITO. Диэлектрическая полимерная пленка наносилась методом центрифугирования, толщина которой контролировалась микроинтерферометром и составляла порядка ~150 нм. Металлический электрод формировался термодиффузионным напылением в вакууме.

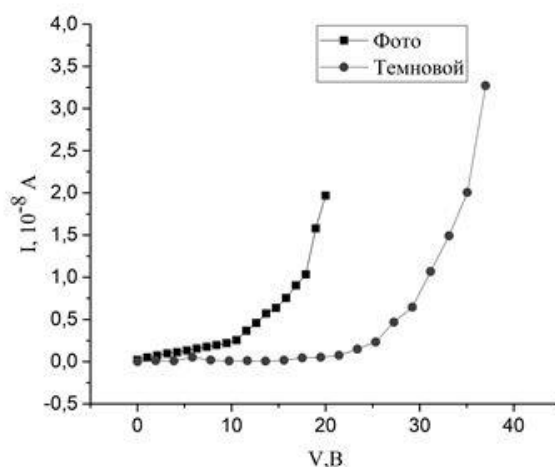


рис. 1. Экспериментальные вольт-амперные характеристики

Проведены оценки таких параметров, как подвижность носителей заряда и высота барьера по формулам (1) и (2):

$$\varphi = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{T^2 A}{j} \right) \quad (1)$$

где k - постоянная Больцмана, T - температура на образце, q -заряд электрона, j -плотность тока, A - постоянная Ричардсона

$$\mu = \frac{j \cdot L^3}{4,4 \cdot 10^{-14} \cdot \epsilon \cdot U^2} \quad (2)$$

где j -плотность тока, L - толщина пленки, ϵ - диэлектрической проницаемость, U - напряжение в образце.

За прямое включение приняты измерения, когда положительный потенциал на ITO и обратное включение – при положительном потенциале на Al. Результаты приведены в таблице:

Высота потенциального барьера, эВ				Подвижность носителей заряда, см ² /(В·с)			
Обратное включение		Прямое включение		Обратное включение		Прямое включение	
Темн.	Фото	Темн.	Фото	Темн.	Фото	Темн.	Фото
0,78	0,72	0,75	0,72	$1,96 \cdot 10^{-9}$	$4,5810^{-9}$	$1,1910^{-9}$	$1,8410^{-8}$
$\Delta\phi=0,06$		$\Delta\phi=0,03$		$\Delta\mu=2,6210^{-9}$		$\Delta\mu=1,7310^{-8}$	

Установлено, что УФ-облучение приводит к незначительному росту электропроводности и уменьшению высоты потенциального барьера на границе ГТО/ПДФ и ПДФ/Al. Обнаружена длительная релаксация проводимости к исходному значению после облучения.

В докладе обсуждаются полученные результаты и их интерпретация.

Список публикаций:

[1] Антипин В. А., Лачинов А. Н., Мамыкин Д.А., Ковалёв А. А., Остахов С. С., Шапошникова В. В., Салазкин С. Н., Казаков В. П. Рекомбинационная люминесценция пленок полиарилефталидов. II. Послесвечение, иницированное электровозбуждением пленок полиарилефталидов// Химия высоких энергий. 2010. т. 44, № 4. С. 345–347.

Электрические характеристики стекла при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии

Сагадатов Илмир Халитович

Башкирский государственный университет

Вальшин Алыс Мустафович

pro100ilmirsagadator@gmail.com

При напряженности электрического поля, превосходящей предел электрической прочности диэлектрика, наступает пробой. Пробой представляет собой процесс разрушения диэлектрика, в результате чего диэлектрик теряет электроизоляционные свойства в месте пробоя. Величину напряжения, при котором происходит пробой диэлектрика, называют пробивным напряжением, а соответствующее значение напряженности электрического поля называется электрической прочностью диэлектрика.

Пробой твердых диэлектриков представляет собой или чисто электрический процесс (электрическая форма пробоя), или тепловой процесс (тепловая форма пробоя). В основе электрического пробоя лежат явления, в результате которых в твердых диэлектриках имеет место лавинное возрастание электронного тока, подобно тому, как это наблюдается в процессе ударной ионизации в газообразных диэлектриках.

Тепловой пробой имеет место при повышенной проводимости твердых диэлектриков и больших диэлектрических потерях, а также при подогреве диэлектрика посторонними источниками тепла или при плохом теплоотводе. Процесс теплового пробоя твердого диэлектрика состоит в следующем. Вследствие неоднородности состава отдельные части объема диэлектрика обладают повышенной проводимостью. Они представляют собой тонкие каналы, проходящие через всю толщину диэлектрика. Вследствие повышенной плотности тока в одном из таких каналов будут выделяться значительные количества тепла. Это повлечет за собой еще большее нарастание тока вследствие резкого уменьшения сопротивления этого участка в диэлектрике. Процесс нарастания тепла будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет тепловое разрушение материала (расплавление, науглероживание) по всей его толщине - по ослабленному месту.

При пробое твердых диэлектриков часто наблюдаются случаи, когда до определенной температуры имеет место электрический пробой, а затем в связи с дополнительным нагревом диэлектрика наступает процесс теплового пробоя диэлектрика. Аналогичный переход электрической формы пробоя в тепловую происходит в зависимости от времени выдержки твердого диэлектрика под напряжением.

В данной работе осуществляется высокочастотный импульсно-периодический режим воздействия на стеклянную трубку с целью исследования электрических характеристик стекла на предмет пробоя и измерения электропроводности.

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы пробиваем стекло, на втором этапе проводится измерение электропроводности стекла.

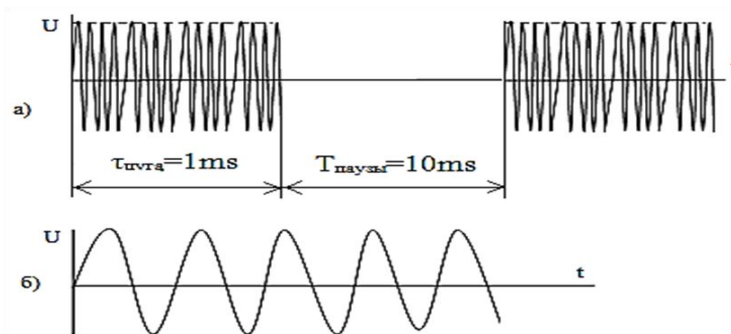


рис.1. Форма выходного сигнала ВЧ генератора

Также нами была проведена ВЧ емкостная безэлектродная накачка стандартных люминесцентных ламп на разных частотах. В качестве электродов используется алюминиевая фольга, намотанная на поверхность стекла. ВЧ накачка подаётся на эти электроды. После зажигания лампы ВЧ ток проходит через электроды(фольга), далее через стекло и через газовую смесь внутри трубки и замыкается через стекло со вторым электродом. Нами была измерена температура на поверхности стекла рядом с внешним электродом (фольгой). На рис.2 показана зависимость температуры стекла от частоты накачки. Видно, что с увеличением частоты накачки температура стекла уменьшается от 70 до 35 градусов.

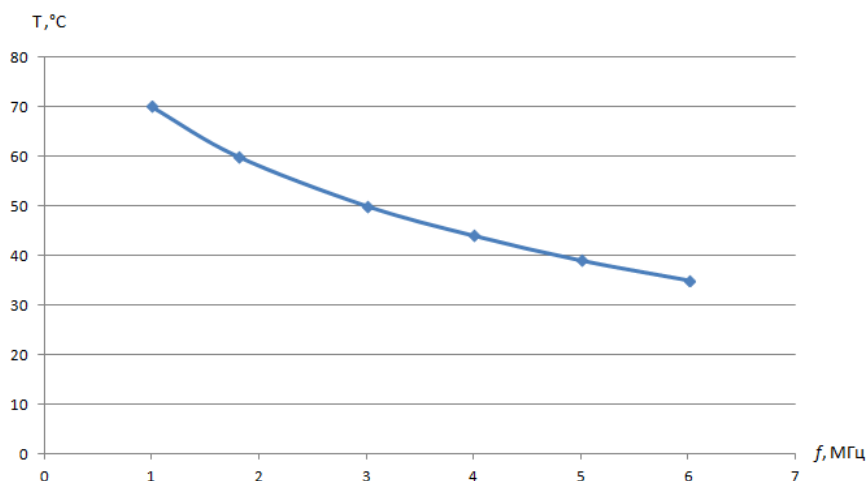


рис 2. График зависимости температуры стекла от частоты.

Также проведены измерения параметров пробоя и электропроводности различных стекол на разных частотах при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии.

Влияние упругой деформации металла на электропроводность полимерной пленки

Солодовников Роман Александрович

Башкирский государственный педагогический университет им. М Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

romosol2012@gmail.com

В докладе представлены результаты исследования влияния упругой деформации стали на транспортные свойства структуры металл/полимер/металл. Основным методом исследования являлся метод вольт-амперных характеристик (ВАХ).

В качестве деформируемого объекта был выбран сегмент стальной трубы. Деформация задавалась сближением концов дуги. Полимерные образцы изготавливались методом полива полимера на очищенную поверхность стальной детали. Измерения производились в 7 равноудалённых от верхней части дуги точках.

ВАХ измерялись с помощью регулируемого источника тока GwInstekPSM-6003 и вольтметра Agilent-34401A. Графики зависимости и значения тока и напряжения получались в программе LabView. Полученные данные были отображены в графиках зависимости тока от деформации детали.

На рис.1 представлены типичные ВАХ измеренные при разных величинах деформации.

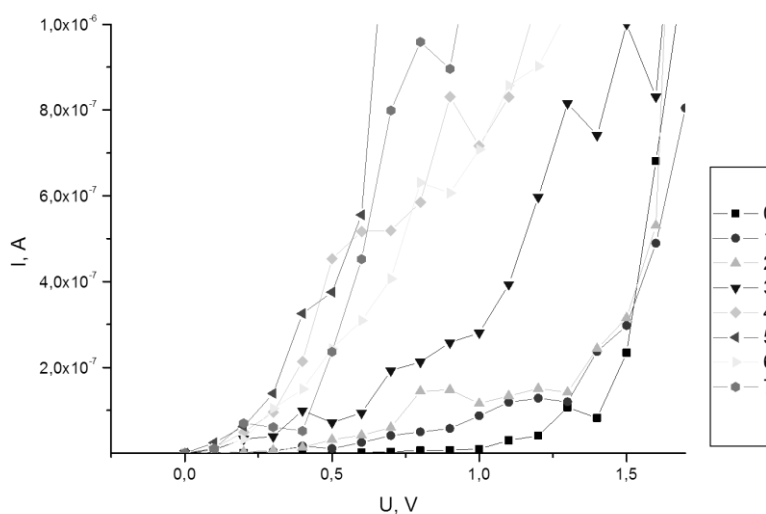


рис.1. График зависимости силы тока от напряжения.

ВАХ позволили оценить изменение параметров носителей заряда в полимерной пленке и высоты потенциального барьера. Подвижность носителей заряда и концентрация изменились с $1,8 * 10^{-11} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ до $4,71 * 10^{-8} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ и с $6,91 * 10^{23} \text{м}^{-3}$ до $6,64 * 10^{19} \text{м}^{-3}$ соответственно. Высота потенциального барьера уменьшалась на 0,25 эВ. При дальнейшем увеличении деформации можно было регистрировать переключения структуры в высокопроводящее состояние.

В ходе данной работы было установлено, что сила тока увеличивается при увеличении деформации детали, и сила тока тем выше, чем ближе датчик к месту деформации.

Дальнейшее исследование тонких полимерных плёнок позволит создать класс новых датчиков, которые способны выполнить широкий спектр задач.

Влияние состава атмосферы на вольт-амперные характеристики структуры металл/полиметилметакрилат

Султанов Руслан Ирекович

Башкирский государственный педагогический университет им. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, профессор, д.ф.-м.н.

Rquake@yandex.ru

В данном докладе обсуждаются результаты экспериментального изучения влияния состава атмосферы на вольт-амперные характеристики структуры металл/полимер, где в качестве полимера использовался полиметилметакрилат. До сих пор плёнки полимеров этого класса не исследовались в области нанометровых толщин, их электролитические свойства.

Работа выполнена с использованием ПММА, который представляет из себя несопряженный полимер с большим электрическим сопротивлением. Образец представляет и себя стеклянную подложку, на которую был нанесен хром методом термодиффузионного напыления в ВУП- 5М в местах контактных баз. Следующим слоем была нанесена медь в виде дорожек шириной 3 мм и в центре поперёк был обеспечен разрыв шириной 1 мкм. Далее наносится полимер 10;7;5 – ти процентные растворы методом центрифугирования, припаиваются индиевые электроды. Основным методом исследования являются вольт-амперные характеристики структуры металл/полиметилметакрилат, которые анализировались в рамках модели инжекционных токов. Проведены комплексные измерения на оборудовании GW Instek PSM-6003 - программируемый источник питания, Agilent 34401A - цифровой мультиметр.

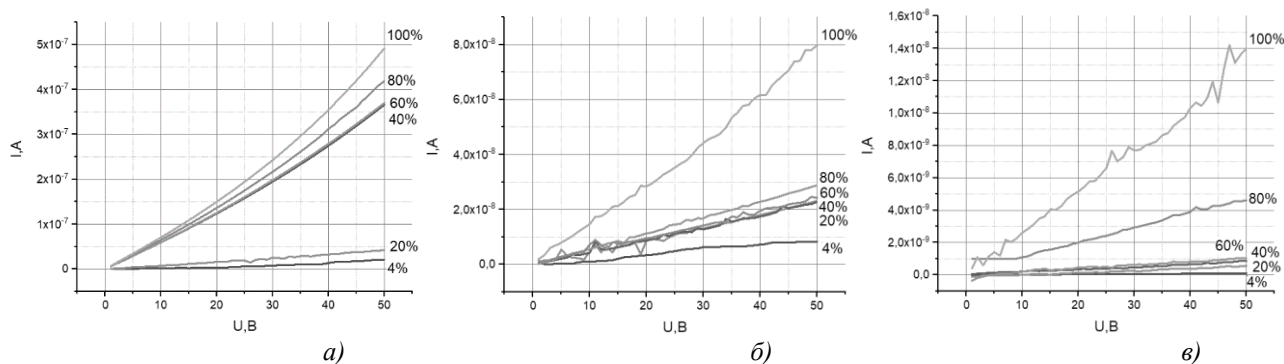


рис.1. Зависимость вольт-амперных характеристик структуры металл/полиметилметакрилат от концентрации и % влажности: а) 5% ПММА; б) 7% ПММА; в) 10% ПММА.

На (рис.1) приведены результаты исследования полиметилметакрилата в зависимости от влажности и концентрации. Анализ согласно инжекционной модели вольт-амперных характеристик показал, что высота потенциального барьера изменяется от 0,21 эВ до 0,45 эВ, была рассчитана по формуле (1). Оценка концентрации носителей заряда показала, что изменяется от $1.1 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$ до $1.6 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, была рассчитана по формуле (3) и подвижность носителей заряда изменяется от $4.0 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ до $2.1 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$, рассчитано по формуле (2).

$$\varphi_{Bn} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_s}\right), \quad (1)$$

где, A^* - эффективная постоянная Ричардсона, A - площадь протекания тока; T - температура, при котором проводился эксперимент, k -постоянная Больцмана, q - заряд электрона.

$$\mu = J \cdot L^3 / \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n^2, \quad (2)$$

где U_n - пороговое напряжение, соответствующее точке перехода, J - плотность тока, L - расстояние между электродами, ε -диэлектрическая проницаемость материала.

$$n_0 = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n / e \cdot L^2, \quad (3)$$

Установлено, что с увеличением толщины полимерных плёнок происходит уменьшение проводимости. Исследование высоты потенциального барьера показало, что при увеличении толщины возрастает потенциальный барьер. Исследовано влияние влажности на проводимость показало, что высоты потенциального барьера уменьшается, концентрация носителей заряда уменьшается, при этом подвижность носителей заряда возрастает.

Электронное переключение проводимости ультратонких плёнок полидифениленфталида Ялалов Ильсур Флюрович

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы
Карамов Данфис Данисович, к.ф.-м.н.
ilsur.yalalov@bk.ru

Известно, что на электрофизические свойства тонких плёнок, изготовленных из органических электроактивных материалов, существенную роль оказывает надмолекулярная структура сформированной пленки. В работе [1] представлена информация об изменении надмолекулярной организации плёнок полидифениленфталида (ПДФ) в зависимости от толщины плёнок и проявлении этих изменений в электрофизических свойствах тонких плёнок. ПДФ относится к «умным» полимерам, изменяющих свою проводимость из диэлектрического в высокопроводящее (ВПС) состояние под действием внешнего воздействия. Таким образом, исходя из [1], на характеристики электронного переключения должны влиять толщина и надмолекулярная структура субмикронных плёнок. Однако, целенаправленного исследования электронного переключения проводимости ультратонких плёнок полидифениленфталида в зависимости от толщины полимерной пленки не было проведено.

Для решения поставленной задачи была создана экспериментальная ячейка для исследования переключения полимерной пленки под воздействием ионного импульса. Исследуемый объект представлял собой вид типа острие-плоскость, в которой полимерная пленка располагалась между двумя электродами существенно разной геометрии. Для получения полимерных пленок различной толщины применена методика центрифугирования на твердой подложке. Были использованы растворы полимеров в циклогексаноне с концентрациями 0.1-10 вес. %, что позволяло существенным образом варьировать толщину пленки, так и надмолекулярно структуру. Нижний электрод формировался методом термического напыления в вакууме, верхний электрод был прижимным. Толщина полимерной пленки контролировалась с помощью атомно-силового микроскопа СММ-2000Т в контактной моде.

На рис.1(а) наглядно продемонстрировано зависимость минимальной энергии микроразряда, инициирующего ВПС в структуре металл/ полимер/острый зонд, от толщины полимерной пленки. Толщины пленок составляли 90, 220 и 360 нм. Из данного графика зависимости можем утверждать, что чем толще полимерная пленка, тем заряд с большей энергией необходимо инициировать, чтобы пленка перешла в ВПС. Также было выявлено, что образец после переключения в ВПС через некоторое время самопроизвольно переходит в исходное диэлектрическое состояние. Зависимость среднего времени жизни проводящего канала от толщины субмикронной пленки представлено на рис.1(б).

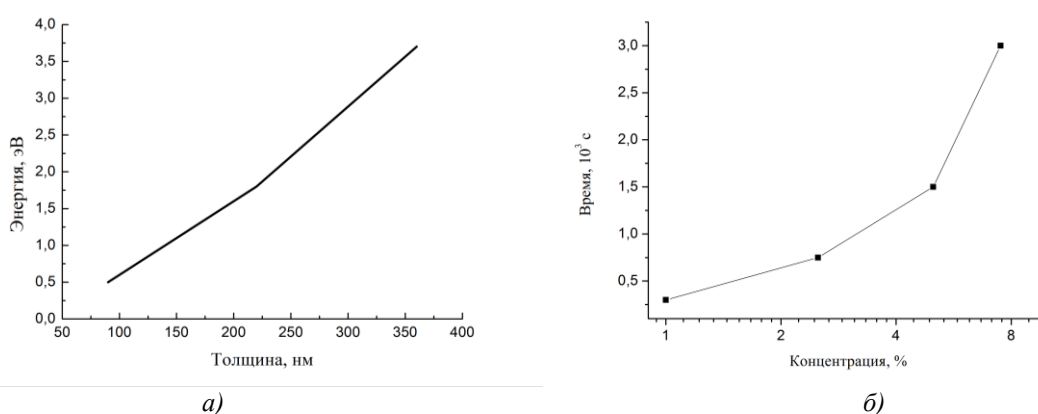


рис.1. График зависимости минимальной энергии микроразряда, необходимого для инициализации высокопроводящего состояния в структуре металл/полимер/зонд, от толщины полимерной пленки (а), зависимость среднего времени жизни проводящего канала от толщины субмикронной пленки. (б).

В докладе обсуждается модель, с привлечением механизма прыжкового переноса носителей заряда по каналам проводимости, сформированным из кулоновских центров локализации. В качестве таких центров, как в случае и двумерной проводимости, рассматриваются фталидные фрагменты макромолекул ПДФ.

Список публикаций:

[1] Карамов Д.Д., Лачинов А.Н., Корнилов В.М. // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т. 84. No.5. С. 652–654.

04 - Физика атомного ядра и элементарных частиц. Физика высоких энергий.

Белявский Сергей Владимирович, аспирант 1 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий

Оценка влияния нуклидного состава топлива на длительность топливной кампании реакторной установки КЛТ-40С

Нестеров Владимир Николаевич, к.т.н.

e-mail: svb28@tpu.ru

стр. 140

Ибадуллаев Дастан Алишерович, 6, инженер

Дубна, Государственный университет Дубна, инженерно-физический институт

Измерение зарядов остатков испарения в экспериментах по синтезу Ra и Th на новом газонаполненном сепараторе ядер отдачи DGFRS-2

Попеко Андрей Георгиевич, к.ф.-м.н.

e-mail: Dastan_96.com@mail.ru

стр. 141

Пономарев Арсений Владимирович, магистрант 1 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий

Трансмутация радиоактивных отходов в ускорителях заряженных частиц

Чертков Юрий Борисович, к.ф.-м.н.

e-mail: windmill2013@yandex.ru

стр. 142

Оценка влияния нуклидного состава топлива на длительность топливной кампании реакторной установки КЛТ-40С

Белявский Сергей Владимирович

Национальный исследовательский томский политехнический университет

Нестеров Владимир Николаевич, к.т.н.

svb28@tpu.ru

Российская Федерация характеризуется неравномерным заселением и уровнем экономического развития отдельных регионов. Обеспечение энергией отдаленных регионов осуществляется посредством автономных источников на органическом топливе. Однако доставка свежего топлива связана с существенными затратами, а эксплуатация данных источников ведет к серьезному экологическому ущербу окружающей среде. Один из выходов из данной ситуации – строительство ядерных энергоблоков малой мощности [1].

Цель данной работы заключается в анализе нейтронно-физических характеристик активной зоны (далее – АЗ) реакторной установки КЛТ-40С и определении топливной композиции, обеспечивающей максимальную длительность топливной кампании (период от загрузки свежего ядерного топлива до выгрузки отработавшего ядерного топлива из АЗ).

Основные характеристики, влияющие непосредственно на длительность кампании, – эффективный коэффициент размножения нейтронов ($k_{эфф}$) и коэффициент воспроизводства (КВ). Высокие значения этих параметров дают более длительную кампанию. Значение $k_{эфф}$ может быть увеличено посредством увеличения содержания делящегося изотопа в топливе (далее – обогащение). Однако этот же подход снижает значение КВ. Одновременный рост данных характеристик достигается за счёт замены делящегося и воспроизводящего материала.

На данном этапе была применена методика многогруппового расчёта. Она заключается в решении системы из 26 многогрупповых уравнений диффузии (1):

$$-D^i \cdot B_i^2 \cdot \Phi^i - \Sigma_a^i \cdot \Phi^i - \sum_{k=i+1}^I \Sigma_R^{i \rightarrow k} \cdot \Phi^k - \sum_{k=1}^{i-1} \Sigma_R^{k \rightarrow i} \cdot \Phi^k + \varepsilon^i \cdot \sum_{k=1}^I \nu_f^k \cdot \Sigma_f^k \cdot \Phi^k = 0 \quad (1)$$

где ν_f^i – среднее число нейтронов на акт деления в i -ой группе нейтронов; Σ_f^i – макроскопическое сечение деления для нейтронов i -ой группы, см^{-1} ; Σ_a^i – макроскопическое сечение поглощения для нейтронов i -ой группы, см^{-1} ; D^i – коэффициент диффузии нейтронов i -ой группы, см ; B_i^2 – геометрический параметр для нейтронов i -ой группы, см^{-2} ; i – номер рассматриваемой группы нейтронов, всего групп $I = 26$; k – номер группы нейтронов; Φ^i , Φ^k – плотности потоков нейтронов в группах i и k , $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$; $\Sigma_R^{i \rightarrow k}$, $\Sigma_R^{k \rightarrow i}$ – макроскопические сечения перехода нейтронов из i -ой в ниже лежащую k -ую и, соответственно, из выше лежащей k -ой в рассматриваемую i -ую группу, см^{-1} ; ε^i – вероятность для нейтрона деления попасть непосредственно в i -ую группу [2].

Мы рассмотрели четыре топливных композиции: $(\text{U}^{238} + \text{U}^{235})\text{O}_2$; $(\text{U}^{238} + \text{Pu}^{239})\text{O}_2$; $(\text{Th}^{232} + \text{U}^{235})\text{O}_2$; $(\text{Th}^{232} + \text{U}^{233})\text{O}_2$. Для каждой композиции обогащение составило 18,6%, а также каждая композиция диспергирована в силуминовой матрице (Al + 10%Si). Расчёт проводился для реактора при рабочей температуре. Также были учтены поправочные коэффициенты, учитывающие резонансную самоэкранировку для изотопов Th^{232} , U^{233} , U^{235} , U^{238} , Pu^{239} , Pu^{240} , Pu^{241} , а также коэффициенты, учитывающие поправку на температуру нейтронного газа для тепловой группы нейтронов (26 группа). Также применены g -факторы Весткотта для делящихся нуклидов (U^{235} , U^{233} , Pu^{239}).

Длительность топливной кампании рассчитывалась путем решения системы многогрупповых уравнений (1) итерационным способом с шагом по времени, равным 50 эффективным суткам. При расчёте учитывалось выгорание первичного делящегося нуклида и выгорание/наработка вторичных делящихся нуклидов (нуклиды, образующиеся при радиационном захвате ядром нейтронов). При каждом шаге подбиралась такая концентрация карбида бора B_4C (поглотитель нейтронов), которая обеспечивает работу реактора в критическом режиме ($k_{эфф} \approx 1,00001$) и компенсирует излишнюю реактивность. Кампания ядерного топлива заканчивается в тот момент, когда значение $k_{эфф}$ принимает значение ниже 1 при отсутствии поглотителя нейтронов.

Ниже (рис.1) представлена зависимость эффективного коэффициента размножения от времени. Сплошной линией обозначена зависимость для $(\text{U}^{238} + \text{U}^{235})\text{O}_2$. Длительность кампании составила 1.9 года, что совпадает с проектными значениями для данной реакторной установки. Линией из точек обозначена зависимость $(\text{U}^{238} + \text{Pu}^{239})\text{O}_2$. Длительность кампании составляет 1.25 года. Штрихпунктирная линия обозначает зависимость для $(\text{Th}^{232} + \text{U}^{235})\text{O}_2$. Длительность кампании составила 1.8 года. Пунктирная линия обозначает зависимость для $(\text{Th}^{232} + \text{U}^{233})\text{O}_2$. Длительность кампании составила 2.75 года.

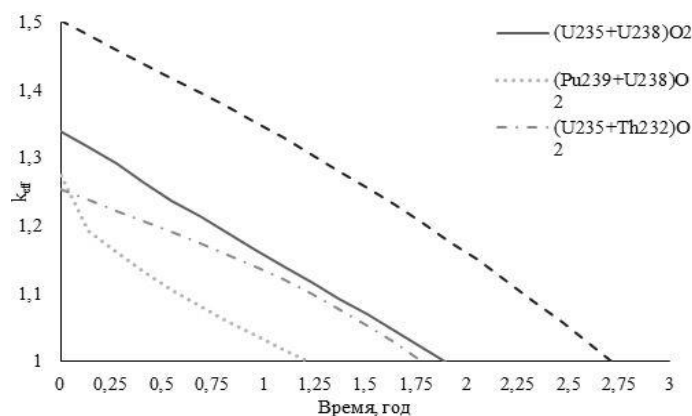


рис.1. Зависимость эффективного коэффициента размножения от времени для четырех топливных композиций.

Согласно результатам расчёта, смена делящегося изотопа с U^{235} на Pu^{239} снижает длительность топливной кампании на 36%. Смена воспроизводящего изотопа с U^{238} на Th^{232} незначительно снижает кампанию топлива на 7%. Смена и делящегося и воспроизводящего изотопа (композиция $(Th^{232}+U^{233})O_2$) продляет топливную кампанию на 30%, что является значительным приростом. Это показывает, что торий обладает лучшими воспроизводящими свойствами, чем уран на протяжении кампании ядерного топлива.

Полученные результаты позволяют вновь обратить внимание научного сообщества на преимущества ториевого ядерного цикла. В дальнейшем планируется проверить влияние диаметра ядерного топлива на длительность топливной кампании, а также произвести расчёт в прецизионных пакетах программ (MCU-PTR, MCNP и проч.).

Список публикаций:

- [1]. Саркисов А.А. Новое направление развития – ядерная энергетика малой мощности. //Атомная энергия. – 2011. – Т. 111. – № 5. – С. 243–245.
 [2] Beliavskii S. V. et al. Effect of fuel nuclide composition on the fuel lifetime of reactor KLT-40S //Nuclear Engineering and Design. – 2020. – Т. 360. – С. 110524.

Измерение зарядов остатков испарения в экспериментах по синтезу Ra и Th на новом газонаполненном сепараторе ядер отдачи DGFRS-2

Ибадуллаев Дастан Алишерович

Сагайдак Роман Николаевич, Утенков Владимир Климентьевич, Попеко Андрей Георгиевич

Лаборатория ядерных реакций, Объединённый институт ядерных исследований

Попеко Андрей Георгиевич, к.ф.-м.н.

Dastan_96.com@mail.ru

С 1998 года в Лаборатории Ядерных Реакций (ЛЯР) Объединённого Института Ядерных Исследований (ОИЯИ) на газонаполненном сепараторе (Dubna Gas-Filled Recoil Separator) проводятся эксперименты по синтезу сверхтяжёлых элементов (СТЭ) [1, 2]. В реакциях с $^{242, 244}Pu$ и $^{245, 248}Sm$ в серии экспериментов, проведенных в 1998 – 2005 годах, были открыты новые элементы периодической системы Менделеева с $Z = 114$ и $Z = 116$. Наиболее тяжёлый элемент ^{294}Og с $Z = 118$ был зарегистрирован в 2002, 2005, 2012 и 2015 годах.

Во всех этих экспериментах использовались пучки тяжёлых ионов ^{48}Ca , ускоренные на циклотроне U-400. Дальнейшее использование ионов кальция в качестве налетающего снаряда не позволяет синтезировать элементы тяжелее ^{294}Og , поскольку не существует достаточно стабильного мишенного материала. Для проведения дальнейших исследований СТЭ в ЛЯР ОИЯИ создали Фабрику СТЭ на базе нового ускорителя тяжёлых ионов DC-280, на котором проектная интенсивность пучка ионов составляет 10 рпА [3], что в свою очередь в 10 раз больше интенсивности, достигнутой на предыдущем ускорителе. Первой экспериментальной установкой Фабрики СТЭ является новый газонаполненный сепаратор DGFRS-II с конфигурацией магнитов QDQQD (Q – квадруполь, D – диполь). Основная особенность этой установки – высокая эффективность сбора синтезируемых сверхтяжёлых ядер, которая по расчетам в простой геометрии превышает 60% для мишеней толщиной до 0.5 мг/см², что в 2 раза выше достигнутой эффективности на предыдущем сепараторе DGFRS-I. Сепаратор спроектирован в ОИЯИ и произведен фирмой SIGMAPHI.

В 2019 году были проведены тестовые эксперименты по синтезу $^{214, 215}Ra$, $^{216, 217}Th$ для определения оптимальных параметров нового сепаратора DGFRS-II. В данной работе показаны некоторые результаты данного эксперимента. Вычислен заряд синтезированного ядра в середине обоих дипольных магнитов

сепаратора для каждой реакции, измерена дисперсия дипольных магнитов, вычислена потеря энергии пучка тяжёлых ионов и остатка испарения при прохождении через сепаратор.

Список публикаций:

[1] Yu. Ts. Oganessian and V. K. Utyonkov, *Rep. Prog. Phys.* 78, 036301 (2015).

[2] Yu. Ts. Oganessian and V. K. Utyonkov, *Nucl. Phys. A* 944, 62 (2015).

[3] G. G. Gulbekian, S. N. Dmitriev, Yu. Ts. Oganessian, B. N. Gikal, I. V. Kalagin, S. L. Bogomolov, I. A. Ivanenko, N. Yu. Kazarinov, "Status of the DC-280 cyclotron project," in *Proceedings of the 21st International Conference on Cyclotrons and their Applications, Zurich, Switzerland, pp. 278–280 (2016)*

Трансмутация радиоактивных отходов в ускорителях заряженных частиц

Пономарев Арсений Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Чертков Юрий Борисович, к.ф.-м.н.

windmill2013@yandex.ru

Основная идея ускорителей состоит в следующем: урановая (ториевая, плутониевая и т. п.) мишень облучается пучком сильно разогнанных протонов. Сталкиваясь с ядром мишени, протон выбивает из него несколько очень быстрых протонов и нейтронов, которые в свою очередь выбивают частицы из других ядер урана. Образуется каскад, лавина постепенно замедляющихся частиц. Замедлившиеся частицы уже не расщепляют ядра, а захватываются ими, превращая уран в плутоний, который интенсивно делится, выделяя большое количество тепла и испуская много новых нейтронов. Выход тепла может в сотню и более раз превосходить затраты энергии на ускорение первичных протонов.

Очень важно, что в отличие от обычного атомного реактора в такой «электроядерной системе» нет самоподдерживающейся цепной реакции. Все зависит от «подсветки» ускорителя – выключается ток и процесс немедленно прекращается. Никакой опасности взрыва. Более того, если к урановой, ториевой или плутониевой мишени примешаны другие ядра, например, осколки деления, то расчет и выполненные эксперименты показывают, что под действием интенсивного потока нейтронов они превращаются в стабильные ядра или в изотопы с более коротким временем жизни.

Например, радиоактивный изотоп технеция Tc^{99} , в больших количествах образующийся в реакторах АЭС (его мировая наработка составляет 6 т/год), поглотив нейтрон, превращается в стабильный изотоп рутения. Долгоживущие трансураны, захватывая нейтрон, распадаются на более легкие ядра с меньшим временем жизни. Происходит трансмутация – пережигание ядерных отходов.

Схематично электроядерная установка выглядит следующим образом (рис.1).

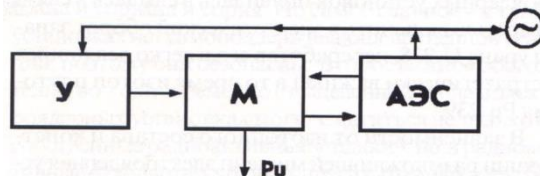


рис.1. Принципиальная схема электроядерной установки

Ускоритель (У) бомбардирует пучком протонов мишень-реактор (М). Горячий теплоноситель питает парогенераторы АЭС и, охлажденный, возвращается к мишени. Вырабатываемая энергия питает ускоритель и подается в сеть. Нарбатываемый в мишени плутоний и образующиеся там радиоактивные отходы в зависимости от типа установки выгружаются, либо пережигаются в самой мишени. В мишень периодически добавляется новая порция урана, а через определенное количество лет из нее удаляются накопившиеся стабильные и очень быстро распадающиеся ядра. Последние экономичнее не перерабатывать в мишени, а подождать их распада в простом и дешевом «могильнике».

Электроядерная мишень-реактор мало отличается от реакторов АЭС. Различие состоит лишь в дополнительной центральной вставке, которую бомбардирует пучок протонов. В ней выделяется очень много тепла за счет ионизационных процессов и она должна быть изготовлена из плавящегося под действием протонов металла, лучше всего из свинца. В качестве теплоносителя тоже должен быть использован жидкий металл – использующийся для охлаждения реакторов АЭС натрий или более безопасная в эксплуатации и слабо поглощающая нейтроны смесь свинца с висмутом. Такой теплоноситель используется на атомных подводных лодках.

Список публикаций:

[1] Скачек М.А. *Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС* / М.А. Скачек. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.

[2] Курындина А.В. *О транспортировании отработавшего ядерного топлива реакторов типа ВВЭР* / А.В. Курындина, А.А. Строганов, Л.А. Курындина // *Ядерная и радиационная безопасность*. – 2009. – № 2. – С. 16-23.

[3] В.С. Барашенков, «Электроядерная технология трансмутации радиоактивных отходов и производства тепловой и электрической энергии». *Георесурсы* – 2000, С. 44-46.

05 - Электрофизика, электрофизические установки. Физика плазмы, плазменные технологии

Васильева Юлия Захаровна, аспирант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, электроэнергетики и электротехники

Оценка энергетических параметров при плазмохимическом синтезе в системе С-N

Пак Александр Яковлевич, к.т.н.

e-mail: v19z@mail.ru стр. 145

Ефимов Михаил Александрович, магистрант 2 года обучения, инженер
Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, Институт лазерной физики, физико-технический

Лабораторное моделирование взаимодействующих встречных потоков плазмы в магнитном поле диполя

Шайхисламов Илдар Фаритович, д.ф.-м.н.

e-mail: mikle3496@gmail.com стр. 146

Ломов Константин Андреевич, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Локальные магнитные измерения в винтовой магнитной ловушке СМОЛА

Судников Антон Вячеславович, к.ф.-м.н.

e-mail: k.lomov@g.nsu.ru стр. 147

Лосев Тимофей Сергеевич, 3 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический институт

Измерение распределения заряда по поверхности барабана коронного сепаратора с импульсным генератором напряжения

Тимофей Сергеевич Лосев, к.т.н.

e-mail: tlosev2014@gmail.com стр. 148

Нигаматова Ляйсан Наилевна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт

Экспериментальное измерение индуктивности плазмы лампы-вспышки для накачки твердотельного лазера

Вальшин Алыс Мустафович, к.ф.-м.н.

e-mail: nigamatovalajsan@gmail.com стр. 150

Петренко Евгений Владимирович, аспирант 3 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, отделение материаловедения

Формирование многоканального пробоя в электроразрядных технологиях бурения

Юдин Артем Сергеевич, к.т.н.

e-mail: evgenius293@mail.ru стр. 151

Пчелинцев Виталий Витальевич, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт

Спектральные характеристики плазмы при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии

Вальшин Алыс Мустафович, к.ф.-м.н.

e-mail: vitalya.pchelincev@gmail.com стр. 153

Фролова Валерия Петровна, м.н.с.
Томск, Институт сильноточной электроники СО РАН

Изотопический эффект при высокодозной имплантации ионов бора в поверхность кремния

e-mail: Frolova_Valeria_90@mail.ru стр. 154

Фролова Валерия Петровна, м.н.с.
Томск, Институт сильноточной электроники СО РАН

Имплантация многозарядными ионами висмута поверхности молибдена

e-mail: Frolova_Valeria_90@mail.ru стр. 156

Хусаинова Юлия Альбертовна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Высокочастотная импульсно-периодическая накачка газоразрядных ламп низкого давления в газе на Ne
Вальшин Алыс Мустафович, к.ф.-м.н.
e-mail: yuliya.husainova25@mail.ru стр. 157

Чепусов Александр Сергеевич, н.с.
Екатеринбург, Институт электрофизики УрО РАН
Источник импульсов высокого напряжения для исследования автоэмиссионных процессов в импульсно-периодическом режиме
e-mail: chepusov@iep.uran.ru стр. 158

Оценка энергетических параметров при плазмохимическом синтезе в системе С-N

Васильева Юлия Захаровна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Пак Александр Яковлевич

yzv1@tpu.ru

Контролируемый синтез ультрадисперсных материалов с заданными свойствами имеет важное значение для науки и техники [1]. При плазмохимическом синтезе применяют электродуговые реакторы различного типа: раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного [2]. Одним из главных достоинств таких реакторов является их высокая производительность, определяемая высокой скоростью протекания в них химических процессов. Для обеспечения заданных характеристик получаемого продукта необходимо контролировать параметры системы в процессе синтеза. Данная работа посвящена оценке энергетических параметров при плазмохимическом синтезе в системе углерод-азот.

Исследования проводились на лабораторном плазмохимическом реакторе постоянного тока совмещенного типа, основными элементами которого являются графитовые анод и катод. Исходная порошковая смесь, состоявшая из предварительно измельченных порошков графита и меламин, помещалась в полость катода. Изменения тока в разрядном контуре и напряжения на электродах фиксировались с помощью цифрового двухканального осциллографа непосредственно в процессе синтеза. На основании полученных данных был проведен анализ количества подведенной к системе энергии, фактического времени синтеза, а также изменения мощности.

Согласно зарегистрированным осциллограммам напряжения и тока, в начальный момент времени напряжение на электродах равно напряжению холостого хода источника питания и составляет $U_{\text{ХХ}}=60$ В, ток в разрядном контуре равен нулю. Затем в момент инициирования разряда путем кратковременного соприкосновения электродов, значение тока мгновенно увеличивается до своего максимального значения $I_{\text{max}}=156$ А, т.е. в разрядном контуре начинает протекать ток. В это же время наблюдается резкое падение напряжения до своего минимального значения $U_{\text{min}}=6,2$ В. Далее в момент времени $t=0,6$ с анод автоматически перемещается на величину $\sim 0,5$ мм от дна катода для формирования разрядного промежутка и поддержания стабильного горения разряда. После чего значения тока и напряжения стабилизируются до величин $I_{\text{cp}}=135$ А и $U_{\text{cp}}=33$ В. Окончание горения разряда происходит в момент времени $t=4,65$ с после отвода анода на достаточное от катода расстояние (~ 15 см). В этот момент напряжение восстанавливается до начального значения $U_{\text{ХХ}}=60$ В, тогда как значение тока опускается до нуля.

Расчет мощности (1) и энергии (2) производился по следующим формулам:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t), \quad (1)$$

где, $i(t)$ и $u(t)$ – ток и напряжение в момент времени t .

$$w = \int p(t) \cdot dt, \quad (2)$$

где, $p(t)$ – мощность в момент времени t .

Расчетные данные показывают, что за время инициирования разряда мощность успевает выйти на среднюю величину в $P_{\text{cp}}=1,85$ кВт, затем после установления разрядного промежутка среднее значение мощности составляет $P_{\text{cp}}=3,46$ кВт. Мощность в свою очередь обеспечивает выделение энергии в системе, равное $W=16,13$ кДж за 4,65 с. При этом удельный расход энергии составил 30 кДж/г продукта.

Таким образом, в данной работе выполнен анализ энергетических параметров системы при плазмохимическом синтезе в системе углерод-азот.

Список публикаций:

[1] Ma X., Li L., Zeng Z., et al. // *Chemical Engineering Journal*. 2019. V. 363. P. 49–56.

[2] Михайлов Б.И. // *Теплофизика и аэромеханика*. 2010. Т. 17, № 3. С. 425–440.

Лабораторное моделирование взаимодействующих встречных потоков плазмы в магнитном поле диполя

Ефимов Михаил Александрович^{1,2}

Шайхисламов Илдар Фаритович², Посух Виталий Георгиевич², Березуцкий Артём Григорьевич²,
Чибранов Алексей Алексеевич^{1,2}, Руменских Марина Сергеевна², Захаров Юрий Петрович²,
Бояринцев Эдуард Леонидович², Мирошниченко Илья Борисович²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт лазерной физики СО РАН

Шайхисламов Илдар Фаритович

mikle3496@gmail.com

В лабораторном эксперименте с целью исследования процессов, которые могут протекать в магнитосфере горячих экзопланет, моделируется взаимодействие лазерной плазмы с фоновыми плазменными потоками в магнитном поле диполя [1-2]. Величина момента магнитного диполя равна $5 \cdot 10^5 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3$, основная компонента дипольного поля – Н. Положительный сигнал Н-компоненты магнитного зонда соответствует усилению поля диполя и свидетельствует о формировании магнитосферы.

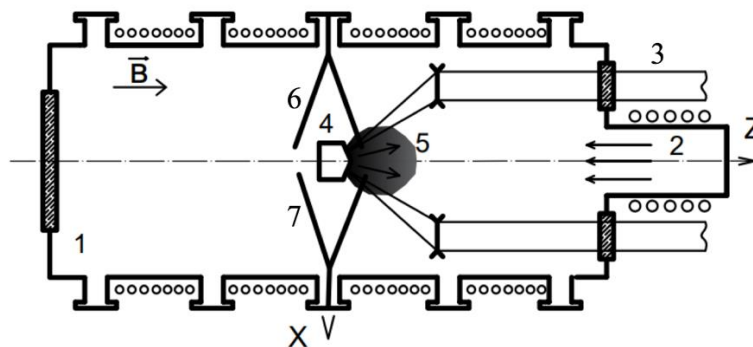


рис. 1. Общая схема эксперимента. 1 – вакуумная камера ($2 \cdot 10^{-6}$ Торр); 2 – источник фоновой плазмы; 3 – излучение CO_2 лазера (300 Дж); 4 – диполь вместе с мишенями (C_2H_4); 5 – поток лазерной плазмы; 6, 7 – магнитные зонды и зонды Ленгмюра.

В данном эксперименте магнитосфера вокруг магнитного диполя сформирована потоком плазмы сгенерированного тета-пинчем. Лазерное излучение фокусируется на пару мишеней расположенных на корпусе диполя, так как генерируемая лазерная плазма достаточно энергична, то она прорывает через дипольное магнитное поле и пролетает через фоновую плазму на большие расстояния, при этом увлекая за собой магнитное поле диполя, унося его далеко за пределы магнитосферы.

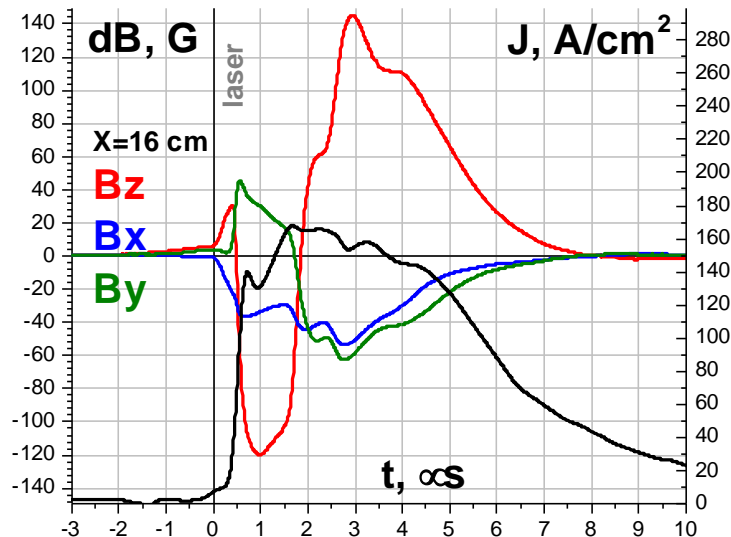


рис. 2. Осциллограммы различных компонент магнитного поля (цветные кривые) и потока плазмы, измеренные при взаимодействии магнитного диполя с лазерной плазмой. Лазерная плазма создавалась в нулевой момент времени на мишени, расположенной на расстоянии 3 см от центра диполя.

В данной работе большое внимание уделялось физическим процессам, благодаря которым лазерная плазма увлекает за собой магнитное поле. Анализ магнитных сигналов получаемых с зондов, устанавливаемых

на расстояниях 5-25 см от центра диполя, показал, что поток фоновой плазмы формирует вокруг диполя магнитосферу масштабом ~ 20 см. Пролет лазерной плазмы через эту магнитосферу показывает необычные магнитные возмущения. Также было проверено что электрические и магнитные зонды, установленные на расстоянии 60 см от диполя, показывают тот же эффект приноса потоком лазерной плазмы замороженного дипольного поля как и в предыдущих экспериментах [3-4]. Одной из обнаруженных особенностей является значительная генерация компоненты, перпендикулярной исходному дипольному полю, а также направлению потока плазмы. Предварительный вывод проведённого эксперимента говорит о том, что это вероятно связано с проявлением Холловских или двухжидкостных эффектов, на масштабе ионно-плазменной длины (при меньшей концентрации), когда электроны и ионы могут двигаться по существенно разным линиям тока.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 18-12-00080, проектов РФФИ 18-29-21018 и 19-02-00993, а также в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А17-117021750017-0).

Список публикаций:

- [1] Antonov V. M., et al. // *The Astrophysical Journal* 2013. V. 769. P. 28
 [2] Khodachenko M. L., et al. // *The Astrophysical Journal* 2015. V. 813. P. 50
 [3] Shaikhislamov I. F. et al. // *Plasma Physics Reports*. 2015. V. 41. PP. 399-407.
 [4] Shaikhislamov I. F. et al. // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. 2016. V. 58. P. 115002.

Локальные магнитные измерения в винтовой магнитной ловушке СМОЛА

Ломов Константин Андреевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Судников Антон Вячеславович, к.ф.-м.н.

k.lomov@g.nsu.ru

Одной из новейших идей по улучшению параметров удержания плазмы в открытых магнитных ловушках является концепция подавления продольных потерь из ловушки за счёт динамического многопробочного удержания винтовыми пробками с управляемым вращением плазмы [1]. Для экспериментальной проверки этой концепции в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН была создана установка СМОЛА (рис. 1а), состоящая из входного расширителя с источником плазмы, транспортной секции с прямым и винтовым соленоидами и выходного расширителя с радиально сегментированным плазмодриёмником [2]. Основные параметры установки: плотность плазмы $n_i \sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$, электронная температура плазмы $T_e \sim 5$ эВ, ведущее магнитное поле в винтовой секции $B_{max} = 0,1 - 0,3$ Тл, радиальное электрическое поле до $E_r \sim 100$ В/см, радиус плазмы $r \sim 5$ см, средняя по сечению глубина перепада магнитного поля вдоль силовой линии $R_{mean} = 1,5 - 2$. В ходе первой серии экспериментов на СМОЛА были подтверждены основные предположения концепции: подавление аксиального потока плазмы и пинч-эффект в плазменном шнуре [3].

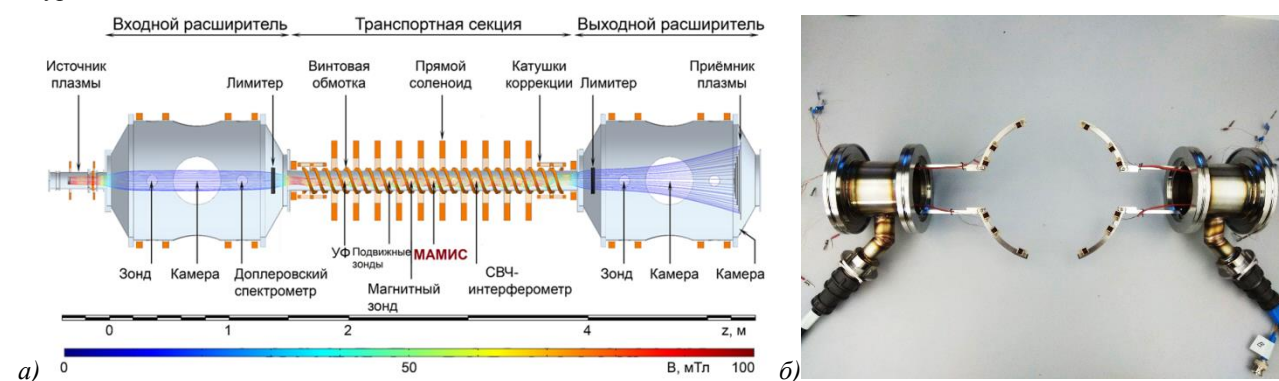


рис. 1. а) Схема установки СМОЛА. б) Фотография многоканальной азимутальной магнитной измерительной системы перед монтажом в установку.

При исследовании структуры магнитного поля в транспортной секции установки одиночными магнитными зондами было обнаружено возмущение азимутальной компоненты поля на частоте около 20 кГц. При включении винтового соленоида частота возмущения возрастает приблизительно в 1,2 раза. Для более подробного изучения наблюдаемого эффекта разработана многоканальная азимутальная магнитная измерительная система из 12 магнитных зондов внутри вакуумной камеры (катушки длиной 5 мм и диаметром 5 мм), распределённых по азимутальной координате и отстоящих на 70 мм от оси установки (рис. 1б).

Теоретический расчёт параметров катушки [4] показал, что 100-витковая катушка с указанными геометрическими параметрами и разрядность используемого АЦП позволят детектировать на частоте 20 кГц возмущения магнитного поля амплитудой от 1 мкТл, а собственная резонансная частота системы составит более 1 МГц. Тогда можно пренебречь паразитной ёмкостью системы и использовать для пересчёта напряжения на АЦП $U(t)$ в величину магнитного поля в катушке $B(t)$ выражение

$$B(t) = B(0) + \frac{1}{S_{эфф}} \left[\frac{L_p}{z_0} (U(t) - U(0)) + \left(1 + \frac{R_p}{z_0} \right) \int_0^t U(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где $S_{эфф}$ – эффективная площадь, L_p – собственная индуктивность, R_p – активное сопротивление катушки, $Z_0 = 51$ Ом – входное сопротивление АЦП (согласовано с волновым сопротивлением соединительного кабеля).

Для калибровки катушек использовался стенд (рис. 2а) из конденсатора МБВГ 500 В, $C = 160$ мкФ (1), катушек Гельмгольца из 2х30 витков, $R_H = 8$ см (2), эталонной катушки из 10 витков, $R_C = 8$ см (3), измерителя тока HASS 300-S (4), калибруемой измерительной катушки (5). При разрядке конденсатора в центре катушек Гельмгольца создаётся импульсное магнитное поле с высокой степенью однородности. Величина магнитного поля пересчитывается из показаний АЦП по формуле (1) для эталонной катушки с известной эффективной площадью и для калибруемой катушки (значения индуктивности и активного сопротивления катушек определяются с помощью измерителя иммитанса). Совпадение сигналов достигается подбором значения $S_{эфф}$ для калибруемой катушки (рис. 2б). В результате калибровки было получено значение эффективной площади катушек $S_{эфф} \sim 25$ см² с относительной погрешностью менее 1%. После калибровки измерительная система была установлена в центральную секцию СМОЛА.

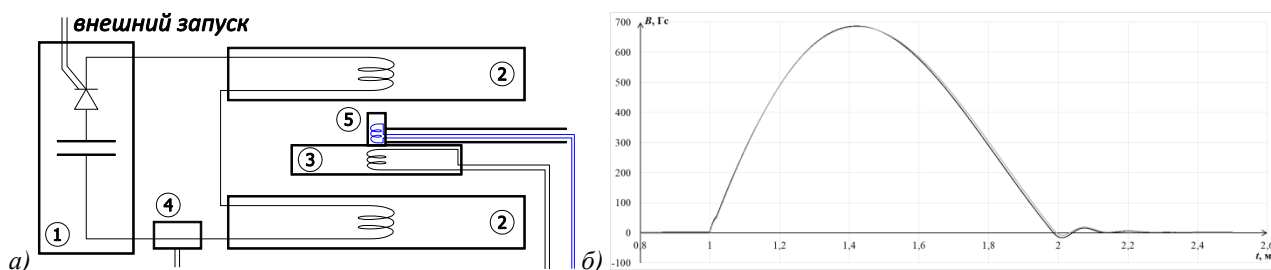


рис. 2. а) Схема калибровочного стенда. б) Пример пересчёта показаний АЦП в индукцию магнитного поля: серая линия – по эталонной катушке; чёрная линия – по измерительной катушке. Совпадение показаний достигнуто подбором $S_{эфф}$.

По значениям азимутального магнитного поля в 12 координатах восстанавливается азимутальная структура возмущения продольного тока в установке до 5 моды включительно. Для исследования возмущений применяется оконное преобразование Фурье и сингулярное разложение. В докладе представлены математические методы интерпретации сигнала магнитной измерительной системы и результаты исследования пространственной структуры тока в плазменном шнуре установки.

Список публикаций:

- [1] A. D. Beklemishev // *Fusion Sci. Technol.* 63 (1T) (2013) 355–357.
- [2] A. V. Sudnikov et al. // *Fusion Engineering and Design.* 122, 85 (2017).
- [3] A. V. Sudnikov et al. // *Plasma and Fusion Res.* 14, 2402023 (2019).
- [4] M. J. Hole et al. // *Rev. Sci. Instrum.* 80, 123507 (2009).

Измерение распределения заряда по поверхности барабана коронного сепаратора с импульсным генератором напряжения

Лосев Тимофей Сергеевич

Матусевич Леонид Петрович

Уральский федеральный университет

Чепусов Александр Сергеевич, к.т.н.

tslosev@urfu.ru

Коронные барабанные сепараторы применяются для обогащения измельченной породы. При прохождении через сепаратор происходит разделение проводящей и непроводящей фракций. Одним из преимуществ коронных барабанных сепараторов является то, что разделение материалов происходит на разных сторонах барабана, что способствует более эффективной сепарации [1]. Но устройства с постоянным

источником напряжения обладают низкой производительностью: эффективность переноса заряда зависит от напряжения на коронирующем электроде (КЭ), а электрическая прочность воздушного промежутка «электрод-барабан» существенно ограничивает этот параметр. Использование генераторов наносекундных импульсов напряжения позволяет увеличить рабочее напряжение, повысить эффективность переноса заряда на породе и увеличить производительность устройства. Одним из направлений исследований параметров импульсного коронного сепаратора является влияние формы КЭ на его характеристики.

Для определения оптимальной формы коронирующего электрода, проведены измерения распределения заряда, попадающего на барабан, по его поверхности. Измерения проводились для катодов различной формы (рис. 1): форма рамки и спирали (рис. 1а, в) предназначена для создания равномерного электрического поля, охватывающего максимальную рабочую зону, прямая проволока (рис. 1б) – классическая форма КЭ. Для получения сигнала и последующего вычисления заряда по барабану использован датчик, роль которого выполняет прямоугольная медная пластина размером 15x1 см на текстолитовой подложке. Экспериментальные результаты получены для углов положения датчика в диапазоне от -60° до 90° с шагом 5° (рис. 2).

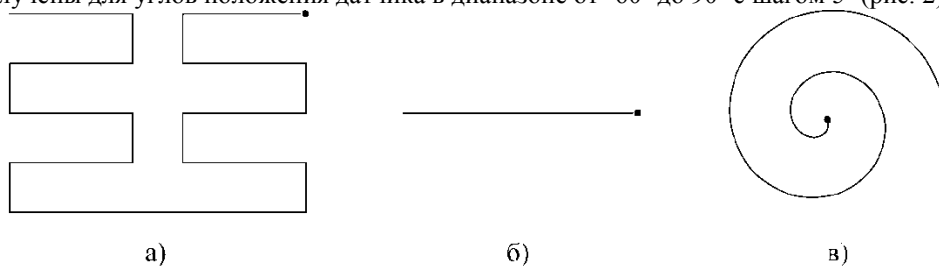


рис. 1. Формы коронирующего электрода: а - рамка, б – прямая проволока, в – спираль. Черные точки отмечают место подключения к источнику напряжения

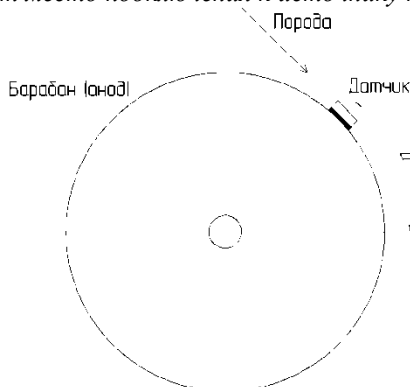


рис. 2. Схема размещения датчика. а - угол положения датчика

Когда заряды попадают на датчик, они накапливаются на конденсаторе, подключенному последовательно к нему. Это приводит к изменению напряжения на конденсаторе. Так как заряд на конденсаторе есть функция напряжения, то можно установить количество заряда, прошедшего через датчик.

Получаемые длительность, амплитуда и форма импульса меняются от разряда к разряду, поэтому в качестве окончательного сигнала принят усредненный по выборке из 16 импульсов с частотой 1 Гц. Такой подход позволяет получить достоверный результат при высокой скорости проведения измерений.

В качестве длительности импульса использовано время между двумя точками, соответствующими 5% от максимального значения напряжения. В основе обработки экспериментальных данных лежит теорема о среднем: полученный сигнал интегрируется по времени и делится на длительность импульса. Таким образом осуществляется переход к эквивалентному постоянному заряду.

При проведении измерений на катодах прямой и спиральной форм осциллограф был подключен к конденсатору через резистивный делитель напряжения с коэффициентом деления 4.6, так как амплитуда получаемого импульса превышала предел измерения осциллографа.

Результаты проведенных исследований приведены на рис. 3. По результатам обработки экспериментальных данных можно сделать вывод, что различные КЭ дают разные распределения заряда. Распределение для формы «рамка» (рис. 3а) имеет широкий спектр с 2 выраженными максимумами. «Прямая» и «спираль» дают узкий спектр с высокой интенсивностью и максимумом в области 50 и 35 градусов соответственно. Наиболее подходящей формой КЭ для электросепарации является «рамка», так как электрическое поле наиболее однородно. Дальнейший план работ включает изучение влияния КЭ на эффективность и режим работы сепаратора.

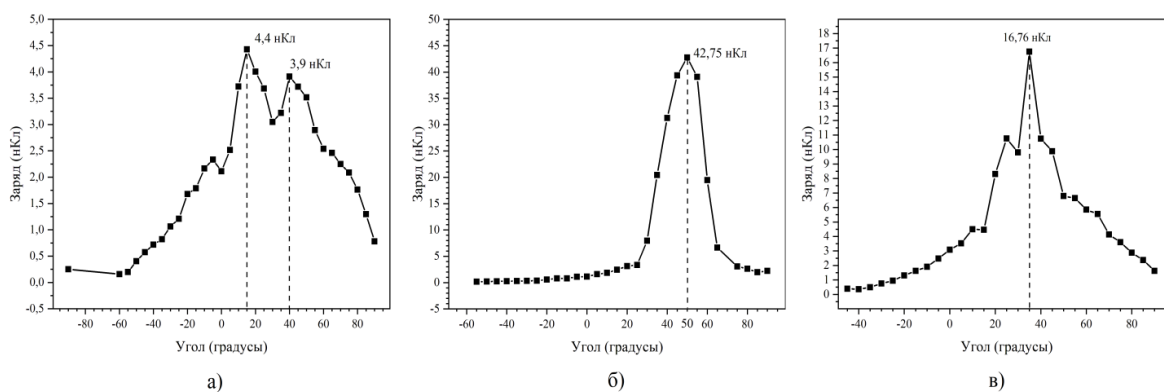


рис. 3. График распределения эквивалентного постоянного заряда по поверхности барабана для электрода с формой а) "рамка", б) прямая проволока, в) спираль

Список публикаций:

[1] Курец В. И. // Электроимпульсная дезинтеграция материалов. Апатиты: Изд-во. Кольск.науч.центра, 2002. С. 83.

Экспериментальное измерение индуктивности плазмы лампы-вспышки для накачки твердотельного лазера

Нигаматова Ляйсан Наилевна

Башкирский государственный университет

Вальшин Алыс Мустафович

nigamatovalajsan@gmail.com

Для диагностики и измерения характеристик плазмы необходимо определить значения полного разрядного тока, напряжения на разрядном промежутке, размеры светящихся областей плазмы, а также среднюю проводимость и среднюю электрическую мощность в разряде. Значение импеданса плазмы существенно влияет на точность измерения этих параметров.

В работах [1-5] рассмотрены различные варианты импеданса плазмы. Значения импеданса плазмы, как правило, обозначены в виде чистого активного сопротивления, или как активного сопротивления и индуктивности, величина которой сравнима с индуктивностью проволоки, заменяющей по геометрическим размерам плазменный шнур.

Целью данной работы является экспериментальные измерения индуктивной составляющей импеданса плазмы лампы-вспышки твердотельного лазера.

Экспериментальная установка включает в себя 2 блока: блок дежурной дуги (ВЧГ-1) и блок ВЧ накачки (ВЧГ-2). В блоке высокочастотной дежурной дуги вырабатываются ВЧ колебания амплитудой более 6 кВ, достаточные для пробития лампы и зажигания дежурной дуги.

После зажигания дуги мы подключаем ВЧГ-2 к лампе, при этом выход ВЧГ-2 подключается к лампе через последовательный колебательный контур, т.е. колебательный контур состоит из последовательно соединенных известной емкости, индуктивности и индуктивности лампы. Настроив частоту колебательного контура на резонанс при зажженной лампе и без лампы (заменяя лампу на эквивалентное сопротивление этой же лампы) определяем разницу частот. Далее вычисляем приращение индуктивности, соответствующее индуктивности зажженной лампы.

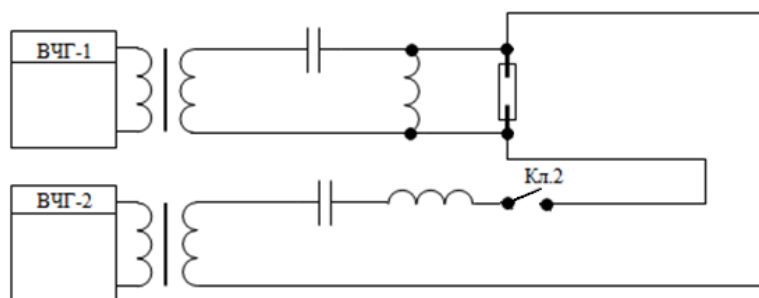


рис.1. Схема экспериментальной установки

Таким образом, наш эксперимент позволяет реально измерить индуктивность зажжённой лампы. Нами получены значения индуктивности при разных токах дежурной дуги, которые существенно больше, чем значения, полученные теоретическими вычислениями почти на два порядка.

Результаты, полученные в этой работе, требуют дальнейших экспериментальных исследований и теоретических обоснований полученных результатов, что планируется выполнить авторами в ближайшее время.

Список публикаций:

- [1] А.Г.Орешко. Доменная модель аномального сопротивления плазмы. Вопросы атомной науки и техники, серия: Плазменная электроника и новые методы ускорения, 2000, №1, стр.13-16.
 [2] С.С. Ануфрик, А.П. Володенков, К.Ф. Зноско Зависимость сопротивления плазмы от времени в электроразрядных эксимерных лазерах. <http://elib.bsu.by/handle/123456789/31723>
 [3] Импульсные источники света/ под общей редакцией И.С. Маршака, 2 изд. М.: Энергия, 1978. 478с.
 [4] Н.Кролл, А. Трайвелтис. Основы физики плазмы. М.: Издательство «МИР» 1975, 525стр.
 [5] А.А. Рухадзе, А.Ф. Александров Физика сильноточных электроразрядных источников света Изд.2.М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.-184стр.

Формирование многоканального пробоя в электроразрядных технологиях бурения

Петренко Евгений Владимирович

Юдин Артем Сергеевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Юдин А. С. к.т.н.

evgenius293@mail.ru

Эффект внедрения разряда в твердый диэлектрик, находящийся под слоем жидкости был открыт в середине XX века. [1]. На его основе предложены и разработаны такие электроразрядные технологии разрушения и модификации материалов, как бурение, резание, снятие поверхностного слоя и дробление. Анализ публикаций в мире по теме электроразрядного разрушения показывает, что на сегодняшний день интерес к электроразрядным технологиям обработки материалов, таким как бурение или дробление стремительно возрастает [2-4].

Данная работа была посвящена исследованию организации пробоя горных пород, находящихся в жидкой среде, путем формирования в них каналов разряда одновременно в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс напряжения – многоканальному пробую. Были получены экспериментальные данные по пробую песчаника в воде и гранита в трансформаторном масле при различной индуктивности электродов.

Индуктивность изменялась за счет двух вариантов подключения электродов к выходу генератора импульсных напряжений. В первом варианте для обеспечения разделения индуктивностей электродов, каждый электрод был подключен независимым проводником длиной 1,5 м. Во втором варианте для уменьшения индуктивности отдельных электродов, проводники были объединены в точке подключения к электродной системе. Электроды на образцах размещались в трех различных положениях согласно схеме приведенной на рисунке 1. В каждом положении было подано по одному импульсу напряжения. Для варианта с отдельными проводниками в первом положении произошел откол в третьем и пятом межэлектродном промежутке (Рисунок 2а). Во втором и третьем положении обнаружено внедрение в первом, третьем и пятом промежутках. Данные эксперимента приведены в таблице 1. Для варианта с объединенными проводниками в первом положении произошел откол в центральном промежутке, в первом и пятом – внедрение (Рисунок 2б). Во втором положении – откол снова произошел в третьем промежутке, а в пятом промежутке – внедрение. В третьем положении – откол в двух промежутках

Таблица 1 – Данные экспериментов по пробую песчаника при разной индуктивности электродов

Номер положения	Раздельные проводники				Объединенные проводники			
	U _з (кВ)	U _{а+} (кВ)	U _а (кВ)	Объем, мм ³	U _з (кВ)	U _{а+} (кВ)	U _а (кВ)	Объем, мм ³
1	35,2	128,4	117	0,8	36,1	99,7	112,5	1,3
2	35,2	139,8	121,6	0,2	36,1	111	109,4	0,5
3	36,1	129,2	136,8	0,2	36,1	149	109,4	2,3

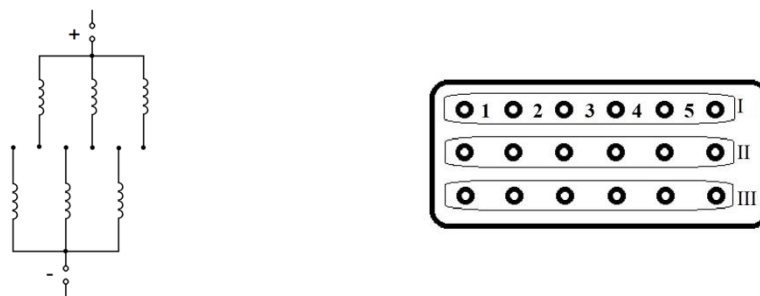


рис.1 – Положение электродов на образце.
1,2,3,4,5 – номера межэлектродных промежутков; I, II, III – положение электродов.

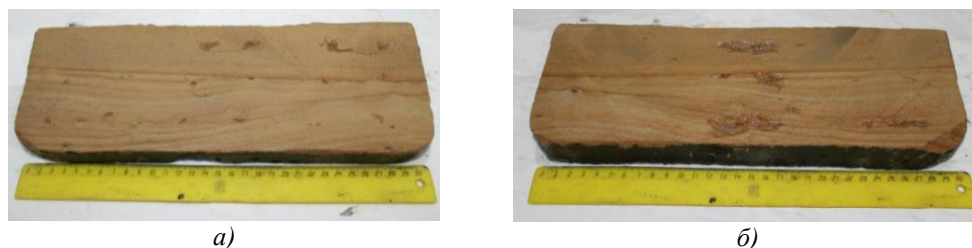


рис. 2 – Внешний вид образцов песчаника после подачи импульсов напряжения с разным местоположением электродов: а) Раздельная индуктивность; б) Объединенная индуктивность.

По результатам экспериментов установлена возможность осуществления пробоя горной породы в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс в среде трансформаторного масла и технической воды. В опытах с песчаником при раздельной индуктивности электродов энергия электроимпульсного разряда распределяется примерно одинаково между всеми электродными промежутками, поэтому объем отколотого материала между ними примерно одинаковый. При объединении индуктивностей большая часть энергии проходит через какой-то один промежуток, поэтому объем отколотого материала в одном из этих промежутков значительно превосходит остальные. Общий объем отколотого материала в обоих опытах (песчаник и гранит) между промежутками при объединенной индуктивности больше ($4,1 \text{ мм}^3$ - пробой песчаника; $3,8 \text{ мм}^3$ - пробой гранита), чем при раздельной индуктивности ($1,2 \text{ мм}^3$ - пробой песчаника; $1,45 \text{ мм}^3$ - пробой гранита). Можно сделать вывод, что чем больше индуктивность проводов, соединяющих электроды с батареей конденсаторов, тем больше вероятность осуществить многоканальный пробой. В опытах с песчаником в воде для осуществления многоканального пробоя было достаточно $U_{\text{зар}} = 36 \text{ кВ}$, в то время как в опытах с гранитом в воде прикладывалось большее напряжение ($U_{\text{зар}} = 46 \text{ кВ}$), при котором достичь многоканального пробоя не удалось. В опытах, проводимых с гранитом в загрязненном трансформаторном масле ($\epsilon = 40 \text{ кВ/мм}$) $U_{\text{зар}} = 36 \text{ кВ}$ было достаточно, чтобы произвести многоканальный пробой.

Было зафиксировано, что в каждом опыте возникало минимум два внедрения за импульс. Количество каналов в граните определялось путем визуального осмотра. В настоящее время обсуждаются дальнейшие эксперименты по определению степени влияния каждого из факторов, а именно: полярность импульса, запас энергии в импульсе, фронт импульса. Подбор оптимальных параметров вышеприведенных факторов может приблизить технологию к промышленным масштабам в таких направлениях как глубокое и сверхглубокое бурение скважин геотермальной энергетики и бурение скважин в условиях Арктики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90071

Список публикаций

- [1] Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Чепиков А.Т. Закономерности пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения // Свидетельство на открытие. Диплом №107, 27.07.1999 с приоритетом от 14.12.1961
- [2] Ushakov V.Ya., Vazhov V.F., Zinoviev N.T. *Electro-Discharge Technology for Drilling Wells and Concrete Destruction*. Basel: Springer Nature Switzerland AG; 2019
- [3] Anders E., Voigt M., Lehmann F. *Electric Impulse Drilling: the future of drilling technology begins now*. ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Polar and Arctic Sciences and Technology; Petroleum Technology. 2017;8:V008T11A024. doi:10.1115/OMAEE2017-6110
- [4] D. Molchanov, V. Vazhov, I. Lavrinovich, V. Lavrinovich, N. Ratakhin Downhole generator based on a line pulse transformer for electro pulse drilling // 2017 IEEE 21st International Conference on Pulsed Power (PPC) Tomsk, 2017

Спектральные характеристики плазмы при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии

Пчелинцев Виталий Витальевич

Кутушев Нурбулат Салаватович

Баширский государственный университет

Вальшин Альс Мустафович

vitalya.pchelincev@gmail.com

Эффективность, стабильность энергетических и пространственных характеристик твёрдотельных лазеров во многом определяется системой накачки.

На сегодня существуют два направления развития источников накачки импульсных ламп для твёрдотельных лазеров, это традиционный разряд импульсного или постоянного напряжения однополярным током и диодная накачка.

Полупроводниковая накачка диодными лазерами на сегодня является наиболее эффективной и распространенной, так как обладает максимальным КПД, минимальными массогабаритными параметрами, а так же сравнительно узкой шириной спектра излучения, совпадающей с полосой поглощения твердотельного лазера. Однако требуется стабилизация температурного режима диодных лазеров накачки для совпадений полос излучения с полосой поглощения активного элемента.

Традиционный вид накачки, который мы называем условно С- накачкой, обладает минимальным КПД, хотя является самым простым. Минимальный КПД объясняется тем, что полоса излучения сильно отличается от полос поглощения активного элемента твердотельного лазера. На графике спектра излучения С-накачки (рис .1) наряду с линейчатым спектром мы наблюдаем также и появление сплошного спектра излучения в видимом диапазоне.

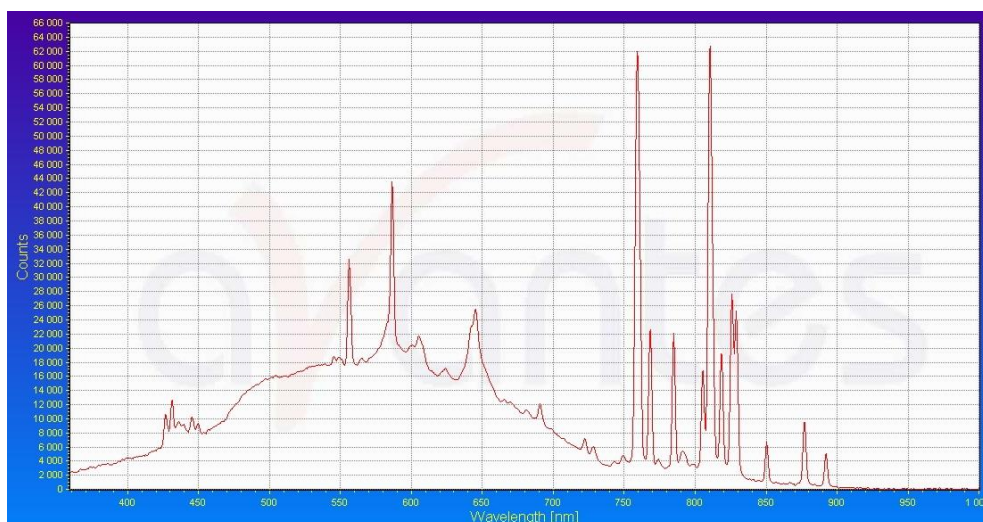


рис 1. Спектр излучения С-накачки

Целью данной работы является высокочастотная накачка твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме с целью создания оптимальных спектров излучения плазмы в лампах накачки со спектром поглощения активного элемента твердотельного лазера [1].

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы поджигаем лампу, на втором этапе, подавая высокочастотные колебания, мы вкачиваем энергию в лампу.

При проведении эксперимента на графике (рис. 2) мы наблюдаем только линейчатый спектр излучения высокочастотной накачки твердотельного лазера в импульсно-периодическом режиме, что говорит о возможности повышения КПД ВЧ накачки, так как отсутствует сплошной спектр, который является мешающим фактором.

Таким образом, нам удалось осуществить импульсно-периодический режим высокочастотной накачки в указанных лампах.

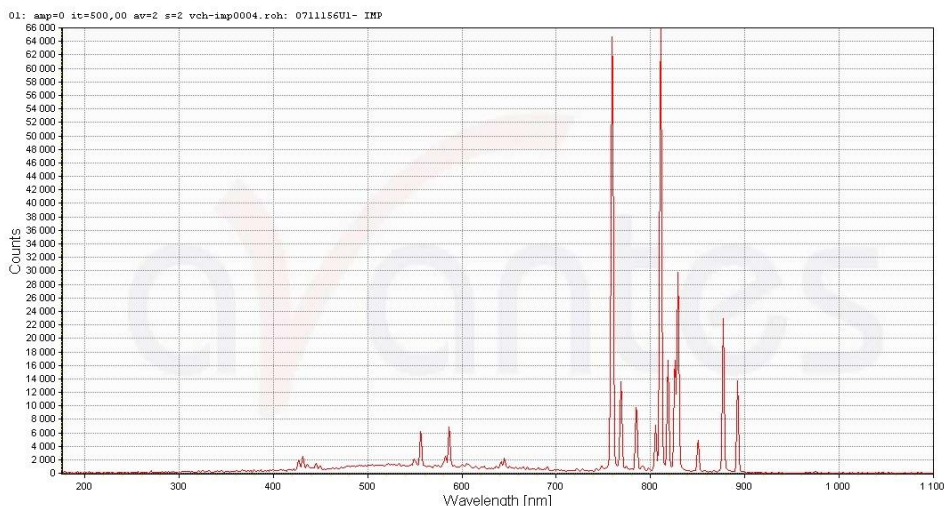


рис.2. Спектр излучения высокочастотной накачки в импульсно-периодическом режиме

В результате экспериментов нами были исследованы различные лампы высокого давления, низкого давления, а также с разными газовыми наполнениями.

Проведены измерения спектральных параметров излучения на разных частотах при разных давлениях и с разными газами.

В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

Приведены характерные осциллограммы тока и напряжения на лампе. Проанализированы сравнительные характеристики данной лампы при ВЧ накачке и питании постоянным током.

Показана перспективность использования высокочастотного источника питания для накачки твердотельных лазеров.

Список публикаций:

[1].А.М.Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М. Михеев, С.М. Першин *Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке, инженерная физика №3, 2015, стр.42-49.*

Изотопический эффект при высокодозной имплантации ионов бора в поверхность кремния

Фролова Валерия Петровна^{1,2}

Бугаев Алексей Сергеевич¹, Окс Ефим Михайлович^{1,2}, Савкин Константин Петрович¹, Юшков Георгий Юрьевич¹
¹Институт сильноточной электроники СО РАН

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
 Frolova Valeria 90@mail.ru

Пучки ионов бора широко применяются в технологиях ионной имплантации кремниевых пластин для легирования кремния при производстве полупроводниковых приборов. В таких технологиях дозы внедренных ионов в поверхность кремния составляют 10^{12} - 10^{14} ион/см², а энергии ионов варьируются от 1 до 10^3 кэВ. Пучки ионов получают в имплантерах, установках для имплантации кремниевых пластин диаметром до 450 мм. В настоящее время в имплантерах для получения пучков ионов бора чаще всего используют ионные источники типа Фримана [1], в которых плазма генерируется при ионизации борсодержащих газообразных веществ, например, трифторида бора BF₃. Такой метод генерации имеет две проблемы. Во-первых, в газовой среде активного BF₃ катод разрушается, во-вторых, BF₃ - высокотоксичен. В работе [2] показана возможность использования вакуумного дугового разряда с катодом из чистого бора. Но, поскольку удельное сопротивление чистого бора при нормальных условиях составляет единицы МОм·см, для стабильной работы источника требуется, нагрев катода до температуры уровня 1000 К [3]. Альтернативой является использование в качестве материала катода, проводящего (десятки мкОм·см) гексаборида лантана LaB₆ [4], при этом общая доля ионов бора в пучке соответствует их доле в материале катода и составляет около 85 % [5].

Имплантация образцов кремниевых пластин КЭФ-2,5 (100) легированных фосфором с его объемной концентрацией единицы 10^{15} ат./см³ осуществлялась вакуумным дуговым ионным источником типа Mevva [6,7] с катодом из LaB₆ при энергии ионов пучка 20 кэВ и остаточном давлении уровня 10^{-6} Торр. Выделение

изотопов однозарядных ионов бора с массами 10 и 11 а.е.м. - $^{10}\text{B}^+$ и $^{11}\text{B}^+$ осуществлялось с помощью $\pi/2$ поворотного магнита с ионопроводом радиусом 350 см. Для сохранения идентичных условий имплантации скорость набора дозы изотопами бора была одинаковой и составляла $2,4 \cdot 10^{12}$ ион/(см²·сек). Перед имплантацией образцы бора очищались от оксидной пленки в 0,5 % растворе плавиковой кислоты. Образцы подвергались высокодозной ионной имплантации при дозах внедренных ионов бора от 10^{14} до 10^{16} ион/см². Сразу после проведения имплантации измерялись их вольтамперные характеристики (ВАХ) с помощью специально разработанного устройства для измерения ВАХ на базе стабилизированного источника постоянного напряжения GPR-1820HD с шагом 0,01 В и прибора Fluke 287 с точностью измерения постоянного тока 0,8 мкА. Устройство было изготовлено с использованием изоляторов из керамики ХС22 с сопротивлением более 1 ГОм и контактов площадью 12 мм² покрытых упругим материалом на основе вспененного графита - графлексом с суммарным сопротивлением менее 10 мкОм. Давление на контакты во всех измерениях составляло 2 МПа.

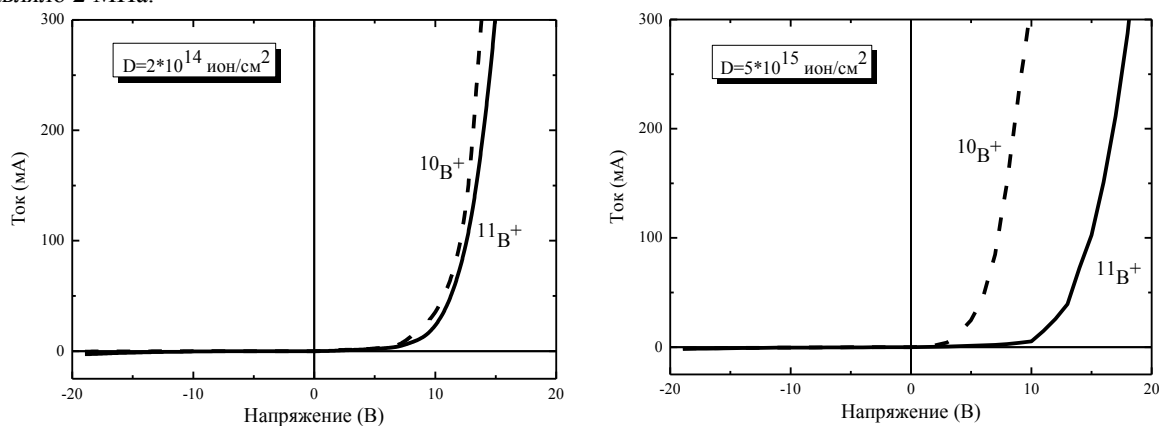


рис. 1. ВАХ образцов, имплантированных ионами изотопов бора $^{10}\text{B}^+$ и $^{11}\text{B}^+$ с дозами $2 \cdot 10^{14}$ (слева) и $5 \cdot 10^{15}$ ион/см² (справа) при энергии ионов бора 20 кэВ. Диапазон токов положительной полярности (прямой ток диода) соответствует положительной полярности напряжения, приложенной к имплантированной стороне образца.

ВАХ имплантированных образцов различными ионами изотопов бора для двух доз имплантации представлены в качестве примера на рис. 1. Они соответствуют ВАХ диода с р-п-переходом. Для всех измеренных ВАХ напряжение порога проводимости при имплантации ионами $^{10}\text{B}^+$ было меньше, чем для случая $^{11}\text{B}^+$, а при одинаковых напряжениях на образце прямой ток в первом случае был выше, чем во втором. В этом и заключался изотопический эффект при имплантации различными изотопами бора кремния, легированного фосфором. Эффект наблюдался более явно при больших дозах имплантации.

Появление диодных свойств у имплантированных кремниевых образцов связано с формированием вблизи поверхности несимметричного р⁺-п-перехода, поскольку, по измерениям вторичной ионной масс-спектрометрии, имплантация ионов изотопов бора с указанными дозами приводит к появлению в поверхностном слое с характерной толщиной около 200 нм области с объемной концентрацией примеси р-типа (бор), превышающей объемную дозу примеси п-типа (фосфор) в 10^3 - 10^5 раз. Наличие изотопического эффекта в диодных свойствах, имплантированных образцов связано с различием в профилях распределения имплантированных изотопов бора. При одинаковой энергии более легкий ион $^{10}\text{B}^+$ имеет больший проективный пробег в веществе и глубже проникает вглубь поверхности кремния и, при прочих равных условиях, коэффициент распыления поверхности кремния у изотопа $^{11}\text{B}^+$ на 7 % выше, чем у $^{10}\text{B}^+$, поэтому профиль распределения концентрации $^{11}\text{B}^+$ расположен ближе к поверхности, чем профиль $^{10}\text{B}^+$. Кроме этого, изотопический эффект может быть связан с различием в свойствах самих изотопов бора внутри легированного слоя, но данный вопрос нуждается в детальном теоретическом исследовании с привлечением современных квантово-механических представлений.

Работа была поддержана грантом Российского научного фонда № 16-19-10034.

Список публикаций:

- [1] Freeman J.H. // Nucl. Instrum. Methods. 1963. V. 22. P. 306-316.
- [2] Williams J.M., Klepper C.C., Chivers D.J., Hazelton R.C., Freeman J.H. // AIP Conf. Proc. 2008. V. 1066. P. 469-472.
- [3] Gushnets V.I., Oks E.M., Savkin K.P., Vizir A.V., Yushkov G.Yu., Hershcovitch A., Kulevoy T.V. // RSI. 2010. T. 81. № 2. С. 02B303.
- [4] Frolova V.P., Gushnets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Y. // IEEE TPS. V. 45. No. 8. P. 2070-2074.
- [5] Nikolaev A.G., Oks E.M., Vizir A.V., Yushkov G.Yu., Frolova V.P. // RSI. 2016. V. 87. No. 2. P. 02A902(1-3).
- [6] Gushnets V.I., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Rempe N.G. // Laser and Particle Beams. 2003. V. 21. № 2. P. 123-138.
- [7] Bugaev A.S., Vizir A.V., Gushnets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Burachevsky Yu.A., Burdovitsin V.A., Osipov I.V., Rempe N.G. // Laser and Particle Beams. 2003. V. 21. № 2. P. 139-156.

Имплантация многозарядными ионами висмута поверхности молибдена

Фролова Валерия Петровна^{1,2}

Николаев Алексей Геннадьевич¹, Юшков Георгий Юрьевич¹

¹Институт сильноточной электроники СО РАН

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Frolova Valeria 90@mail.ru

Достоинством вакуумных дуговых источников является возможность генерации ионных пучков любого проводящего твердотельного материала. Поэтому они находят широкое применение для решения задач модификации поверхностей различных конструкционных материалов, эксплуатируемых в условиях интенсивных механических, температурных и радиационных нагрузок, например в двигателестроении, авиации, ядерной энергетике. В настоящей работе представлены исследования по имплантации поверхности молибдена пучками ускоренных ионов висмута с различными распределениями их зарядовых состояний, выполненные с использованием вакуумного дугового ионного источника Mevva-V.Ru [1] и сравнение профилей распределения висмута по глубине молибденового образца для этих распределений зарядностей.

Имплантация поверхности молибдена ионами висмута проводилась с использованием двух режимов функционирования вакуумного дугового разряда источника Mevva при одинаковых значениях ускоряющего ионы напряжения - 40 кВ и давления остаточного газа - $3 \cdot 10^{-7}$ Торр. Доза имплантированных ионов в поверхность была в обоих случаях одинаковая и равна $1 \cdot 10^{16}$ ион/см². Образцы для имплантации представляли собой прямоугольные пластины из молибдена размером 15x15 мм толщиной 1 мм.

Первый режим имплантации имел типичные для вакуумных дуговых источников ионов параметры разряда [2]: амплитуда тока дуги - 100 А при длительности импульса 250 мкс. При таких параметрах разряда в плазме и извлеченном пучке присутствовали только ионы висмута с зарядовым состоянием 1+ и 2+ [3], а интегральная средняя зарядность, учитывающая изменения зарядного состава ионов в течение импульса, составляла 1,27+. Таким образом, при используемом в эксперименте ускоряющем напряжении средняя энергия ионов висмута в пучке была около 50 кэВ.

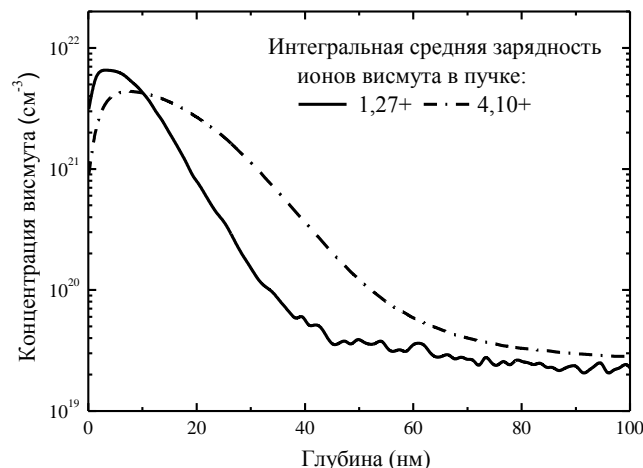


рис. 1. Профиль распределения по глубине висмута, имплантированного в молибденовые образцы, в случае генерации пучков ионов висмута с различными зарядовыми состояниями. Имплантированная доза ионов висмута - $1 \cdot 10^{16}$ ион/см², ускоряющее напряжение - 40 кВ.

Вторым режимом была высокозарядная ионная имплантация при сильноточном режиме горения разряда в импульсах длительностью единицы микросекунд [4]. Амплитуде импульса тока дуги была 3 кА, а длительности импульса (ширина на полувысоте) - 4 мкс [5]. Максимальная зарядность ионов висмута в этом случае составляла 12+ [6], однако зарядовый состав пучка сильно изменялся в зависимости от времени после начала импульса. Можно было выделить две фазы импульса тока ионного пучка с различными зарядовыми состояниями ионов [5]. В первой, начальной фазе, зарядовые состояния ионов висмута в пучке были от 6+ до 12+. Вторая фаза, «хвост» относительно низкозарядных ионов с зарядностью от 5+ до 1+, длящийся несколько десятков микросекунд после окончания тока разряда. Этот «хвост» был образован за счет эмиссии ионов из остывающей и распадающейся плазмы разряда, после окончания импульса тока дуги. Таким образом, интегральная средняя зарядность ионного пучка составила 4,10+, а средняя энергия ионов висмута в пучке около 160 кэВ. При этом разброс энергий ионов в импульсе пучка находился в пределах от 40 до 480 кэВ, соответствующих минимальному (+1) и максимальному (+12) зарядовому состоянию ионов висмута.

Полученные профили распределения по глубине висмута, имплантированного в молибденовые образцы, для обычной и высокозарядной имплантации, приведены на рис. 1. Из представленных зависимостей следует,

что глубина внедрения ионов при высокозарядной имплантации существенно больше. Кратность смещения максимумов профилей распределения ионов висмута приблизительно соответствует теоретическим представлениям об увеличении глубины проникновения ионов при увеличении их энергии. Таким образом, с помощью независимого метода было подтверждено увеличение энергии ионов в пучке в случае короткого сильнооточного импульса разряда в вакуумных дуговых источниках, без соответствующего увеличения ускоряющего напряжения. Пучки многозарядных ионов могут найти применение для широкого круга задач модификации поверхности.

Список публикаций:

- [1] Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu., Brown I.G. // *RSI*. 2012. V. 83, No. 2, 02A501.
- [2] Bugaev A.S., Vizir A.V., Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Burachevsky Yu.A., Burdovitsin V.A., Osipov I.V., Rempе N.G. // *Laser and Particle Beams*. 2003. V. 21. № 2. P. 139-156.
- [3] Gushenets V.I., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Rempе N.G. // *Laser and Particle Beams*. 2003. V. 21. № 2. P. 123-138.
- [4] Yushkov G.Yu., Anders A. // *Applied Physics Letters*. 2008. V. 92. No 4., 041502.
- [5] Yushkov G.Yu., Frolova V.P., Nikolaev A.G., Oks E.M. // *IEEE TPS*. 2019. V. 47. No. 8. P. 3586-3589.
- [6] Yushkov G.Y., Frolova V.P., Nikolaev A.G., Oks E.M., Anders A., Vodopyanov A.V. // *IEEE TPS*. 2015. V. 43. No 8. P. 2310-2317.

Высокочастотная импульсно-периодическая накачка газоразрядных ламп низкого давления в газе на Ne

Хусаинова Юлия Альбертовна

Башкирский государственный университет

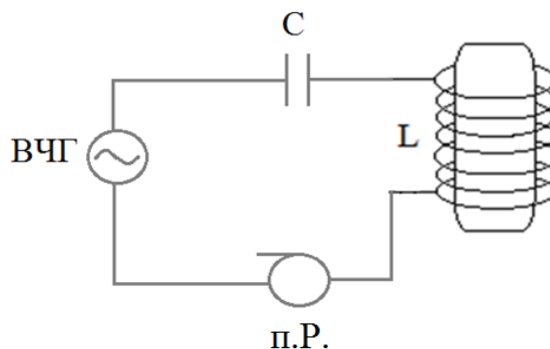
Вальшин Алыс Мустафович

yuliya.husainova25@mail.ru

Актуальной проблемой современной светотехники, возникающей при использовании источников света высокой интенсивности, являются низкий ресурс работы мощных ламп, а также создание экологически чистых, безртутных источников света. Эффективным способом решения проблемы становится переход к принципиально новой, безэлектродной технологии генерации газового разряда.

В нашей работе [1] показаны результаты исследований режима безэлектродной высокочастотной индукционной накачки стандартных цилиндрических люминесцентных ламп путем намотки на лампу определенного количества витков. Выявлен эффективный ввод энергии в плазму разряда и повышение КПД светоотдачи. Обсуждается физика обнаруженного явления и область применения энергосберегающей технологии безэлектродной накачки люминесцентных ламп с повышенным ресурсом работы.

В данной работе описаны экспериментальные исследования индукционного высокочастотного разряда в газоразрядной плазме низкого давления на инертном газе Ne. В процессе эксперимента использовали высокочастотный генератор перестраиваемой частоты собственной разработки и три кварцевые трубки, наполненные Ne, диаметром 68 мм и высотой 38 мм, 38 мм и 80 мм при разных давлениях- 0,3 и 1 Торр. Частота перестройки составляла от 1 МГц до 7,7 МГц, стабильность частоты около 0,3%. Выходное сопротивление составляло менее 5 Ом. Ввиду малости выходного сопротивления нет необходимости в использовании согласующего устройства, поэтому выход непосредственно соединен в последовательный колебательный контур. В качестве индуктивности используется индуктор, который представляет собой соленоид, намотанный на трубку, наполненную инертным газом Ne, а в качестве емкости используются высокочастотные высоковольтные керамические конденсаторы.



*рис.1. Схема экспериментальной установки
ВЧГ - высокочастотный генератор, п.Р. - пояс Роговского*

В процессе экспериментов мы наблюдали "зажигание" безэлектродного разряда за счет электрического поля индуктора, а также индукционного разряда, когда возникает яркий кольцевой разряд.

Проведены измерения параметров зажигания при разных частотах с разными трубками и при разных давлениях. Также измерены спектры излучения и мощность излучения при разных мощностях накачки.

Таким образом, нам удалось осуществить высокочастотную индуктивную накачку в газоразрядном источнике света на инертном газе Ne. Проводятся оптимизация параметров накачки и характеристик излучения с точки зрения получения максимального КПД.

Список публикаций:

[1] А.М.Вальшин, С. М. Першин, Г. М. Михеев. Эффективный ввод энергии в плазму разряда люминесцентной лампы с повышением светоотдачи при резонансной индуктивной накачке. *Инженерная физика*. 2017. № 2. С. 37-41.

Источник импульсов высокого напряжения для исследования автоэмиссионных процессов в импульсно-периодическом режиме

Чепусов Александр Сергеевич

*Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук
chepusov@iep.uran.ru*

Одной из актуальных проблем вакуумной электроники является создание надежного автоэмиссионного катода. Перспективным вариантом являются массивные конструкционные графиты [1]. Был проведен комплекс исследований эмиссионных свойств конструкционных графитов марок МГ, ГМЗ, МПГ-7, ГЭ и GS-1800 [2, 3]. Экспериментальные результаты показали большой потенциал мелкозернистых графитов. Продолжением этих работ является изучение автоэмиссионных процессов на поверхности этих материалов при работе катода в импульсном режиме. К тому же интересные особенности при возбуждении эмиссии импульсом напряжения в углеродных нанотрубках продемонстрированы в работе [4].

Разрабатываемый блок питания будет входить в состав экспериментальной установки на базе вакуумного поста ВУП-4М [5]. Блок-схема источника высоковольтных импульсов показана на рис. 1. Устройство питается от сети переменного напряжения 220 В, 50 Гц; входным сигналом является напряжение $0 \div 10$ В от устройства ввода-вывода; на выходе генерируются импульсы напряжения амплитудой до 12 кВ с частотой следования до 200 Гц. Управление также возможно в ручном режиме. Источник питания способен работать в режиме стабилизации по току или напряжению, что позволяет проводить различные виды экспериментов.

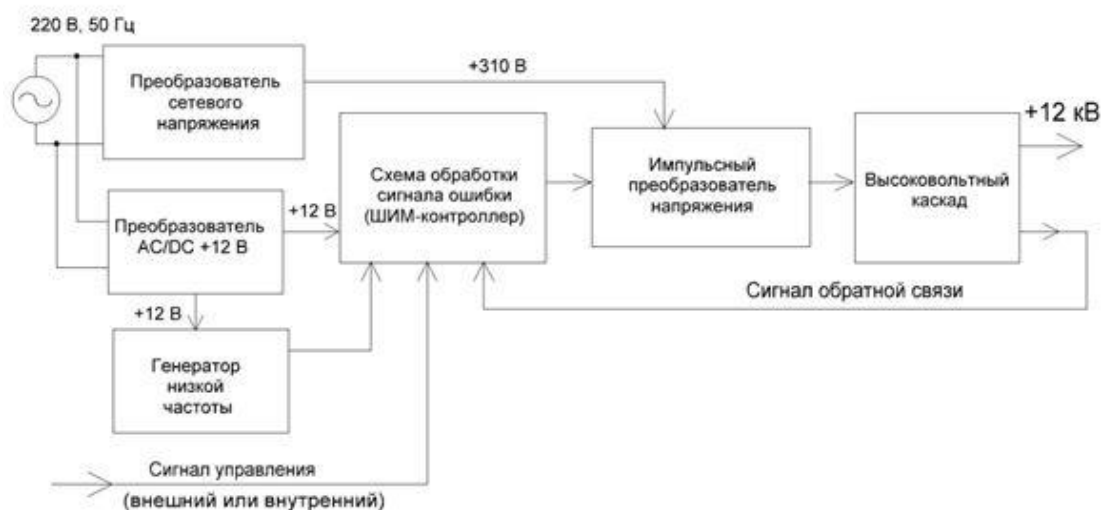


рис. 1. Блок-схема генератора высоковольтных импульсов

Источник импульсов напряжения разработан так, что состоит из модулей, расположенных на разных платах. В состав входят схема выпрямления сетевого напряжения, схема генерации 12 В для питания микросхем и опорного сигнала, схема обработки сигнала рассогласования на базе ШИМ-контроллера TL494, низкочастотный генератор, импульсный инвертор, высоковольтный каскад. В роли импульсного инвертора выступает полумостовая схема на MOSFET-транзисторах. Частота преобразования полумоста равна 100 кГц. При этом модульный принцип позволяет установить и другие типы преобразователей: однотактные прямо- и обратнотокосные, мостовые, push-pull. Высоковольтный узел состоит из импульсного трансформатора на

стержневом ферритовом сердечнике, сборки быстрых выпрямительных диодов, фильтрующего конденсатора, балластного резистора и делителя напряжения для формирования сигнала обратной связи и сбора экспериментальных данных. Частотный режим работы источника обеспечивается подачей управляющего сигнала с низкочастотного генератора на вывод микросхем, блокирующий их работу.

На рис. 2 приведена осциллограмма сигналов с делителя напряжения. Частота следования импульсов составляет 185 Гц, амплитуда напряжения – 8 кВ (коэффициент деления равен 1000). Увеличить частоту следования возможно за счет уменьшения емкости выходного каскада, которая «затягивает» задний фронт импульсов. Но в текущем состоянии этого достаточно, т.к. период сбора информации блоком ввода-вывода составляет 3 мс.

Разработанный блок благодаря использованию подходов импульсной схемотехники компактен и легко встраивается в экспериментальную установку. Его применение позволит провести новый комплекс экспериментов по изучению автоэмиссии с углеродных материалов, где ожидаются новые результаты от перехода в импульсный режим работы. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-79-00132).

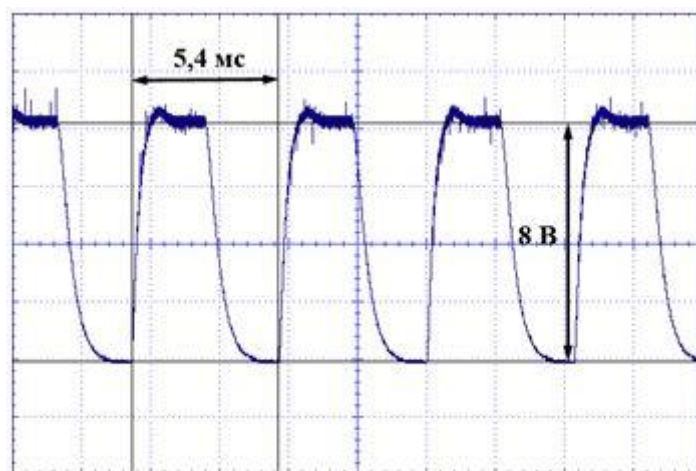


рис. 2. Осциллограмма с делителя напряжения: развертка 2,5 мс/дел.; 1 В/дел

Список публикаций:

- [1] Егоров Н.В. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы. 2011. 704 с.
- [2] Cherusov A.S. [et al.] // *Physica status solidi C*. 2013. V. 10. N 4. P. 614-618.
- [3] Cherusov A.S. [et al.] // *Applied surface science*. 2014. V. 306. P. 94-97.
- [4] Кислов Е.А. [и др.] // *Альтернативная энергетика и экология*. 2010. №3. С. 40-43.
- [5] Popov E.O. [et al.] // *Applied surface science*. 2017. V. 424. P.239-244.

06 - Магнетизм

Богуш Михаил Юрьевич, аспирант 4 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, Физический
Магнитные свойства сплавов Fe-Ni-Al, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

Таскаев Сергей Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: bmy74@yandex.ru стр. 163

Богуш Михаил Юрьевич, аспирант 4 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Магнитные свойства сплавов Fe-Ni-Ti, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

e-mail: bmy74@yandex.ru стр. 163

Волченко Елизавета Николаевна, 1 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, физический
Магнитные и магнитооптические свойства трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe

Патрин Геннадий Семенович, д.ф.-м.н.
e-mail: envolchenko@yandex.ru стр. 164

Гаврилова Мария Алексеевна, магистрант 1 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Исследование магнитных свойств перспективных постоянных магнитов Sm-Zr-Fe-V

Таскаев Сергей Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: mariya-fks@mail.ru стр. 166

Гаврилова Мария Алексеевна, магистрант 1 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Магнитные свойства сплавов Fe₂NiX (X = Cr, Co), подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

Таскаев Сергей Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: mariya-fks@mail.ru стр. 165

Кузьмин Евгений Валентинович, аспирант 2 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт электронных и информационных систем
Исследование магнитоэлектрического эффекта в структурах Метглас/GaAs/Метглас и Метглас/SiC/Метглас

Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: 7777744444@mail.ru стр. 167

Левашова Ирина Андреевна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Численное моделирование динамики связанных магнитных вихрей в мультислойных проводящих нанопроводах

Екомасов Евгений Григорьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: irina.levashova2013@gmail.com стр. 169

Леонтьев Виктор Сергеевич, м.н.с.
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, отд. электроники
Датчик тока на основе самонамагничивающейся структуры LiNbO₃/Ni/Metglas

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.
e-mail: viktorsegeevich.novsu@gmail.com стр. 169

Лобекин Вячеслав Николаевич, аспирант 3 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, отд. электроники
Моделирование сплит-кольцевого резонатора со структурой метаматериалов с ферритовым элементом

Татаренко Александр Сергеевич, к.т.н.
e-mail: slavalobekin@gmail.com стр. 171

Мальцева Виктория Евгеньевна, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ
Магнитные гистерезисные свойства быстрозакаленных сплавов на основе интерметаллида Pr₂-Fe₁₄-B
Волегов Алексей Сергеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: viktoria.maltseva@urfu.ru стр. 172

Мухамадеева Виктория Владимировна, 3 курс, (соавтор Левашовой)
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Екомасов Евгений Григорьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: mukhamadeeva.vika@mail.ru стр. 169

Пушкарев Илья Александрович, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, ИЕНиМ
Моделирование процессов перемагничивания в нанокристаллических пленках с однонаправленной магнитной анизотропией
e-mail: ilya.empire@gmail.com стр. 174

Саплев Алексей Фёдорович, 2 курс
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, отд. электроники
Магнитоакустический резонанс в слоистой структуре феррит - пьезоэлектрический биморф
Петров Владимир Михайлович, д.т.н.
e-mail: nightroud1991@yandex.ru стр. 174

Сергеев Иван Сергеевич, магистрант 2 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Гиратор на основе слоистой магнитострикционнопьезоэлектрической структуры с неоднородной магнитной компонентой
Петров Владимир Михайлович, д.т.н.
e-mail: servanser@mail.u стр. 176

Скоморохов Георгий Витальевич, технолог
Красноярск, Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, лаб. ЭДСВЧЭ
Влияние размагничивающих полей на краях тонких пленок на параметры эффективной магнитной анизотропии: теория и эксперимент
e-mail: psolovev@iph.krasn.ru стр. 177

Соловьев Артем Игоревич, магистрант 2 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, отд. электроники
Магнитоэлектрический эффект в слоистых симметричных и асимметричных структурах для применения в устройствах измерения магнитных полей
Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: jerseyb@andex.ru стр. 179

Соловьев Платон Николаевич, н.с.
Красноярск, Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, лаб. ЭДСВЧЭ
Микромагнитный расчет динамики намагниченности вблизи краев тонкой магнитной пленки
e-mail: psolovev@iph.krasn.ru стр. 180

Трочина Арина Михайловна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Динамические свойства ферритмагнетиков в окрестности точки компенсации углового момента
Гареева Зухра Владимировна, д.ф.-м.н.
e-mail: arina.trochina@bk.ru стр. 181

Филин Сергей Юрьевич, магистрант 1 года обучения
Волгоград, Волгоградский государственный университет, Институт математики и информационных технологий
Параметры обменного взаимодействия ОЦК кристалла железа
Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: steam-sf97@mail.ru стр. 182

Якшибаев Булат Робертович, аспирант 1 года обучения
Уфа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, аспирантура
Перспективные технологии снижения размагничивания линейной части магистрального трубопровода
Бакиев Тагир Ахметович, д.т.н.
e-mail: yakshibayev@mail.ru стр. 183

Магнитные свойства сплавов Fe-Ni-Al, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

¹*Богуш Михаил Юрьевич*

^{1,2,4}*Ульянов Максим Николаевич, ^{1,2}Таскаев Сергей Валерьевич, ³Гундеров Дмитрий Валерьевич*

¹*Челябинский государственный университет*

²*Южно-Уральский государственный университет (НИУ)*

³*Институт физики молекул и кристаллов РАН*

⁴*Балтийский федеральный университет имени И. Канта*

Таскаев Сергей Валерьевич

bmy74@yandex.ru

Китай является практически полным монополистом на рынке редкоземельных элементов. Растущий в последние годы внутренний спрос на редкоземельные элементы в Китае привел к ограничению их поставок на международный рынок, поэтому существует острая необходимость в разработке альтернативных безредкоземельных постоянных магнитов [1-5].

Предлагаемый проект направлен на объединение достижений теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание инновационных направлений для получения новых функциональных материалов, в частности, новых типов постоянных магнитов, не содержащих критических элементов (в том числе редкоземельных элементов). Высокоэффективные постоянные магниты стали незаменимыми материалами во многих отраслях промышленности, от хранения данных до небольших двигателей и устройств для экологически чистой энергии. Таким образом, снижение содержания критических элементов при производстве постоянных магнитов является адекватным ответом на кризис поставок редкоземельных металлов и их оксидов и позволит избежать монопольного доминирования Китая на рынке редкоземельных элементов.

Наряду с редкоземельными системами некоторые сплавы на основе железа являются одними из наиболее перспективных кандидатов для производства безредкоземельных постоянных магнитов.

В данной работе представлены результаты исследования магнитных свойств системы Fe-Ni-Al, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением.

Авторы благодарят проект Российского научного фонда №19-72-00047 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

[1] K. Kramer, *Phys. Today*, 63, 22-24 (2010).

[2] S Sugimoto, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 44, 064001 (2011).

[3] R. Skomski, J.E. Shield, and D.J. Sellmyer, *Magnetics Technology International, UKIP Media & Events, Ltd.*, p. 26-29 (2011).

[4] M.J. Kramer et al., *JOM*, 64, 752-763 (2012).

[5] B. Balamurugan et al., *Scripta Materialia*, 67, 542-547 (2012).

Магнитные свойства сплавов Fe-Ni-Ti, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

¹*Богуш Михаил Юрьевич*

^{1,2}*Таскаев Сергей Валерьевич, ³Гундеров Дмитрий Валерьевич, ^{1,2,4}Ульянов Максим Николаевич*

¹*Челябинский государственный университет*

²*Южно-Уральский государственный университет (НИУ)*

³*Институт физики молекул и кристаллов РАН*

⁴*Балтийский федеральный университет имени И. Канта*

bmy74@yandex.ru

Задача существенного увеличения кинетики образования фазы L1₀ в системе Fe-Ni была решена здесь путем применения интенсивной пластической деформации, применяемой к исследуемым материалам Fe-Ni двумя различными методами: (1) механическое измельчение при криогенных температурах (в дальнейшем именуемые криогенатором) и (2) холодной прокаткой, однако оба способа сопровождаются протоколами отжига после деформации. Эти два известных метода деформации могут создавать большие концентрации дефектов решетки, сопоставимые с найденными вблизи точек плавления материалов [1], что положительно влияет на диффузию атомов в различных металлических системах, включая алюминий и сталь [2]. Кроме того, измельчение при криогенных температурах позволяет избежать процессов термического восстановления и

рекристаллизации в сильно деформированных структурах. Улучшение низкой термодинамической движущей силы для образования фазы $L1_0$ в системе Fe-Ni, которая считалась предельным ограничивающим фактором для достижения фазы $L1_0$ [3], было достигнуто здесь за счет небольших добавок легирующих элементов. Эти модификации сплава были выбраны, в частности, на основании имеющихся экспериментальных и теоретических данных [4].

В дополнение к экспериментальной работе, были проведены первопринципные расчеты с использованием функциональной теории электронной плотности процессов фазового образования в системе Fe-Ni. Например, результаты моделирования спиновой структуры, намагниченности насыщения и др. для сплава с составом $Fe_{2-x-y}Ni_xM_y$ ($M = Al, P, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co$) приведены в [5]. Допирование различных элементов позволяет стабилизировать структуру, увеличить количество фазы $L1_0$ в исходной матрице сплава Fe-Ni, улучшить магнитные свойства. Некоторые из этих элементов включены в расчеты чисто из научного любопытства, но большинство из них взяты из экспериментальных работ на эту тему. Например, в [6] было высказано предположение, что сера положительно влияет на образование фазы $L1_0$. Добавление фосфора для расчета возможных свойств тетраэдрита было обусловлено тем, что метеориты могут содержать незначительные количества фазы $(Fe, Ni)_3P$, которые, в свою очередь, могут влиять на формирование фазы $L1_0$.

Целью данной работы является изучение магнитных свойств и микроструктуры сплава Fe-Ni, легированного 3d-металлами, после интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением (НРТ).

Авторы благодарят проект Российского научного фонда № 19-72-00047 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

- [1] B. Zhang, L. Lu, M. Lai, *Phys. B Condens. Matter.*, 325, 120-129 (2003).
- [2] K. Detemple, O. Kanert, J. De Hosson, K. Murty, *Phys. Rev. B*, 52, 125-133 (1995).
- [3] J. Liu, K. Barmak, *Journal of Vacuum Science & Technology A Vacuum Surfaces and Films*, 33, 021510 (2015).
- [4] H.L. Skriver, *Databases CAMP* (2004).
- [5] P. Manchanda, R. Skomski, N. Bordeaux, L.H. Lewis, A. Kashyap, *Journal of Applied Physics*, 115, 17A710 (2014).
- [6] L. Ma, D.B. Williams, J.I. Goldstein, *J. Phase Equilib.*, 19, 299 (1998).

Магнитные и магнитооптические свойства трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe

Волченко Елизавета Николаевна

Косырев Николай Николаевич

Сибирский федеральный университет

Патрин Геннадий Семенович

envolchenko@yandex.ru

В настоящее время сплавы редкоземельного / переходного металлов являются объектом активных исследований. Интерес к данному типу сплавов обусловлен, прежде всего, возможностью их практического применения при создании носителей информации с высокой плотностью записи, новых типов магниторезистивной памяти и высокочувствительных сенсоров магнитного поля, для которых характерны надежность и малое потребление энергии [1]. Кроме того, структуры, содержащие полуметаллическую прослойку Bi, на сегодняшний день слабо изучены. В связи с этим, исследования свойств трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe являются актуальными.

Трехслойные пленки DyCo/Bi/NiFe были получены методом термического осаждения в вакууме. В качестве подложки было использовано покровное стекло. Толщина слоя Bi варьировалась от 0 до 4 нм.

В данной работе с использованием магнитооптического эффекта Керра были исследованы температурные зависимости намагниченности для различных толщин прослойки Bi. Было показано, что поведение намагниченности зависит от толщины слоя висмута в пленках. При комнатной температуре (около 300 К) для образцов с толщиной слоя висмута $d(Bi) = 0$ нм и 4 нм петли гистерезиса имеют прямоугольную форму, а для образца с $d(Bi) = 3$ нм петля гистерезиса имеет двухступенчатую форму (рис.1). Согласно работе [2], двухступенчатые петли гистерезиса наблюдаются при неоднородном перемагничивании магнитомягкого и магнитожесткого слоев, а прямоугольные – при наличии параллельных компонент намагниченности в магнитных слоях. Полученные данные можно объяснить существованием обменного взаимодействия между магнитными слоями.

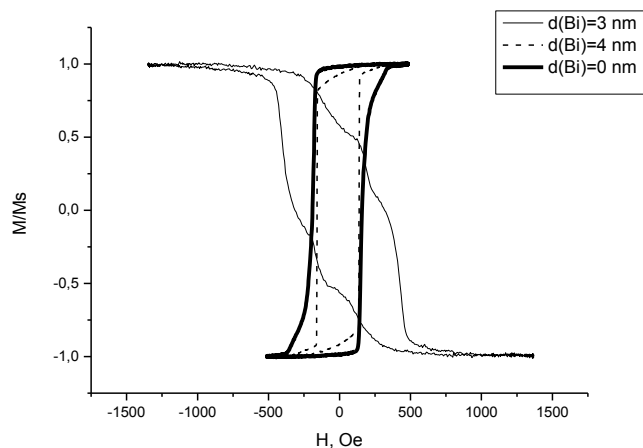


рис.1. Петли гистерезиса пленок DyCo/Bi/NiFe с разной толщиной слоя Bi вблизи комнатной температуры

Также было получено, что с уменьшением толщины Bi влияние магнитомягкого слоя на магнито жесткий возрастает, это означает, что растет обменное взаимодействие. Также падает коэрцитивная сила, что может быть связано с тем, что магнитомягкий слой сильнее подмагничивает магнито жесткий. Другой причиной уменьшения коэрцитивной силы может быть образование интерфейса. Как показано в работе [3], интерфейс висмут-пермаллой не влияет на магнитные свойства структуры. А в случае интерфейса DyCo-висмут могут образовываться соединения – пниктогениды, которые могут оказывать влияние на общее магнитное состояние.

В зависимости от толщины слоя Bi точка компенсации может как существовать и смещаться по температурной оси (при толщине висмута $d(\text{Bi}) > 0$ нм), так и вовсе отсутствовать (при $d(\text{Bi}) = 0$ нм). В первом случае взаимодействие между слоями DyCo и NiFe носит антиферромагнитный характер. Во втором случае, когда точка компенсации отсутствует, мы имеем дело с ферромагнитным взаимодействием между слоями.

Список публикаций:

- [1] Огнев, А. В. Анизотропия и микромагнитная структура низкоразмерных ферромагнетиков: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.11 / Огнев Алексей Вячеславович. – Владивосток, 2016. – С. 276.
 [2] Звездин, К. А. Особенности перемагничивания трехслойных наноструктур / К. А. Звездин // Физика твердого тела. – 2000. – Т. 42, № 1. – С. 116–120.
 [3] Патрин, Г. С. Влияние интерфейса на магнитное состояние в двухслойных пленках системы Fe–Bi / Г. С. Патрин, В. Ю. Яковчук, С. А. Яриков и др. // Письма в ЖТФ. – 2019. – Т. 45, № 10.

Магнитные свойства сплавов Fe_2NiX ($X = \text{Cr}, \text{Co}$), подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

¹Гаврилова Мария Алексеевна

^{1,2}Таскаев Сергей Валерьевич, ³Гундеров Дмитрий Валерьевич, ^{1,2,4}Ульянов Максим Николаевич

¹Челябинский государственный университет

²Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

³Институт физики молекул и кристаллов РАН

⁴Балтийский федеральный университет имени И. Канта

mx-39@yandex.ru

XXI век – век технического прогресса, требующего большого количества материалов со специальными свойствами, а также век, когда люди начали принимать меры по сохранению редких природных ресурсов. Сочетание этих двух противоположностей заставляет ученых со всего мира работать над созданием материалов с необходимыми параметрами из элементов, которые широко распространены на Земле. В настоящее время постоянные магниты пользуются большим спросом, и, следовательно, существует необходимость в создании таких материалов, которые не будут включать редкоземельные элементы [1].

Одним из методов получения материалов с заданными магнитными и структурными свойствами является интенсивная пластическая деформация. Интенсивная пластическая деформация может быть выполнена различными способами. В этой работе мы сообщаем о влиянии интенсивной пластической деформации при кручении под высоким давлением (НПТ) на магнитные свойства перспективных материалов для создания

свободного редкоземельного перманента Fe-Ni-X (X = Cr, Co). Прикладная важность обусловлена самым широким применением постоянных магнитов, поскольку они являются важными компонентами в таких устройствах, как электродвигатели, динамики, компьютеры, проигрыватели компакт-дисков, микроволновые печи, игрушки и холодильники и т. Д. Однако в международной научной работе почти нет информация о влиянии интенсивной пластической деформации на магнитную анизотропию и свойства магнитных материалов.

Авторы благодарят проект Российского научного фонда № 19-72-00047 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

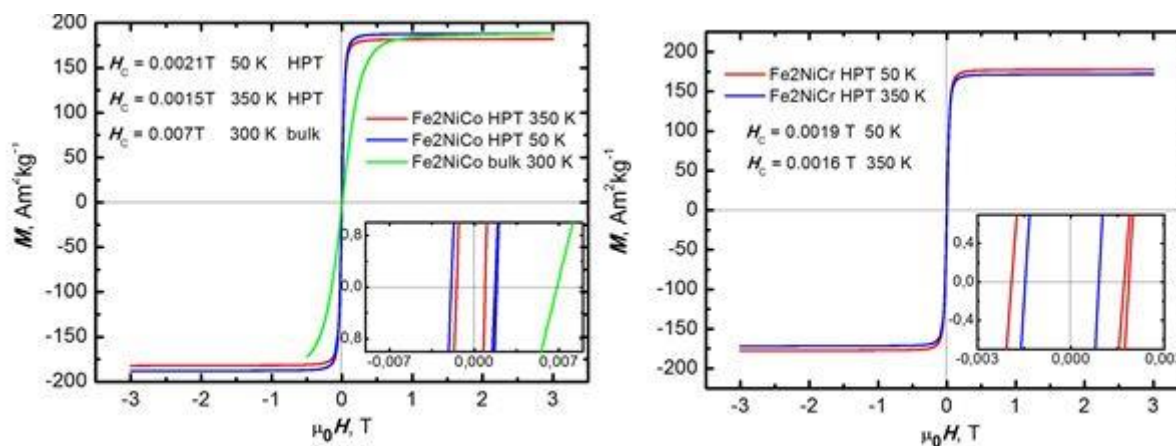


рис. 1. Магнитные свойства литых сплавов и сплавов, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением Fe₂NiX (X = Cr, Co).

Список публикаций:

[1] Lewis L.H., Mubarak A., Poirier E., Bordeaux N., Manchanda P., Kashyap A., Skomski R., Goldstein J., Pinkerton F.E., Mishra R.K., Kubic R.C. Jr, Barmak K., *J Phys. Condens. Matter.* 26, 6, 064213 (2014).

Исследование магнитных свойств перспективных постоянных магнитов Sm-Zr-Fe-V

¹Гаврилова Мария Алексеевна

^{1,2,4}Ульянов Максим Николаевич, ^{1,2}Таскаев Сергей Валерьевич, ³Гундеров Дмитрий Валерьевич, ⁵Аникин Максим Сергеевич, ⁵Уржумцев Андрей Николаевич

¹Челябинский государственный университет

²Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

³Институт физики молекул и кристаллов РАН

⁴Балтийский федеральный университет имени И. Канта

⁵Уральский федеральный университет

Таскаев Сергей Валерьевич

mariya-fks@mail.ru

Редкоземельные (РЗ) сплавы являются основой постоянных магнитов. Недавнее повышение цен на редкоземельные элементы подтолкнуло индустрию к поиску путей снижения содержания РЗ в магнитотвердых материалах. По этой причине в центре внимания оказались сильные магниты со структурой типа ThMn₁₂.

К важным свойствам постоянных магнитов относятся их коэрцитивность, остаточная намагниченность и энергетический продукт [1]. Существуют два основных способа достижения больших значений этих свойств, необходимых для современных задач. Во-первых, микроструктура материала может быть оптимизирована (в нашем случае с помощью интенсивной пластической деформации), чтобы предотвратить вращение ферромагнитных доменов. Вторым фактором является внутренняя спин-орбитальная связь электронов, которая заставляет спины выравниваться вдоль определенного кристаллографического направления, вызывая энергию магнитокристаллической анизотропии материала. Как показано в [2-4], интенсивная пластическая деформация оказывает большое влияние на магнитные свойства 4-f элементов.

В данной работе мы сообщаем о результатах исследования магнитных свойств сплавов Sm-Zr-Fe-V, которые будут исследованы после воздействия интенсивной пластической деформации с использованием

техники кручения под высоким давлением. Измерения проводились в магнитных полях до 3 Тл и в диапазоне температур от 50 до 350 К.

Авторы благодарят проекты Российского научного фонда №19-72-00047и №18-42-06201 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

- [1] *Oliver Gutfleisch, Matthew A. Willard, Ekkes Bruck, Christina H. Chen, S.G. Sankar and Advanced Materials, 23, 7, 821 (2011).*
- [2] *S.V. Taskaev, M.D. Kuz'min, K.P. Skokov, D.Yu. Karpenkov, A.P. Pellenen, V.D. Buchelnikov and O. Gutfleisch, J. Magn. Magn. Mater., 331, 33 (2013).*
- [3] *S. Taskaev, K. Skokov, V. Khovaylo, D. Karpenkov, M. Ulyanov, D. Bataev, A. Dyakonov, and O. Gutfleisch, AIP ADVANCES, 8, 048103 (2018).*
- [4] *Sergey Taskaev, Konstantin Skokov, Dmitry Karpenkov, Vladimir Khovaylo, Maxim Ulyanov, Dmitriy Bataev, Alexander Dyakonov, Oliver Gutfleisch, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 479, 307-311 (2019).*

Исследование магнитоэлектрического эффекта в структурах Метглас/GaAs/Метглас и Метглас/SiC/Метглас

Кузьмин Евгений Валентинович

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.

77774444@mail.ru

В последние годы интенсивно изучается магнитоэлектрический (МЭ) эффект в магнитоэлектрично-пьезоэлектрических структурах для создания различного рода высокочувствительных сенсоров нового поколения. В материалах такого рода МЭ эффект проявляется как результат взаимодействия магнитоэлектрической и пьезоэлектрической фаз компонентов, т.е. электрическая поляризация индуцируется внешним переменным магнитным полем в присутствии подмагничивающего поля – прямой МЭ эффект. Значение МЭ эффекта характеризуется МЭ коэффициентом по напряжению α . Практически, для расчета МЭ коэффициентов приходится решать множество сложных аналитических уравнений.

В большинстве монокристаллических магнитоэлектриков (Cr_2O_3 и др.) МЭ эффект незначителен и его величина не превышает 20 мВ/(см·Э), и наблюдается, как правило, при низких температурах или в больших магнитных полях, что ограничивает их практическое применение. Значительно больший по величине МЭ эффект обнаружен в композитных структурах, содержащих магнитоэлектрическую и пьезоэлектрическую фазы. Таким образом, использование композитных структур открывает широкие возможности для практического применения МЭ материалов [1].

В настоящее время, как за рубежом, так и в России большое внимание уделяется исследованию физических свойств материалов, характеризующихся несколькими типами упорядочения (сегнетоэлектрическим, ферромагнитным, упругим и т.п.), т.е. мультиферроиков [1-3]. Это обусловлено возможностью использования мультиферроиков для создания многофункциональных электронных устройств. Взаимодействие между различными параметрами упорядочения в мультиферроиках может приводить к новым эффектам, например к магнитоэлектрическому (МЭ) эффекту. Композиционные МЭ мультиферроики, содержащие пьезоэлектрическую и магнитоэлектрическую фазу, обладают гигантским МЭ эффектом при комнатной температуре по сравнению с однофазными МЭ материалами, что делает их перспективными для технических применений. В материалах такого рода МЭ эффект проявляется как результат взаимодействия магнитоэлектрической и пьезоэлектрической фаз компонентов. Электрическая поляризация индуцируется внешним переменным магнитным полем в присутствии подмагничивающего поля, или индуцированная намагниченность появляется при приложении электрического поля. Количественно МЭ эффект характеризуется МЭ коэффициентом по напряжению α_E , равным отношению индуцированного переменного электрического поля к приложенному магнитному переменному полю в условиях разомкнутой электрической цепи. Величина коэффициента определяется геометрией, магнитными, диэлектрическими и механическими параметрами составляющих её компонентов и частотой магнитного поля [3-5].

Измерения проводились на измерительном стенде, включающем в себя генератор сигналов Hameg NMF2550, постоянный магнит, катушку индуктивности, осциллограф Hameg HMO722 и магнитометр. Стенд работает следующим образом: на катушку индуктивности подается сигнал генератора, который создает переменное магнитное поле H_{\sim} , величиной в 1 Э. Далее, постоянным магнитом создается оптимальное постоянное магнитное поле, которое составляет 30 Э (поле смещения). В результате поперечного магнитоэлектрического эффекта создается переменный электрический сигнал, который фиксируется осциллографом.

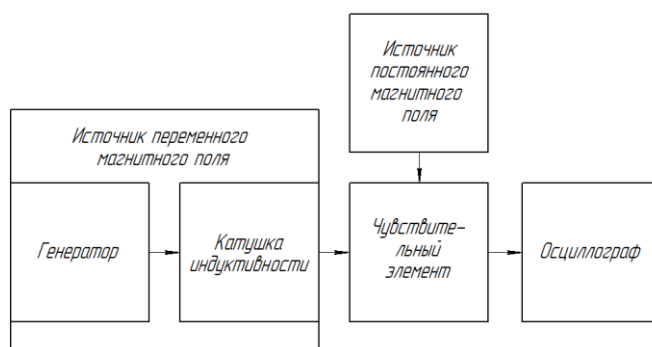


рис. 1. Структурная схема измерительного стенда

В данной работе исследовались слоистые структуры, состоящие из полупроводниковых пьезоэлектрических материалов GaAs [001] (толщиной 0,5 мм) и гексагональный политип 4H-SiC [0001] (толщиной 0,35 мм) с размерами 25x5 мм и обкладок Метгласа переменной толщины, которые одновременно служат электродами. Пластины Метгласа соединялись с полупроводниковыми материалами GaAs и SiC посредством клея, толщина клеевого слоя не превышает 1 мкм. С каждой стороны образца приклеены по 3 пластины Метгласа, внешняя пластина на 5 мм длиннее, для пайки выводов. Конструкции Метглас/GaAs/Метглас и Метглас/SiC/Метглас исследуемых МЭ элементов приведены на (рис. 2).

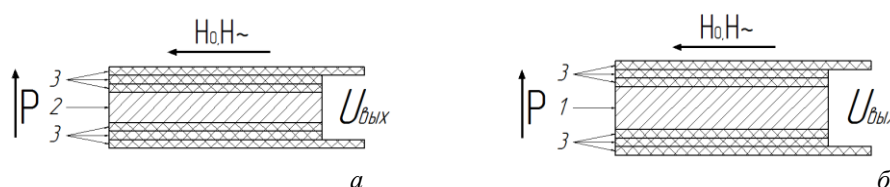


рис. 2. Конструкции Метглас/SiC/Метглас элементов: а – SiC структура; б – Метглас/GaAs/Метглас структура

Полученные результаты измерений представлены на (рис.3).

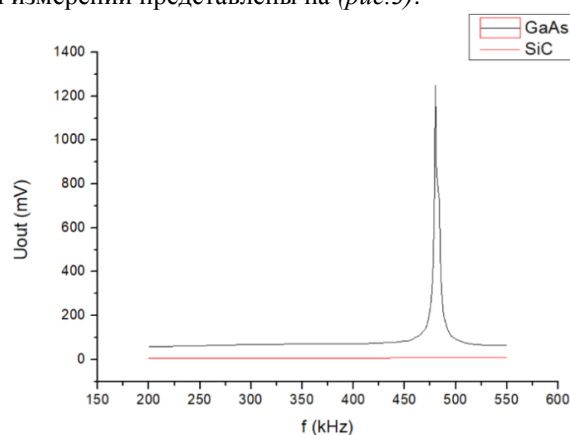


рис. 3. График зависимости выходного напряжения от частоты в исследуемых структурах

Из выше представленного графика видно, что резонансная частота составила 480,2 кГц для структуры Метглас/GaAs/Метглас, величина МЭ коэффициента по напряжению составила 2,5 В/(см²·Э).

В результате проведенных экспериментальных исследований на измерительном стенде (рис. 1) МЭ эффект наблюдался только в структуре Метглас/GaAs/Метглас. Исследованы структуры Метглас/GaAs/Метглас в области электромеханического резонанса и структуры Метглас/SiC/Метглас.

Список публикаций:

- [1] M.I. Bichurin, V.M. Petrov, and G. Srinivasan. Modeling of magnetoelectric effect in ferromagnetic/piezoelectric multilayer composites // *Ferroelectrics*, vol. 280, pp. 165–175, 2002.
- [2] M.I. Bichurin, V.M. Petrov, and G. Srinivasan. Theory of low-frequency magnetoelectric effects in ferromagnetic-ferroelectric layered composites // *Journal of Applied Physics*, vol. 92, no. 12, pp. 7681–7683, 2002.
- [3] Magnetoelectricity in Composites // Eds. M. Bichurin and D. Viehland / Pan Stanford Publishing, Singapore 2011. – 286 p.
- [4] Бичурин М.И., Петров Р.В., Соловьев И.Н., Соловьев А.Н. Исследование магнитоэлектрических сенсоров на основе пьезокерамики ЦТС и Метгласа // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 1.
- [5] Петров В.М., Бичурин М.И. Магнитоэлектрический эффект в симметричных и асимметричных магнитоэлектрических слоистых структурах // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 4.

Численное моделирование динамики связанных магнитных вихрей в мультислойных проводящих наноцилиндрах

Левашова Ирина Андреевна

Мухаммадеева Виктория Владимировна, Степанов Станислав Викторович, Антонов Георгий Игоревич

Башкирский государственный университет

Екомасов Евгений Григорьевич, д.ф.-м.н.

irina.levashova2013@gmail.com

Большое внимание, в настоящее время, привлекают исследования вихревых решений Обобщенного уравнения Ландау-Лифшица [1-3]. Наличие в этом уравнении слагаемого, учитывающего взаимодействие намагниченности и спин-поляризованного тока, позволяет исследовать процессы переключения и возбуждения осцилляций намагниченности в магнитных наноструктурах с помощью тока и внешнего магнитного поля. Интересны для рассмотрения, в этом плане, микроволновые спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО). Большинство таких структур имеют два магнитных слоя, разделенных немагнитной прослойкой. Одной из наиболее перспективных разновидностей СТНО, является вихревая структура, в которой магнитный вихрь реализуется как основное состояние в ферромагнитных слоях. Появилось много экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию динамики магнитостатически связанных магнитных вихрей (см., например, [2-3]). Показано, что для системы из двух взаимодействующих магнитных дисков, находящихся в вихревом состоянии, спектр колебаний магнитных вихрей может кардинально измениться. Также экспериментально найдена зависимость величины магнитного поля переключения полярности каждого из вихрей от величины поляризованного тока.

С помощью микромагнитного пакета SPINPM проведено исследование динамики и структуры двух дипольно связанных магнитных вихрей в трехслойном наностолбике большого диаметра (400 нм), под действием внешнего магнитного поля и спин-поляризованного электрического тока. Показана возможность существования различных режимов движения вихрей, в зависимости от величины поляризованного тока и магнитного поля. Для случая стационарной динамики связанных магнитных вихрей, найдена зависимость частоты их колебаний от величины тока. Показана возможность управления частотой стационарного движения вихрей и подстройки амплитуды управляющих токов с помощью внешнего магнитного поля. С помощью аналитического метода, для упрощенного описания динамики связанных вихрей, получены зависимости частоты от величины тока и внешнего магнитного поля, качественно совпадающие с численными результатами. Построена зависимость величины магнитного поля, разделяющего полярность вихрей от величины спин-поляризованного тока. Показано, что динамический и квазистатический сценарии переключения полярности вихря имеют место при различных значениях поля/тока. Проведено сравнение динамики двух дипольно связанных магнитных вихрей в трехслойном наностолбике большого диаметра.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект № 19-02-00316/19.

Список публикаций:

[1] Звездин А.К., Звездин К.А., Хвальковский А.В. // УФН.178, 436 (2008).

[2] Locatelli N., Ecomasov A.E., Khvalkovskiy A.V. and et. al., *Applied Physics Letters*. 102, 062401 (2013)

[3] Екомасов А.Е., Степанов С.В., Екомасов Е.Г., Звездин К.А., *Физика металлов и металловедение*. 118, 345 (2017).

[4] A.E.Ecomasov, S.V.Stepanov, E.G.Ecomasov, K.A.Zvezdin, *JMMM Volume 471, 1 February 2019, Pages 513-520.*
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.09.077>

Датчик тока на основе самонамагничивающейся структуры LiNbO₃/Ni/Metglas

Леонтьев Виктор Сергеевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.

Viktorsergeevich.novsu@gmail.com

Датчики тока являются очень важным типом устройств. Существует большое количество датчиков тока, работающих на основе различных физических явлений. Наиболее распространенными являются такие датчики, как трансформатор тока, магниторезистивные и датчики Холла [1]. Несмотря на то, что магнитоэлектрические (МЭ) датчики тока имеют небольшие размер и вес, а также высокую чувствительность, в публикациях уделялось мало внимания их сравнению с МЭ датчиками магнитного поля [2]. Также на сегодняшний день отсутствуют МЭ датчики тока, готовые к практическому использованию.

Для улучшения выходных характеристик МЭ датчика тока, предлагается использовать в качестве чувствительного элемента композит на основе градиентной бидоменной структуры LiNbO₃ / Ni / Metglas.

Известно [1], что использование градиентных структур в магнитоэлектрических композитах делает возможным использование градиента намагниченности для создания самонамагничивающейся структуры путем замены внешнего магнитного поля на внутреннее, что может значительно уменьшить вес и габариты устройства. Ранее был рассмотрен датчик тока на основе магнитоэлектрического композита Metglas-PZT-Metglas [2] с использованием внешнего магнитного поля 15 Э. В случае использования в качестве чувствительного элемента датчика тока на основе градиентной бидоменной структуры $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$ со следующими расчетными толщинами слоев: ниобат лития - 0,5 мм, никель - 300 нм, Metglas - 29 мкм, отпадает необходимость во внешнем магнитном поле, и в результате снижения шума конструкции увеличивается чувствительность устройства. Дополнительным преимуществом датчиков тока на основе ниобата лития является отсутствие свинцового компонента в устройстве. Предварительные оценки показывают, что МЭ коэффициент в предлагаемой структуре равен $500 \text{ В}/(\text{см}\cdot\text{Э})$, эквивалентный уровень магнитного шума $120 \text{ пТ}\cdot\text{Гц}^{-1/2}$ при 10 Гц и чувствительности $300 \text{ нВ}\cdot\text{Гц}^{-1/2}$ при 10 Гц. Исследование показывает, что градиентные бидоменные структуры $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$ могут быть использованы в качестве элемента для создания высокочувствительных самонамагничивающихся датчиков токов и магнитных полей.

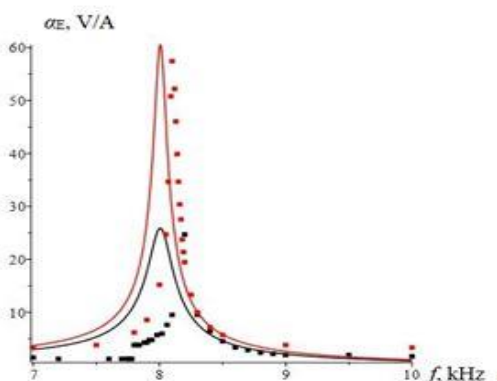


рис.1. Зависимость МЭ коэффициента по напряжению от частоты без поля подмагничивания. Сплошная линия – теоретическая зависимость, черные точки – экспериментальная зависимость структуры $\text{LiNbO}_3 / \text{Metglas}$, красные точки – экспериментальная зависимость градиентной структуры $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$.

Как видно из рис. 2, чувствительность достигает значения 0,41 В/А (без использования усилителя). Результаты показывают высокую практическую значимость для прикладных применений.

Использование этой градиентной бидоменной структуры позволит значительно снизить уровень магнитного шума, повысить чувствительность, а также уменьшить габаритные размеры устройства, поскольку нет необходимости использовать постоянный магнит и усилитель.

Значение МЭ коэффициента по напряжению для образца $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$ составляет $\alpha_{\text{ME}} = 57.4$ без поля смещения. Показано, что значение МЭ коэффициента по напряжению без поля смещения в образце $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$ значительно выше, чем в структуре $\text{LiNbO}_3 / \text{Metglas}$.

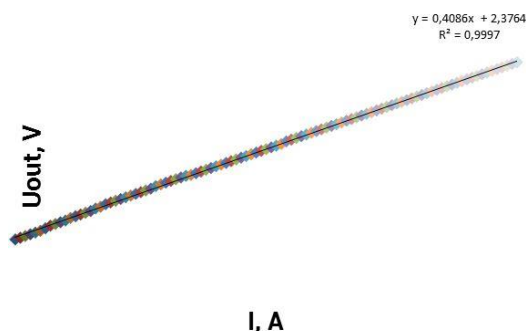


рис.2. Выходная зависимость МЭ датчика тока.

Полученные результаты открывают широкие возможности для практического применения градиентной бидоменной структуры $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$ в качестве чувствительного элемента для разработки высокочувствительных датчиков тока и магнитного поля.

Предлагаемый датчик тока может использоваться в измерительной технике, в электрических сетях и системах управления, системах безопасности; в металлоискателях; в автомобильной промышленности; на железнодорожном транспорте; в беспроводных системах учета; в космической технике и робототехнике; в медицине.

Преимуществами датчика тока на основе бидоменной градиентной структуры $\text{LiNbO}_3 / \text{Ni} / \text{Metglas}$ являются высокая чувствительность, низкое энергопотребление, большой диапазон выходного напряжения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-57-53001.

Список публикаций:

[1] *Modern Sensors Handbook R.Pavel, T. Alois., Eds.; ISTE Ltd, 2007, 518p.*

[2] *M.I. Bichurin, V.M. Petrov, R.V. Petrov, A.S. Tatarenko. Magnetolectric Composites. Pan Stanford Publ., Singapore, 2019, 280p.*

Моделирование сплит-кольцевого резонатора со структурой метаматериалов с ферритовым элементом

Лобекин Вячеслав Николаевич

Лаврова Ирина Германовна

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Татаренко Александр Сергеевич, к.т.н.

slavalobekin@gmail.com

В последнее время многие устройства и компоненты с улучшенными характеристиками были разработаны и исследованы на основе структур со свойствами метаматериалов. Основой таких устройств являются резонаторы, в частности, сплит-кольцевые резонаторы с узким зазором (SRR). Эти новые компоненты определены как устройства со свойствами метаматериалов. Преимущества этих резонаторов или элементов на их основе заключаются в их очень маленьком субволновом размере, что обеспечивает возможность создания компактной схемы и таких компонентов, как фильтры. Метаматериалы - это инженерные материалы, которые демонстрируют контролируемые электромагнитные характеристики, не встречающиеся в природе. Предмет метаматериалов привлек большое внимание к исследованиям от сверхвысоких до высоких терагерцевых и оптических частот, и многие устройства с новыми или улучшенными функциональными возможностями разработаны на основе концепции искусственного материала [1-3].

В данной работе рассматривается структура на основе сплит-кольцевого резонатора с добавлением ферритового элемента. Включение ферритового элемента позволяет осуществить электронную перестройку резонансных характеристик с помощью магнитного поля.

Для моделирования выбрана структура сплит-кольцевого резонатора со свойствами метаматериалов с ферритовым элементом ЖИГ, представленная на *рис. 1*. Конструкция выполнена на подложке Duroid 6010.2LM размерами 30x24 мм и толщиной 1,90 мм, с относительной диэлектрической проницаемостью 10,2 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,0023. Микрополосковая линия передачи является элементом возбуждения с волновым сопротивлением 50 Ом, сплит-кольцевой резонатор и заземление выполнено из меди с толщиной металлизации 0,035 мм [4]. В качестве ферритового элемента используется железо-иттриевый гранат.

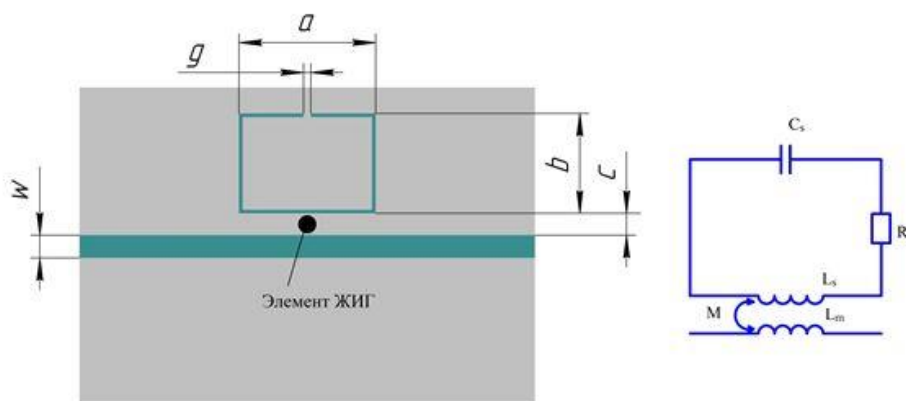


рис 1. – Структура сплит-кольцевого резонатора на основе метаматериалов с ферритовым элементом: $a=7$ мм, $b=7.5$ мм, $w=1.7$ мм, $c=0.65$ мм, $g=0.15$ мм.

Компьютерное моделирование проводилось в программе ANSYS HFSS, являющейся инструментом для трехмерного моделирования ВЧ/СВЧ электромагнитных полей. Технология HFSS позволяет выполнять расчет электрических и магнитных полей, токов, S параметров и излучений. Процесс выполнения расчета полностью автоматизирован, пользователю необходимо задать геометрические параметры, свойства материалов и

расчетные характеристики. Основным расчетным параметром, получаемым при компьютерном моделировании, является параметр S_{21} , являющийся коэффициентом передачи. В результате моделирования получена амплитудно-частотная характеристика, представленная на рис. 2.

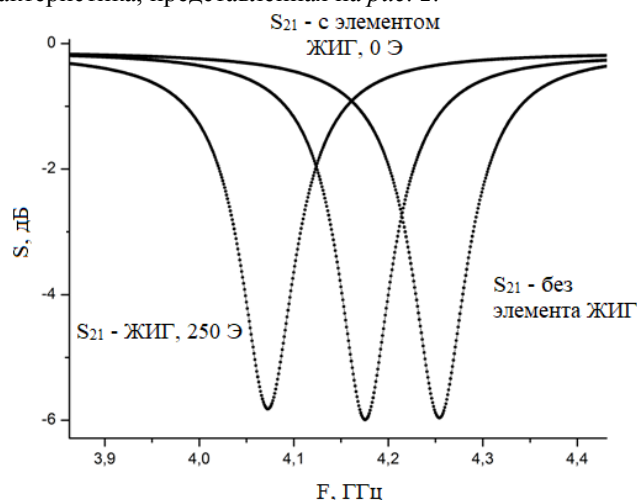


рис.2 – Амплитудно-частотная характеристика сплит-кольцевого резонатора на основе метаматериалов.

Полученные результаты моделирования показывают, что при добавлении ферритового элемента ЖИГ и приложении к нему магнитного поля, в структуру сплит-кольцевого резонатора, осуществляется электронная перестройка резонансной характеристики. При величине магнитного поля $H_0=250$ Э, сдвиг резонансной кривой составил 180 МГц относительно структуры без добавления элемента ЖИГ. На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что использование метаматериалов и ферритовых элементов позволяет проектировать новые управляемые устройства с использованием метаматериалов и ферритовых элементов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00391.

Список публикаций:

- [1] S. Sunbeam Islam, M. R. Iqbal Faruque, M. Tariqul Islam, Md. Moinul Islam, and N. Misran "New NRI Metamaterial for Multi-band Operation," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 8, 2016, pp. 171-173.
- [2] S. Sunbeam Islam, M. R. Iqbal Faruque, and M. Tariqul Islam, "A new direct retrieval method of refractive index for the metamaterial," *Current Science*, vol. 109, 2015, pp. 337-342.
- [3] W. Withayachumnankul, C. Fumeaux, and D. Abbott, "Compact electric-LC resonators for metamaterials," *Optics Express*, vol. 18, 2010, pp. 25912-25921.
- [4] W. Withayachumnankul, K. Jaruwongrungsueb, A. Tuantranont, C. Fumeaux and D. Abbott, "Metamaterial-based microfluidic sensor for dielectric characterization," *Sensors and Actuators*, vol. 189, 2013, pp. 233-237.

Магнитные гистерезисные свойства быстрозакаленных сплавов на основе интерметаллида $Pr_2Fe_{14}B$

Мальцева Виктория Евгеньевна

Волегов Алексей Сергеевич, Андреев Сергей Витальевич, Болячкин Антон Сергеевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Волегов Алексей Сергеевич, к.ф.-м.н.

viktoria.maltseva@urfu.ru

Одним из классов функциональных материалов, необходимых при проектировании и эксплуатации современных высокотехнологичных устройств, являются магнитотвёрдые материалы и изготавливаемые из них постоянные магниты. Постоянные магниты используются в трех основных типах устройств:

- 1) преобразователи электрической энергии в механическую (вентильные электрические двигатели, актюаторы и др.);
- 2) преобразователи механической энергии в электрическую (электрические генераторы);
- 3) устройства создания магнитных полей различной конфигурации (зажимы, магнитные захваты, магнитные системы масс-спектрометров и др.).

Поскольку потенциал магнитных гистерезисных свойств магнитотвердых материалов и изготовленных из них постоянных магнитов использован на 85 – 90 %, одним из наиболее перспективных путей дальнейшего улучшения их свойств является создание композиционных магнитных материалов на основе наноразмерных зерен магнитных фаз с разными фундаментальными свойствами: ферро- или ферритмагнитной фазы с большим

значением поля анизотропии, обеспечивающей высокую коэрцитивную силу, и ферромагнитную с высокой спонтанной намагниченностью. Сочетание в одном материале различных веществ позволяет получать композиты, обладающие уникальными функциональными свойствами [1]. Магнитных соединений, которые бы обладали сразу обоими качествами, до сих пор не удалось обнаружить.

Теоретически показано, что максимальное энергетическое произведение $(BH)_{\max}$ системы $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3/\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$ может достигать значений больших, чем 1090 кДж/м^3 (137 МГсЭ) при комнатной температуре [2]. Попытки создания подобного композита не привели к получению таких характеристик. Одна из причин заключается в использовании при расчетах модели когерентного вращения намагниченности соседних зерен различных фаз при теоретическом рассмотрении. По всей видимости, эта модель не вполне соответствует процессам перемагничивания в реальных образцах [3].

Целью настоящей работы является изучение магнитных гистерезисных свойств композиционных быстроохлажденных сплавов на основе интерметаллида $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.

В качестве образцов для исследования зависимости коэрцитивной силы (H_c), намагниченности насыщения (σ_s), остаточной намагниченности (σ_r) от температур отжига, значений напряженностей прикладываемых магнитных полей, температур, при которых проводятся измерения петель гистерезиса, синтезированы быстроохлажденные сплавы с различным содержанием основной магнитотвердой фазы $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ и $\alpha\text{-Fe}$.

Наноструктурные сплавы получены методом индукционного плавления в кварцевом тигле исходных компонентов с последующей разливкой на железный диск, вращающийся с линейной скоростью движения поверхности 30 м/с . Полученные ленты подвергались отжигу в вакууме при температурах $600 - 750 \text{ }^\circ\text{C}$ с шагом $25 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 минут. Магнитные гистерезисные свойства всех образцов после отжига измерены при комнатной температуре посредством вибрационного магнитометра КВАНС-1. Определены образцы с наибольшими значениями коэрцитивной силы и остаточной намагниченности (рис. 1).

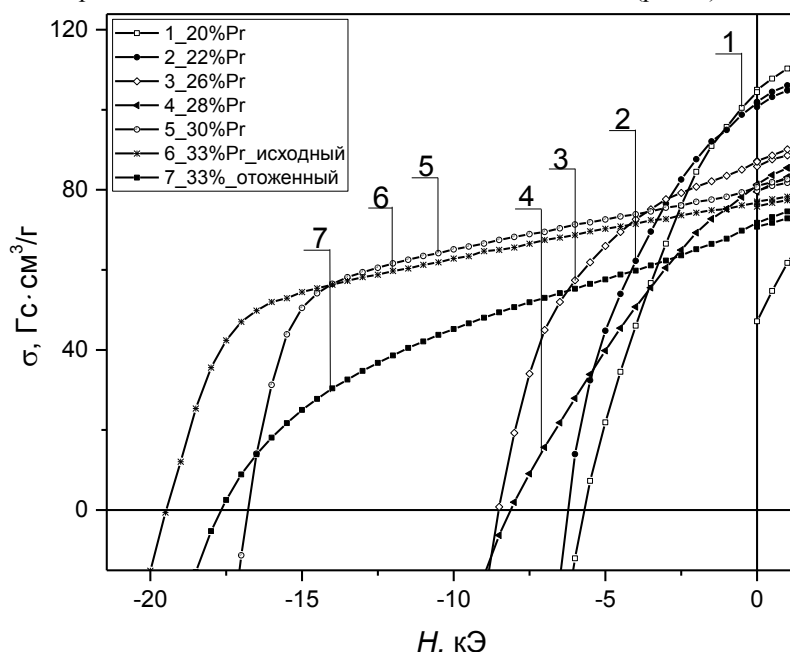


рис. 1. Предельные петли гистерезиса, измеренные посредством КВАНС – 1.

Дальнейшие измерения магнитных свойств образцов с наибольшими H_c и σ_r выполнены посредством измерительной системы DynaCool 9 T с напряженностью магнитного поля до 90 кЭ в диапазоне температур $2 - 300 \text{ К}$. Измерение предельных петель гистерезиса выполнено при различных температурах с целью варьирования поля анизотропии и коэрцитивной силы зерен магнитотвердой фазы.

В докладе более подробно будут представлены полученные результаты и предложены пути проведения дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках гранта МК-1746.2020.2.

Список публикаций:

- [1] Мальцева В.Е., Андреев С.В., Волегов А.С. // СПФКС -20. Тез. Докл. XX Юбил. Всеросс. Школы-семинара по проб. ФКС Екатеринбург, 2019. С. 64.
 [2] R. Skomski, J. M. D. Coe. // PH. REV. B. 1993. V. 48, № 21. P. 15812.
 [3] A. S. Bolyachkin, et. al. // JMMM. 2019. P. 165270.

Моделирование процессов перемагничивания в нанокристаллических пленках с однонаправленной магнитной анизотропией

Пушкарев Илья Александрович

*Кулеш Никита Александрович, Горьковенко Александр Николаевич, Москалев Михаил Евгеньевич,
Лепаловский Владимир Николаевич, Васьяковский Владимир Олегович*

*Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина
Ilya.empire@gmail.com*

Исследование тонких магнитных пленок представляет существенный интерес благодаря широкому спектру возможностей их применения, например, в носителях информации с высокой плотностью записи, устройствах спинтроники и т.д. Фундаментальный интерес связан с исследованием эффектов спиновой поляризации электрического тока, управлением с его помощью состоянием намагниченности, а также созданием и перемещением топологических магнитных структур. Особый интерес представляют многослойные пленки с эффектом обменного смещения, который возникает на интерфейсе между двумя различными магнитными структурами, как правило, между ферромагнетиком и антиферромагнетиком. Для эффекта обменного смещения или однонаправленной анизотропии характерны такие особенности, как асимметричность и сдвиг петли гистерезиса вдоль оси магнитного поля, эффект тренировки и т.д. Поскольку чаще всего рассматриваются поликристаллические пленочные системы, особое значение приобретает их структурное состояние и термическая обработка. Целью данной работы было описание экспериментальных данных, полученных на пленках системы FeMn/FM (FM = Fe, Ni, Co и их сплавы) при исследовании влияния отжига на их гистерезисные свойства пленок с помощью простых моделей в рамках приближения макроспина и микромагнитного моделирования.

Однослойные (Fe, Ni, Co и их сплавы) и двухслойные (FeMn/FM) пленки получены путем магнетронного распыления на покровные стекла Corning. Информация о кристаллической структуре была получена методом рентгеноструктурного анализа. Магнитные свойства пленок были измерены с помощью вибрационного магнитометра и магнитооптического Керр-микроскопа. Термическая обработка производилась в вакуумной камере в присутствии технического магнитного поля. Сравнивались образцы, отожженные при 200 °C и 400 °C. Для описания угловых зависимостей было использовано приближение макроспина, то есть учитывались лишь энергии в магнитном поле, одноосной наведенной анизотропии и обменного взаимодействия. Несмотря на то, что такая модель позволяет описывать только процессы однородного вращения намагниченности, с ее помощью удастся качественно описать некоторые особенности процессов перемагничивания, которые наблюдаются в реальных образцах (асимметрия петли гистерезиса, непараллельность оси наведенной анизотропии и направления однонаправленной анизотропии и т.д.). Для более строгого анализа, учитывающего неоднородные процессы перемагничивания и особенности структурного состояния двухслойной пленки было использовано микромагнитное моделирование. В настоящей работе мы использовали программный пакет *muMax3* [1] в котором реализована дискретизация методом конечных разностей. Для создания поликристаллического состояния было использовано независимое разбиение слоев по методу многогранников Воронова. Поскольку при использовании микромагнитного подхода нельзя задать истинное антиферромагнитное состояние, поэтому нами было использовано приближение, в котором антиферромагнитный слой был заменен ферромагнитным с отключенными обменным взаимодействием между кристаллитами, внешним полем, магнитостатическим взаимодействием [2].

Список публикаций:

[1] R. L. Stamps et al. *Physical Review B* 71(9) (2005), 094405

[2] J. De Clercq et al. *J Phys. D: Appl. Phys.* 49 (2016), 435001.

Магнитоакустический резонанс в слоистой структуре феррит-пьезоэлектрический биморф

Саплев Алексей Фёдорович

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

Петров Владимир Михайлович, д.т.н.

Nightroud1991@yandex.ru

Наличие магнитоэлектрических (МЭ) свойств в слоистых феррит-пьезоэлектрических композитах обусловлено механическим взаимодействием между магнитной и электрической подсистемами. Магнитострикция феррита во внешнем магнитном поле вызывает поляризацию электрической подсистемы посредством пьезоэлектрического эффекта. В работах [1, 2] показано, что при соответствующих наборах

параметров имеет место гигантский скачок МЭ коэффициента по напряжению в области магнитоакустического резонанса. В указанных работах был исследован случай композита в форме пластинки, намагниченной перпендикулярно ее плоскости. В работе [2] был исследован касательно намагниченный композит в пренебрежении обменным полем.

В ходе работы был исследован МЭ коэффициент по напряжению в трехслойной структуре во внешнем магнитном поле, приложенным вдоль кристаллографической оси [100]. К структуре прикладывалось также малое переменное магнитное поле (рис.1). Образец расположен перпендикулярно оси x , т.е. внешнее переменное магнитное поле лежит в плоскости образца. Целью работы является нахождение магнитоэлектрического коэффициента по напряжению и исследование его зависимости от частоты и величины внешнего магнитного поля.

В качестве исходных используются уравнения движения намагниченности, уравнения движения ферритовой и пьезоэлектрической фаз, а также материальные соотношения для пьезоэлектрической и магнитной фаз [3-5].

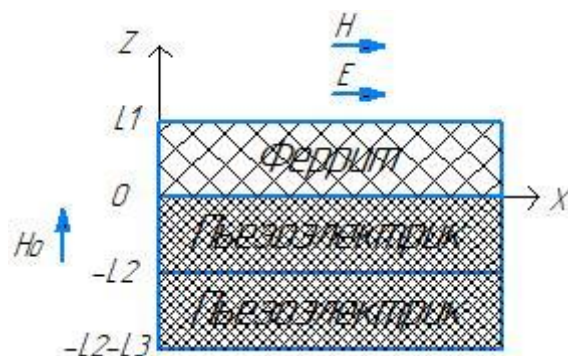


рис.1 Ориентация образца во внешнем магнитном поле

Результатами работы является:

- Получена теоретическая модель МЭ эффекта в слоистой структуре феррит-пьезоэлектрический биморф. Частота электромеханического резонанса электрической подсистемы пьезоэлемента соответствует частоте ферромагнитного резонанса феррита.
- Использование пьезоэлектрического биморфа позволяет наблюдать МЭ эффект в области наложения гармонических мод высших порядков и однородной прецессии намагниченности ферритовой компоненты, которые подавляются в феррит-пьезоэлектрических двухслойных структурах.
- Для структуры ЖИГ – биморфный ЦТС получено значительное увеличение МЭ коэффициента для 4 и 5 гармоник электромеханического резонанса по сравнению с МЭ эффектом в традиционных двухслойных структурах ЖИГ – ЦТС. На частоте 5 гармоники получено значение МЭ коэффициента по напряжению, равное 175 В/(см Э).
- Наблюдаемое явление можно использовать для изучения МЭ эффекта в области наложения частот магнитного резонанса и высших мод электромеханических колебаний образца, а также при разработке СВЧ устройств на основе МЭ эффекта.

Список публикаций:

- [1] Bichurin M.I., Petrov V.M., Ryabkov O.V. et al. // *Phys. Rev. B*. 2005. V. 72. P. 060408(R) (1-4).
 [2] Рябков О.В. // 11-я Всерос. науч. конф. студентов-физиков и молодых ученых: Тез. докл. Екатеринбург: Изд-во АСФ России, 2005. С.283-284.
 [3] *Физическая акустика. Т.III, ч.Б. Динамика решетки / Под ред. У.Мэзона. М.: Мир, 1968. 392 с.*
 [4] Бичурин М.И., Петров В.М., Рябков О.В. и др. // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 3. С.27-29.
 [5] Тихонов А.Н., Васильева А.Б., Свешников А.Г. *Дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1998. 232 с.*

Гиратор на основе слоистой магнитострикционно-пьезоэлектрической структуры с неоднородной магнитной компонентой

Сергеев Иван Сергеевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Владимир Михайлович

servanser@mail.ru

Невзаимный идеальный гиратор впервые был предложен в 1948 г. Теллегеном [1]. Гиратор используется в качестве преобразователя напряжения в ток или тока в напряжение, а также емкостного сопротивления в индуктивное или индуктивного сопротивления в емкостное сопротивление.

Для использования слоистой магнитострикционно-пьезоэлектрической структуры в качестве гиратора необходимо приложение подмагничивающего поля [2]. Для практического применения гиратора более предпочтительной является слоистая структура, позволяющая получить внутреннее постоянное магнитное поле и отказаться от использования внешнего подмагничивающего поля [3]. Одним из вариантов такой структуры может служить магнитострикционно-пьезоэлектрическая структура, в которой используется неоднородный по составу магнитострикционный материал, что является условием для создания внутреннего постоянного магнитного поля.

В данной работе изучаются гираторные свойства слоистой магнитострикционно-пьезоэлектрической структуры с неоднородной по составу магнитострикционной компонентой, работающей без внешнего подмагничивающего поля. В качестве примера рассмотрена структура гиратора на основе слоев метгласа и цирконата-титаната свинца (ЦТС), в состав которой введен дополнительный слой никель-цинкового феррита. Ожидается, что это решение позволит отказаться от использования внешнего постоянного магнитного поля.

Слоистая структура состава метглас-никель-цинковый феррит - ЦТС была изготовлена методом склеивания. С целью контроля качества образца проведено измерение прямого магнитоэлектрического (МЭ) эффекта при помещении образца в намагничивающую катушку. Наведенное электрическое напряжение наблюдалось на экране осциллографа. Полученная амплитудно-частотная характеристика гиратора (рис. 1). Следует отметить, что график на рис. 1 получен без использования внешнего постоянного магнитного поля.

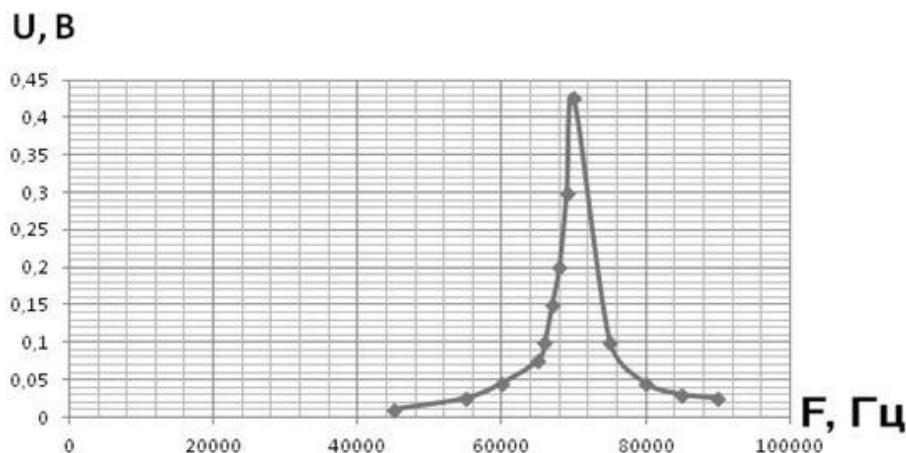


рис.2 - График зависимости индуцированного напряжения от частоты

Проверка гираторных свойств слоистой структуры при преобразовании емкости и индуктивности производилась с помощью LCR-метра «Programmable LCR Bridge HM8118». В ходе эксперимента исследовался эффект гирации (преобразование индуктивности в емкость и емкости в индуктивность). Изменение индуктивности внешних катушек, подключенных параллельно основной катушке, приводило к незначительному изменению выходной емкости. Результаты измерений (рис. 2).

В результате получена новая структура, которая позволяет использовать гиратор, без внешнего постоянного магнитного поля. Параметры данной структуры стабильнее, чем без никель-цинкового феррита.

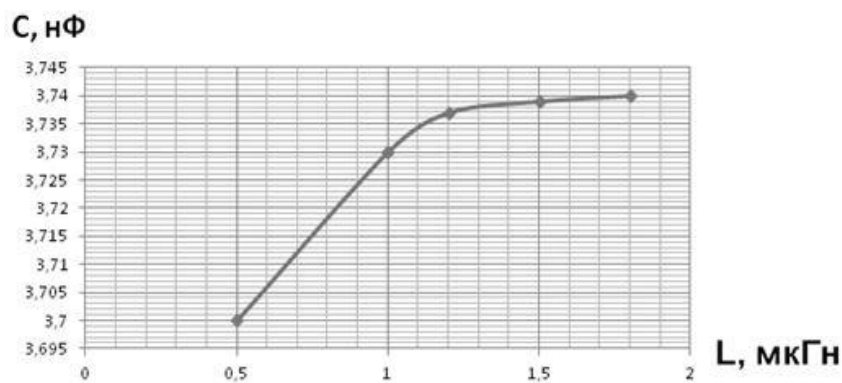


рис.3 - График зависимости индуктивности от емкости

Список публикаций:

[1]Tellegen B.D.H. The gyrator, a new electric network element // Philips Res. 1948. V.3. Issue 81. P.388-409.

[2]Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах / М.И. Бичурин, В.М. Петров, Д.А. Филиппов, Г. Сринивасан; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2005 – 226с.

[3]A Highly Efficient Self-Biased Nickel-Zinc Ferrite/Metglas/PZT Magnetolectric Gyrator Chung Ming Leung, G. Sreenivasulu, Xin Zhuang, Xiao Tang, Min Gao, Junran Xu, Jiefang Li, Jitao Zhang, G. Srinivasan, and D. Viehland Phys. Status Solidi RRL 2018.

Влияние размагничивающих полей на краях тонких пленок на параметры эффективной магнитной анизотропии: теория и эксперимент

Скоморохов Георгий Витальевич

Соловьев Платон Николаевич, Изотов Андрей Викторович, Беляев Борис Афанасьевич

Институт физики им. Л.В. Куренского ФИЦ КНЦ СО РАН

tornadobak@mail.ru

Одним из главных отличий наноматериалов от их массивных «собратьев» является решающая роль поверхности при формировании свойств всего материала. В частности, в магнитных наноструктурах такие явления как поверхностная магнитная анизотропия, обменное межслоевое взаимодействие, механические напряжения на границах раздела поверхностей во многом определяют характеристики образцов в целом. В настоящей работе, теоретически и экспериментально исследуется влияние размагничивающих полей, возникающих на краях тонких магнитных пленок, на их эффективную магнитную анизотропию.

Методом DC-магнетронного распыления были изготовлены тонкие пленки пермаллоя толщиной 60 нм. Пленки осаждались во внешнем магнитном поле H , которое индуцировало в них одноосную магнитную анизотропию, с осью легкого намагничивания (ОЛН) направленной параллельно полю H . С помощью сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса (ФМР) [1], при фиксированной частоте возбуждающего поля 2.3 ГГц, были измерены угловые зависимости резонансного поля на локальных участках (диаметром 1 мм) на поверхности пленки, а из них определены параметры одноосной магнитной анизотропии [2]. Оказалось, что поле эффективной магнитной анизотропии H_{keff} увеличивается почти на 20% относительно центра вблизи тех краев пленки, которые были ориентированы параллельно приложенному в ходе напыления образцов магнитному полю H , и уменьшается примерно на ту же величину вблизи краев, перпендикулярных H (рис. 1б). Для объяснения обнаруженных эффектов была предложена простая теоретическая модель.

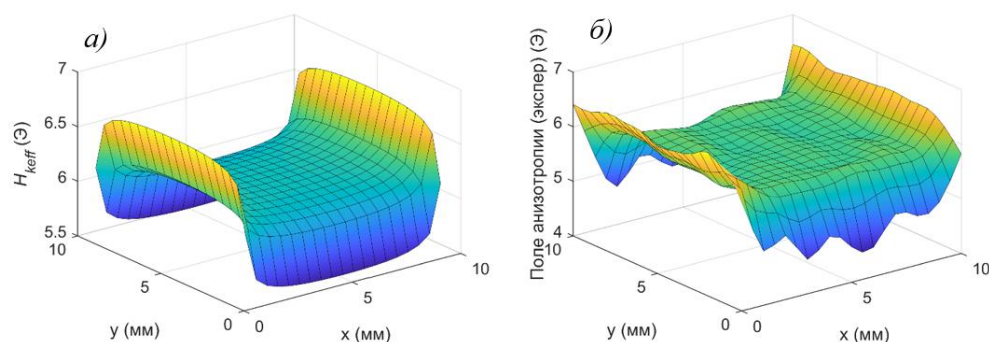


рис.1. Распределение поля эффективной магнитной анизотропии H_{keff} по площади пленки, (а) расчет, (б) эксперимент.

Рассмотрим модель тонкой магнитной пленки с одноосной магнитной анизотропией H_k . Из решения линеаризованного уравнения Ландау-Лифшица можно получить следующее выражение, определяющее собственную резонансную частоту ω_0 (или резонансное поле H_R при фиксированной частоте) пленки [2]:

$$\begin{aligned} \omega_0^2 - \Omega_\theta \Omega_z &= 0, \\ \Omega_\theta &= \gamma(H \cos(\theta_H - \theta_M) + H_k \cos 2(\theta_n - \theta_M)), \\ \Omega_z &= \gamma(H \cos(\theta_H - \theta_M) + H_k \cos^2(\theta_n - \theta_M) + 4\pi M). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь γ – магнитомеханическое отношение, M – намагниченность насыщения пленки, θ_M – угол равновесной намагниченности, θ_H – угол ориентации внешнего поля развертки, и θ_n – угол направления анизотропии H_k . Однако у края пленки возникают размагничивающие поля, и поэтому для их учета в выражение (1) необходимо добавить член, описывающий это поле – $H_d \cos(\theta_M)$, где H_d – амплитуда размагничивающего поля, усредненная по локальной области диаметром 1 мм. Размагничивающее поле может быть найдено аналитически [3]. Оно быстро уменьшается с увеличением расстояния от края пленки ($\sim 1/e^x$). С помощью предложенной модели были выполнены расчеты угловых зависимостей резонансного поля, а из них определены параметры эффективной анизотропии (рис. 1а). Учет размагничивающих полей хорошо объясняет данные эксперимента. Действительно, у края пленки, параллельного ОЛН (параллельна Oy), при ориентации внешнего поля вдоль ОЛН изменения в величине H_R относительно центра нет, но при направлении H вдоль оси трудного намагничивания (ОТН) H_R увеличивается, т.к. для достижения условия ФМР при заданной частоте необходимо внешним полем компенсировать поле размагничивания. Различие между резонансными полями для ОТН и ОЛН увеличивается, поэтому и увеличивается поле эффективной анизотропии. Однако у края, лежащего вдоль ОТН (Ox), компенсация поля размагничивания уже необходима при направлении внешнего поля вдоль ОЛН. В этом случае различие между H_R вдоль ОЛН и ОТН уменьшается, и, соответственно, у этого края снижается поле эффективной анизотропии относительно центра образца. Хорошее совпадение рассчитанных и измеренных угловых зависимостей резонансного поля (рис. 2), а также теоретического и экспериментального распределения поля анизотропии по площади пленки (рис. 1) доказывает достоверность предложенной модели.

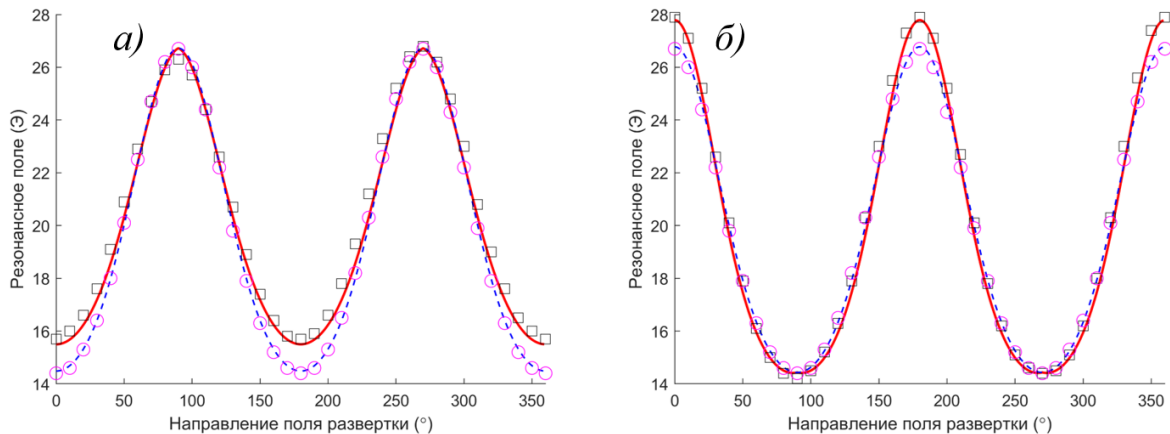


рис.2. Зависимости резонансного поля H_R от направления поля развертки θ_H , маркеры – эксперимент, линии – расчет. Квадратные маркеры и сплошные линии – результаты для края пленки, круглые маркеры и штриховые линии – для центра. а) Результаты для края вдоль Ox , б) – вдоль Oy .

Таким образом, в работе показано, что размагничивающие поля, возникающие на краях тонких магнитных пленок, существенно влияют на их характеристики, что имеет важное прикладное значение. В частности, данные краевые эффекты необходимо учитывать при разработке устройств, использующих магнитные пленки в качестве активных элементов, таких как датчики магнитных полей [4], фазовращатели, умножители частоты, и других.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-32-00086.

Список публикаций:

- [1] В.А. Беляев, А.В. Изотов, А.А. Лексиков, *IEEE Sens.* 5 (2005) 260.
- [2] Б.А. Беляев, В.В. Тюрнев, А.В. Изотов, А.А. Лексиков, *ФТТ*, 58, 56-62 (2016).
- [3] В.А. Беляев, А.В. Изотов, Р.Н. Соловьев, *Physica B*, 481, 86-90 (2016).
- [4] Б.А. Беляев, Н.М. Боев, А.В. Изотов, П.Н. Соловьев, В.В. Тюрнев, *Известия вузов. Физика*, 61, 3–10 (2018).

Магнитоэлектрический эффект в слоистых симметричных и асимметричных структурах для применения в устройствах измерения магнитных полей

Соловьев Артем Игоревич

Киселев Виктор Александрович, Леонтьев Виктор Сергеевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.

JerseyB@yandex.ru

В настоящее время проводится множество исследований и разработок композитных структур на основе магнитоэлектрического эффекта (МЭ), представляющего собой взаимодействие соединенных между собой механической связью пьезоэлектрической и магнитоэлектрической фаз под действием внешнего магнитного поля [1,2]. Развитие МЭ структур и улучшение их параметров позволяет получить новые решения для разработок высокочувствительных устройств измерения магнитных полей.

Рассматриваемые структуры, показанные на рис.1, представляют собой слоистые симметричные и асимметричные сборки размером $10 \times 1 \times 0,7$ мм из композитных материалов пьезоэлектрика ЦТС-19 и магнитоэлектрического материала метгласа, соединенных между собой тонким слоем клея.

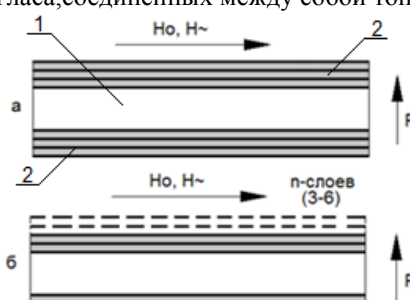


рис.1. Конструкции магнитоэлектрических структур: а - симметричная структура 3-3 (слоев между пьезоэлектриком); б - асимметричная структура n-1; Стрелками указано направление постоянного и переменного магнитных полей и направление поляризации.

1 - пьезоэлектрик ЦТС-19, 2 - обкладки Метгласа.

В общем случае оценить величину МЭ эффекта, основного параметра, определяющего эффективность МЭ структуры, можно по следующей формуле:

$$\alpha_{ME} \sim \frac{d \cdot q}{\varepsilon} \quad (1)$$

где d – пьезоэлектрический модуль, q – пьезомагнитный коэффициент, ε – относительная диэлектрическая проницаемость.

Величина пьезомагнитного коэффициента зависит от константы магнитоэлектрики:

$$q = \frac{\delta \lambda}{\delta H} \quad (2)$$

Применение композитных материалов фаз для МЭ структур с высокими значениями магнитоэлектрики λ (метглас, никель, пермендюр) и большим пьезомодулем d (цирконат-титанат свинца, лантанат, магнийниобат-титанат свинца и другие) позволяет получить в них значения магнитоэлектрического коэффициента по напряжению $\alpha E \sim 0,5-0,9 \text{ В}/(\text{см} \cdot \text{Э})$ в симметричных структурах на низких частотах [3].

Дальнейшее увеличение МЭ эффекта в композитных структурах можно получить, возбуждая образец переменным магнитным полем, частота которого совпадает с частотой собственных акустических колебаний МЭ структуры. При таком возбуждении структура переходит в низкочастотный резонансный режим, при котором существенно увеличивается МЭ коэффициент. Особенностью данного режима является то, что он наиболее сильно проявляется в асимметричных структурах. На рис.2 показаны сравнительные выходные характеристики симметричной структуры 3-3 и асимметричной структуры 6-1.

Полученное выходное напряжение 795 мВ в области насыщения асимметричной структуры 6-1 значительно превосходит по параметрам симметричную структуру 3-3, выходное напряжение которой в ходе измерений составило 525 мВ. Магнитоэлектрический коэффициент по напряжению в асимметричных структурах в режиме низкочастотного резонанса достигает $\alpha E \sim 1 - 1,2 \text{ В}/(\text{см} \cdot \text{Э})$. Данные результаты показывают высокую перспективность использования асимметричных слоистых МЭ структур в разработке высокочувствительных устройств измерения магнитных полей. В рамках полного исследования также

проводится более подробная сравнительная характеристика различных слоистых МЭ структур с целью выявления образца с наилучшими выходными параметрами.

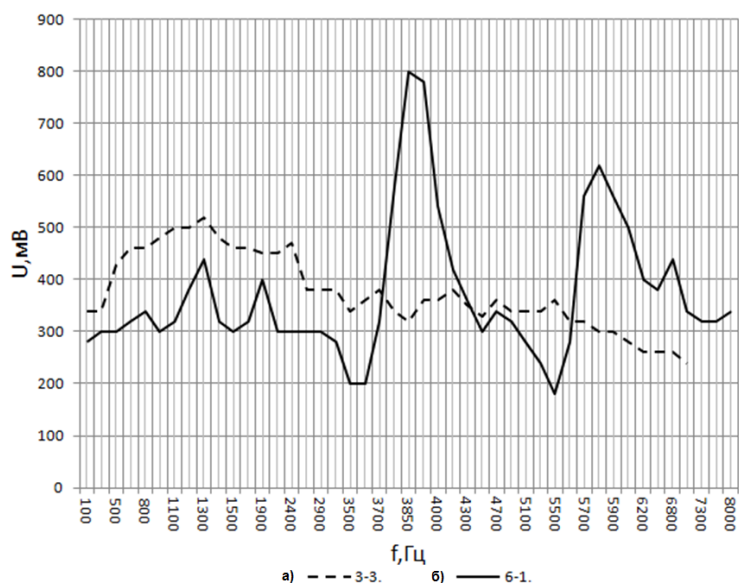


рис.2. График зависимости выходного напряжения от частоты вслоистых МЭ структур: симметричная структура 3-3 (слоев между пьезоэлектриком) ; б - асимметричная структура 6-1;

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБУ Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе УМНИК

Список публикаций:

- [1] Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А., Сринивасан Г. Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах. Великий Новгород: Изд-во НовГУ им. Ярослава Мудрого. 2005. 226с.
- [2] M.I. Bichurin, V.M. Petrov, G. Srinivasan. Theory of lowfrequency magnetolectric effects in ferromagneticferroelectric layered composites. Journal of Applied Physics, 2002, vol. 92, no. 12, pp. 7681–7683.
- [3] Р.В. Петров, В.С. Леонтьев. Сравнение характеристик симметричных и асимметричных магнитоэлектрических структур. Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Технические науки. 2014. № 81. С.76-81. Библиогр. 8 назв.

Микромагнитный расчет динамики намагниченности вблизи краев тонкой магнитной пленки

Соловьев Платон Николаевич

Изотов Андрей Викторович, Беляев Борис Афанасьевич, Скоморохов Георгий Витальевич

Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН

psolovev@iph.krasn.ru

В последние годы нанокристаллические магнитные тонкие пленки привлекают большое внимание исследователей, что связано, в первую очередь, с быстрорастущим технологическим спросом на магнитные материалы с высокой магнитной восприимчивостью [1]. Существует ряд физических и технологических факторов, которые могут привести к существенному снижению магнитной восприимчивости пленки и увеличению ее магнитных шумов, что, очевидно, будет негативно сказываться на рабочих характеристиках устройств, использующих такие пленки в качестве активных сред. Важным источником эффектов, приводящих к снижению магнитной восприимчивости, являются края пленок.

В настоящей работе выполнен численный микромагнитный расчет динамики намагниченности однослойной модели тонкой пленки пермаллоя (10мм×10мм×60нм) с одноосной магнитной анизотропией. Пленка разбивалась на 200×200×1 дискретных элементов. Расчет динамики намагниченности дискретной модели пленки выполнялся решением системы линеаризованных уравнений Ландау-Лифшица [2]. Колебания намагниченности в пленке возбуждались переменным сверхвысокочастотным (СВЧ) магнитным полем (2.3 ГГц) с линейной поляризацией, которое воздействовало лишь на небольшой локальный участок пленки диаметром 1 мм (310 элементов). Анализ результатов показал, что из-за того, что переменное поле воздействует на пленку локально, в пленке, кроме однородного ферромагнитного резонанса (ФМР), возбуждаются дополнительные моды колебания намагниченности (рис. 1). В тоже время, благодаря достаточно высокому

коэффициенту затухания прецессии намагниченности (0.005), распространение колебаний в объем пленки быстро затухает.

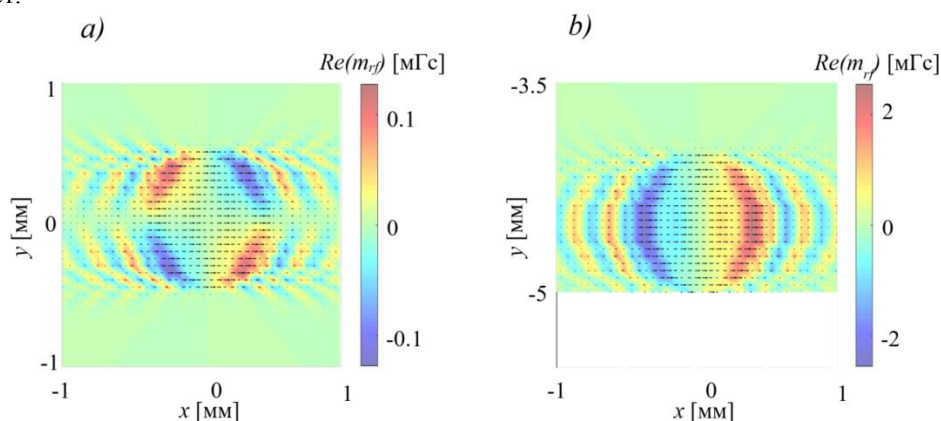


рис.1. Полученные микромагнитным моделированием распределения реальной части переменной намагниченности $Re(m_{rf})$ вблизи центра пленки (a) и у ее края (b).

Из рассчитанного спектра поглощения СВЧ энергии (мнимая часть переменной магнитной восприимчивости) были определены резонансные поля. Оказалось, что у края пленки резонансное поле увеличивается относительно поля в центре на ~ 1 Э. Это смещение обусловлено сильными размагничивающими полями, возникающими на границах пленки. Они являются причиной изменения характера и амплитуды возбуждаемых переменным полем колебаний намагниченности у краев пленки относительно центра (рис. 1), а это и приводит к сдвигу максимума интегрального спектра поглощения СВЧ энергии. Важно отметить, что полученные с помощью микромагнитного моделирования результаты хорошо согласуются с данными эксперимента [3, 4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-32-00086.

Список публикаций:

- [1] J. Petzold, *J. Magn. Magn. Mater.*, 242, 84-89 (2002).
- [2] A.V. Izotov, B.A. Belyaev, P.N. Solovov, N.M. Boev, *Physica B Cond. Matter*, 556, 42-47 (2019).
- [3] B.A. Belyaev, A.V. Izotov, G.V. Skomorokhov, P.N. Solovov, *Mater. Res. Express*, 6, 116105 (2019).
- [4] Б.А. Беляев, Н.М. Боев, А.В. Изотов, Г.В. Скоморохов, П.Н. Соловьев, *Известия вузов. Физика*, 61, 50-56 (2018).

Динамические свойства ферромагнетиков в окрестности точки компенсации углового момента

Трочина Арина Михайловна
Башкирский государственный университет
 Гареева Зухра Владимировна, д.ф.-м.н.
arina.trochina@bk.ru

В настоящее время процессы сверхбыстрого переключения намагниченности привлекают активный интерес исследователей в связи с перспективами их использования в устройствах спинтроники и в информационных технологиях нового поколения.

Перспективными материалами для исследования высокоскоростной магнитодинамики являются антиферромагнетики, обладающие высокими динамическими характеристиками: скорости движения доменных границ в ортоферритах достигают 20 км/с, в них также наблюдается высокочастотная динамика намагниченности [1]. Однако, существуют определенные сложности при экспериментальном исследовании данных эффектов.

В связи с этим в большой интерес вызывает изучение скомпенсированных ферромагнетиков, в которых, как показали исследования последних лет реализуется высокоскоростная динамика намагниченности, в частности, скорости доменных границ достигают 5 км/с [2]. Однако, теоретические модели, используемые для описания динамических явлений в скомпенсированных ферромагнетиках основаны на использовании приближений, например, метод коллективных переменных и атомистические расчеты [2].

В данной работе исследуется динамика намагниченности в скомпенсированных ферромагнетиках типа GdFeCo, CoTb, CoGd, ортоферритах на основе использования эффективного Лагранжиана и эффективной

функции Рэлея. Проводится расчет динамических характеристик данных систем и исследование их поведения при изменении параметров системы. Проведенные расчеты показывают аномальное возрастание частоты ферромагнитного резонанса при приближении к точке компенсации углового момента T_A ($\frac{M_1}{\gamma_1} = \frac{M_2}{\gamma_2}$), где γ_i является гиромагнитным отношением для конкретной подрешетки, M_i – подрешеточная намагниченность ($i = 1,2$). В других ферромагнетиках, где отсутствуют условия компенсации углового момента, обсуждаемые эффекты не реализуются.

Список публикаций:

- [1] Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Четкин М.В.// Динамика доменных границ в слабых ферромагнетиках. УФН. 1985. Т.146. В. 3
 [2] S. K. Kim// Fast and efficient switching with ferrimagnets. Nature Electronics. 2020. 3 (1). 18–19pp.

Параметры обменного взаимодействия ОЦК кристалла железа

Филин Сергей Юрьевич

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

steam-sf97@mail.ru

Железо – это один из самых распространенных элементов в природе, составляет основу магнитомягких углеродистых и неуглеродистых сталей [1]. Среди полиморфных модификаций наиболее стабильной является кристаллическая структура - объемно-центрированная кубическая (ОЦК или α -фаза). ОЦК решетка является ферромагнитной до критической температуры 1045 К.

Экспериментальное и теоретическое изучение магнитного отклика ферромагнитного образца на его деформацию (эффект Виллари) является объектом активного научного исследования уже более века [2]. Однако изучение параметров обменного взаимодействия является актуальным для развития сформировавшегося недавно нового научного направления – стрейнтроники [3], использующей эффекты в твердых телах, обусловленные деформациями и приводящие к изменению зонной структуры, проводящих и магнитных свойств материалов. Подобные эффекты позволяют реализовать новое поколение устройств информационных и сенсорных технологий.

Цель настоящей работы является расчёт параметров обменного взаимодействия в ОЦК кристалла железа. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: выполнить расчёт электронного строения одного и двух связанных атомов железа; расчёт параметров обменного взаимодействия для одного и двух связанных атомов железа; выявить зависимость обменного взаимодействия от суммарного спина системы и межатомного расстояния. Для расчета параметров обменного взаимодействия использовался неограниченный метод Хартри - Фока с базисами атомных орбиталей STO-3G и 6-31G [4].

Как следует из результатов квантово-химических расчётов, полная энергия элементарной ячейки (ЭЯ) в целом убывает с ростом мультиплетности M системы, что свидетельствует об энергетически более устойчивом состоянии с высшими спинами. Расширение атомного базиса до 6-31G приводит к появлению минимума на кривой зависимости $E(M)$ при $M = 7$, что соответствует полному спину $S = 3$.

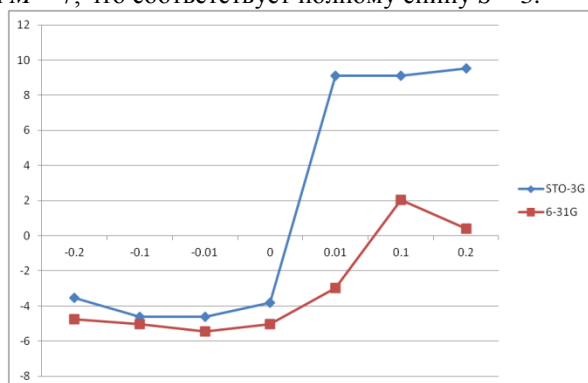


рис. 1 Энергия обменного взаимодействия J (эВ) как функция относительного межатомного расстояния δ для спина $S_{max}=3$

Для изучения деформационных эффектов в кристалле α -железа рассчитана зависимость полной энергии ЭЯ от относительного расстояния $\delta = \pm 0.01, \pm 0.1, \pm 0.2$ между атомами Fe для различной мультиплетности. Показано, что в зависимости от спинового состояния энергетический минимум может смещаться из положения $\delta = 0$ в положение $\delta = 0.01, 0.1$. Для некоторых значений мультиплетности, например, $M = 7$ (STO-3G) и $M = 9$

(6-31G), отсутствует четко выраженный энергетический минимум. Это означает, что деформация ЭЯ ведет к нарушению устойчивости системы.

Результаты расчета параметров обменного взаимодействия в ЭЯ кристалле α -железа как функций относительного расстояния δ показали, что, например, для спинового состояния $S = 3$ (мультиплетность $M = 7$) оба использованных базиса показывают монотонный рост энергии обменного взаимодействия с увеличением δ . Причем при $\delta = 0.01$ (STO-3G), 0.1 (6-31G) наблюдается смена знака параметра обменного взаимодействия J (рис. 1). Это означает возможность деформационного фазового перехода типа «ферромагнетик - антиферромагнетик».

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления магнитным упорядочением в ОЦК кристалле α -железа с помощью механических деформаций.

Список публикаций:

[1] Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1986. 544 с.

[2] Вонсовский С.В. *Магнетизм*. М.: *Наука*, 1971. 1032 с.

[3] Бухараев А. А., Звездин А. К., Пятюк А. П., Фетисов Ю. К. // *УФН*. 2018. Т. 188. № 12. С. 1288.

[4] Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. *Теория строения молекул*. Ростов-на-Дону: *Феникс*, 1997. 560 с.

Перспективные технологии снижения размагничивания линейной части магистрального трубопровода

Якшибаев Булат Робертович

Загидулин Ринат Васикович, Бакиев Тагир Ахметович

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Бакиев Тагир Ахметович

Yakshibayev@mail.ru

В процессе эксплуатации металл магистральных стальных трубопроводов приобретает остаточную намагниченность. Она может быть обусловлена различными причинами: за счет влияния магнитного поля магнитных очистных скребков и магнитных систем внутритрубных магнитных снарядов-дефектоскопов, случайного воздействия сторонних источников магнитных полей, а также при проведении электрической сварки стыков стальных труб и т. д.

В общем случае остаточная намагниченность металла стальных трубопроводов распределяется неоднородно, как по длине, так и по периметру стальной трубы (напряженность поля остаточной намагниченности, измеренная около кромки по периметру стальной трубы, может отличаться от среднего значения на 30%...80%), при этом в ряде случаев она может иметь весьма значительную величину. Последнее относится к магнитному состоянию стального трубопровода после магнитной дефектоскопии, когда металл стальной трубы намагничивается до состояния, близкого к техническому насыщению, что необходимо для обеспечения надежного выявления поверхностных и внутренних дефектов сплошности металла на фоне [1].

После технологических операций, при которых возникает остаточная намагниченность стального трубопровода, должно осуществляться последующее размагничивание металла проконтролированного линейного участка стального трубопровода. Это базовый принцип неразрушающих методов контроля материалов и изделий: до и после проведения неразрушающего контроля промышленного объекта, изделия, его технические параметры (форма, линейные размеры) и физические свойства (механические, электрические и магнитные) должны оставаться неизменными.

В связи с этим следует отметить негативное влияние остаточной намагниченности стального трубопровода при его дальнейшей эксплуатации:

1. Полностью или частично меняется магнитное состояние стального трубопровода, сформированное при сложном напряженном состоянии металла в слабом геомагнитном поле. Это обстоятельство практически исключает дальнейший дистанционный магнитометрический контроль напряженного состояния металла подземного стального трубопровода, так как результаты магнитометрического контроля будут иметь низкую надежность [2];

2. Существенно затруднена электрическая сварка кольцевых сварных соединений стальных труб при проведении ремонтно-восстановительных работ на дефектном участке стального трубопровода.

Взаимодействие тока электрической дуги и сильного поля остаточной намагниченности металла внутри разделки стальных труб приводит к неустойчивости дуги сварки и к разбрызгиванию металла (эффект магнитного дутья), и вследствие этого невозможно добиться высокого качества сварного соединения;

3. Происходит ускоренная эрозия внутренней поверхности стального трубопровода из-за увеличения силы трения инородных магнитных частиц, неизбежно присутствующих в перекачиваемом нефтепродукте за счет сил магнитного притяжения к поверхности металла и т. д.

Существуют переносные установки для размагничивания локальных участков трубопровода, но они применяются преимущественно при проведении ремонтно-восстановительных работ, и не могут размагнитить металл линейного участка стального трубопровода, достигающего несколько сот километров.

С другой стороны, применение этих установок в полевых условиях неудобно - они имеют значительные габариты и вес, требуют значительного времени на процесс монтажа-демонтажа и размагничивания, а также требуют энергоснабжения (вплоть до 380 В и 50 Гц).

Очевидно, что указанные факторы, связанные с устранением остаточной намагниченности после внутритрубной диагностики, приводят к существенным финансовым потерям эксплуатирующей организации.

В настоящее время существуют новые технологии размагничивания стального трубопровода, реализуемые как в виде переносных устройств для размагничивания локальных участков, так и в виде внутритрубных размагничивающих устройств, способных размагнитить весь линейный участок стального трубопровода [1, 3]. Они основаны на компенсации поля остаточной намагниченности стального трубопровода приложенным постоянным магнитным полем обратного направления, имеющего строго определенную величину, необходимую для достижения необходимого уровня максимальной остаточной намагниченности в металле.

На рис.1 показан размагничивающий комплект для стальных изделий и труб РК-02, который применяется для размагничивания локальных участков стального трубопровода, в частности зоны стыка при электрической сварке труб [3]. В нем реализован способ компенсации поля остаточной намагниченности металла с помощью встречного постоянного магнитного поля, создаваемого магнитными компенсаторами. Для создания постоянного магнитного поля в них используются постоянные магниты с большой магнитной энергией, что не требует наличия стороннего источника электрической энергии.



рис.1. Размагничивающий комплект для стальных изделий и труб РК-02

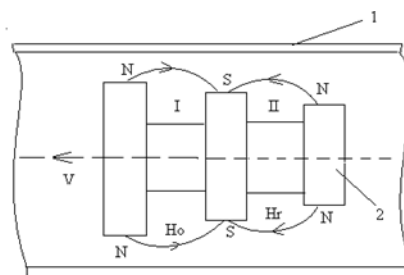


рис.2. Схема магнитной системы устройства внутритрубного размагничивания
1 - стальной трубопровод, 2 – магнитная система

Эта технология позволила создать малогабаритное энергонезависимое размагничивающее устройство, лишенное недостатков, присущих существующим переносным установкам.

Разработана технология размагничивания стального трубопровода внутритрубным размагничивающим устройством (рис.2). В отличие от существующих моделей, она имеет эффективную магнитную систему, основанную на несимметричном цикле перемагничивания металла, обеспечивающей размагничивание стального трубопровода до нормативного значения остаточной намагниченности металла [1].

При несимметричном цикле перемагничивания вначале металл стальной трубы доводится магнитным полем с напряженностью H_0 до магнитного насыщения, затем размагничивается магнитным полем обратного направления H_r .

Список публикаций:

- [1] Загидулин Р.В., Якишбаев Б.Р., Загидулин Т.Р. Исследование и расчет устройства внутритрубного размагничивания стального трубопровода (УВР). Часть 2. Расчет магнитной системы внутритрубного размагничивающего устройства. – Контроль. Диагностика, 2010, № 1, с.11-17.
- [2] Загидулин Р.В., Загидулин Т.Р., Коннов В.В. К вопросу дистанционного магнитометрического контроля стального трубопровода. Часть 1. К измерению напряженности магнитного поля над стальным трубопроводом в геомагнитном поле. - Контроль. Диагностика, 2015, №1, с.23-32.
- [3] Мужижкий В.Ф., Кудрявцев Д.А., Загидулин Р.В. Комплект для размагничивания локального участка стыка труб перед сваркой РК – 02.- Контроль. Диагностика, 2004, №7, с.21-22.

07 - Оптика и спектроскопия

Алякин Артем Валерьевич, 4 курс

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический, оптоинформатики

Формирование пучка Бесселя с помощью пространственного модулятора для исследования структуры плёнка-подложка

Большаков Максим Вячеславович, к.ф.-м.н.

e-mail: alyakin.a.v@mail.ru стр. 187

Ахмедьянова Гузелия Гаязовна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы, институт физики и математики

Исследование влияния условий изготовления полимерных пленок на их оптические свойства

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: guzeliaakhmedyanova@gmail.com стр. 188

Белов Кирилл Николаевич, 1 курс

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический

Исследование микроструктуры лазерной керамики Yb:LuAG методом комбинационного рассеяния света

Кундикова Наталия Дмитриевна, д.ф.-м.н.

e-mail: belovkirillnikolaevich@gmail.com стр. 189

Бетлени Павел Игоревич, 4 курс

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический

Одновременное независимое преобразование поляризации света для двух длин волн

Кундикова Наталия Дмитриевна, д.ф.-м.н.

e-mail: pavl90bar@gmail.com стр. 190

Бочарникова Елена Николаевна, магистрант 2 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический

Теоретическое исследование спектральных характеристик 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана

Чайковская Ольга Николаевна, д.ф.-м.н.

e-mail: bocharnikova.2010@mail.ru стр. 192

Выломов Леонид Павлович, 4 курс

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический

Влияние технологии изготовления тонких пленок ZnO на внутренние механические напряжения

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

e-mail: leonyvylomov@gmail.com стр. 193

Гавриляк Алина Маратовна, магистрант 1 года обучения

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический

Влияние технологии нанесения тонких пленок оксида цинка на параметры их запрещенной зоны

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

e-mail: AlinaIshmurzina1609@gmail.com стр. 194

Демченко Ксения Денисовна, 3 курс

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, оплотехники

Формирование сбалансированного освещения рабочего места в режиме естественного и искусственного света

Гречкина Татьяна Валерьевна, к.ф.-м.н.

e-mail: ksende1101@gmail.ru стр. 196

Доломатова Милана Михайловна, аспирант 3 года обучения

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

О связи физико-химических свойств сложных углеводородных веществ с интегральными

автокорреляционными характеристиками спектров

Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н.

e-mail: milana.1992@mail.ru стр. 197

Дубас Виктория Викторовна, 4 курс

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, географии, геоэкологии и туризма

Спектральный анализ природных минералов из глинистых отложений Крыма

Алексашкин Игорь Владимирович, к.х.н.

e-mail: victoriadubas.VD@gmail.com стр. 199

- Короткова Мария Анатольевна, 6 курс
Волгоград, Волгоградский государственный университет, институт математики и информационных технологий
Квантово-химическое исследование оптической активности аскорбатов
Куценко Светлана Анатольевна, к.ф.-м.н.
e-mail: MariyaKorotkovaSTUDENT2014@yandex.ru стр. 201
- Лукьяненко Иван Юрьевич, 4 курс
Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, прикладной математики и физики
Продольный сдвиг перетяжки пучка Гаусса
Кундикова Наталия Дмитриевна, д.ф.-м.н.
e-mail: luk.v5@mail.ru стр. 202
- Мигранова Диана Радиковна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Исследование волоконно-оптического ответвителя и потерь в волоконно-оптическом тракте
Лопатюк Алена Викторовна,
e-mail: di.migranova99@icloud.com стр. 203
- Хайранов Расул Хакимзянович, 3 курс
Челябинск, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, физико-математ-ий
Изменение спектра ИК поглощения химически карбонизированного ПВДФ при старении в атмосфере воздуха
Песин Леонид Абрамович, д.ф.-м.н.
e-mail: r5003@mail.ru стр. 205
- Хафизов Денис Раилович, 4 курс
Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, Институт естественных и точных наук
Моделирование отражения световых пучков от многослойной поверхности
Кундикова Наталия Дмитриевна, д.ф.-м.н.
e-mail: qwmnzxio07108afhkl@mail.ru стр. 206
- Хохлова Татьяна Николаевна, 4 курс
Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
институт космических исследований и высоких тех-ий
Факторный анализ спектров сечения неупругого рассеяния электронов Al
Игуменов Александр Юрьевич, к.ф.-м.н.
e-mail: tanya.xo.xo03@gmail.com стр. 207
- Чжан Фанцэ -, аспирант 3 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, школа физики
высокоэнергетических процессов
Исследование спектра высокого разрешения полосы $4\nu_2$ молекулы H_2S
Улеников Олег Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: 1946529618@qq.com стр. 208
- Чибинева Екатерина Сергеевна, 6 курс
Волгоград, Волгоградский государственный университет, Институт математики и информационных технологий
Исследование перекисного окисления аскорбиновой кислоты методом оптической спектроскопии
Куценко Светлана Анатольевна, к.ф.-м.н.
e-mail: chibineva2017@mail.ru стр. 209
- Чупин Илья Александрович, 1 курс
Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, Институт естественных и точных наук
Метод определения параметров анизотропии поляризационных систем
Бибикова Эвелина Анатольевна, к.ф.-м.н.
e-mail: hh.hgfhg@mail.ru стр. 211
- Ядрышников Антонина Марьевна, 4 курс
Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический
Исследование возможности управления спектральным откликом аперриодических дифракционных структур в оптическом волокне
Герасимов Александр Михайлович, к.ф.-м.н.
e-mail: unbiodegradable@gmail.com стр. 212

Формирование пучка Бесселя с помощью пространственного модулятора для исследования структуры плёнка-подложка

Алякин Артём Валерьевич

Ахмеров Надил Вильданович

Южно-Уральский государственный университет

Большаков Максим Вячеславович, к.ф.-м.н.

alyakin.a.v@mail.ru

Спин-орбитальное взаимодействие света - это явление, при котором внешний и внутренний орбитальные моменты взаимодействуют со спиновым моментом и влияют друг на друга. Существуют продольный сдвиг Гуса-Ханхена — продольный сдвиг линейно поляризованного света при полном внутреннем отражении, поперечный сдвиг Имберта-Федорова — поперечный сдвиг центра тяжести пучка при полном внутреннем отражении и угловые сдвиги Гуса-Ханхена и Имберта-Федорова, возникающие при отражении от границы раздела двух сред. Также проявление спин-орбитального взаимодействия света можно увидеть при отражении светового пучка с внутренним орбитальным моментом от пленки [1]. Было предсказано поперечное смещение пучка Бесселя, отраженного от диэлектрической пленки при изменении знака орбитального момента импульса, причем величина сдвига не зависела от поляризации падающего пучка. Но до сих пор не было получено экспериментального подтверждения.

Сам пучок Бесселя является одним из точных решений волнового уравнения класса недифрагирующих полей. К сожалению, в идеальном случае пучки Бесселя не могут быть получены (для их создания требуется бесконечная энергия), так что для экспериментальной реализации было придумано ограничение по апертуре. Эти Бессель-Гауссовы пучки обладают свойством сохранять свою форму на некотором протяжении и самовосстанавливаться после препятствия.

Генерация пучков света с дислокацией волнового фронта может быть осуществлена несколькими способами: с помощью голограммы [2], с помощью спиральных фазовых пластинок, с помощью цилиндрических линз, с помощью дифракционных оптических элементов, с помощью пространственного фазового модулятора.

В данной работе выбран способ генерации пучков Бесселя посредством пространственного фазового модулятора, который преобразовывает пучок Гаусса в пучок Бесселя. Модулятор света – это устройство для управления параметрами световых потоков, т.е. амплитудой, частотой, фазой, поляризацией. Простота в использовании (и в модуляции), возможность фазовой и/или амплитудной модуляции находит применение во многих аспектах адаптивной оптики.

Целью работы является экспериментальное получение светового пучка с дислокацией волнового фронта с помощью пространственного фазового модулятора для исследования структуры плёнка-подложка.

Для получения пучка Бесселя первого порядка была рассчитана маска интерференции Гаусса-Бесселя, которая использовалась в пространственном фазовом модуляторе в установке модифицированного интерферометра Майкельсона (рис. 1).

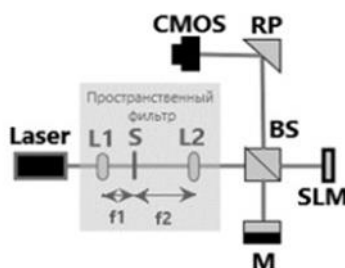


рис. 1. Оптическая схема интерферометра Майкельсона для выяснения качеств полученных пучков Бесселя: Laser – твердотельный лазер ($\lambda = 532$ нм) мощностью (35 ± 0.01) мВт, L1, L2 – линзы с фокусными расстояниями $f1 = 75$ мм и $f2 = 150$ мм соответственно, S – диафрагма диаметром 87.5 мкм, BS – делитель пучка, M – глухое зеркало, SLM – пространственный модулятор света, RP – призма полного внутреннего отражения, CMOS – CMOS-камера (1280×1024)

Был экспериментально получен профиль распределения интенсивности пучка Бесселя первого порядка (рис. 2). Данный пучок имеет дислокацию волнового фронта, так как интерференция с параллельно идущим пучком Гаусса имеет вид “вилки” (рис. 3).

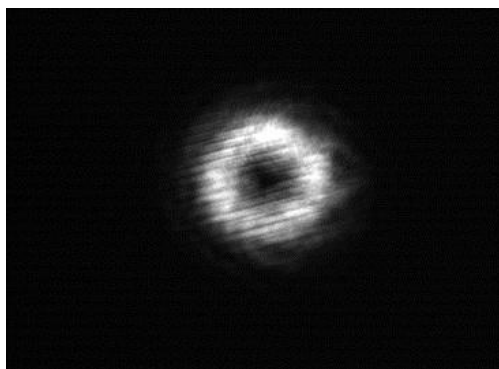


рис. 2. Экспериментально полученный пучок

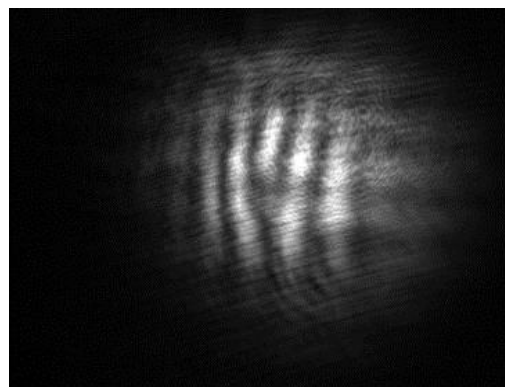


рис. 3. Интерференционная картина экспериментально полученного пучка и параллельно идущего пучка Гаусса

В данной работе были экспериментально сформированы пучки Бесселя при помощи пространственного фазового модулятора света. Далее планируется экспериментально исследовать отражение пучка Бесселя первого порядка от структуры плёнка-подложка.

Список публикаций:

- [1] Kundikova N., Zaitsev K. // *Proc. 23rd Congr. Int. Comm. Opt. Santiago Compost. 26th–29th August 2014* 70_96.
 [2] Bekshaev A. Y., Bekshaev A. S., Mohammed K. A. // *Ukr. J. Phys. Opt.* 2014. vol. 15. № 3. p. 123.

Исследование влияния условий изготовления полимерных пленок на их оптические свойства

Ахмедьянова Гузелия Гаязовна

Киан Мохаммадамин Фарамарз

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

guzeliaakhmedyanova@gmail.com

В докладе приведены результаты исследования спектров поглощения тонких пленок полимеров в зависимости от условий их изготовления. Ранее было обнаружено влияние кислорода на проводимость структуры металл/полимер/металл. Однако до сих пор не был изучен вопрос о влиянии кислорода на свойства полимерных пленок на стадии изготовления этих пленок. В связи с этим, целью данной работы было изучение оптических свойств тонких пленок полидифениленфталида (ПДФ), изготовленных в условиях вакуума и открытой атмосферы. В работе были использованы свободные пленки ПДФ, полученные методом Лэнгмюра. В процессе изготовления на стадии удаления остатков растворителя пленки подвергались отжигу либо на воздухе, либо в вакууме. Предполагалось, что отжиг в вакууме уменьшит влияние кислорода на электронные свойства пленок. Контроль за изменением свойств пленок проводили оптическим методом, регистрируя спектры электронного поглощения. Для выявления разности в спектрах поглощения дополнительно измеряли разностный спектр поглощения, помещая пленки, приготовленные разными способами одновременно в разные окна спектрометра. Типичный разностный спектр поглощения представлен на рис. 1.

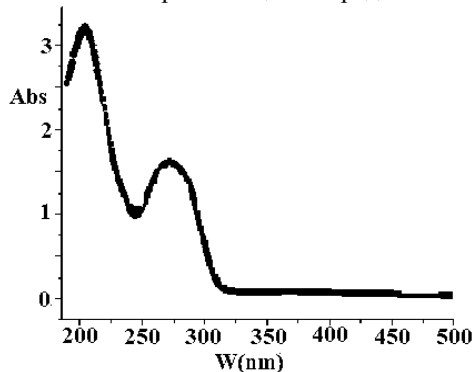


рис.1. Разностный спектр поглощения свободных пленок ПДФ отлитых из 1% раствора в циклогексаноне.

Обнаруженная разница в спектрах поглощения свидетельствует об образовании комплекса макромолекулы с кислородом, который должен существенным образом влиять не только на оптические свойства, но и на другие электронные свойства тонких полимерных пленок.

В докладе обсуждается возможный механизм формирования кислородных комплексов и обусловленных ими ловушек зарядов, влияющих на транспорт носителей заряда в пленках полимеров.

Исследование микроструктуры лазерной керамики Yb:LuAG методом комбинационного рассеяния света

Белов Кирилл Николаевич

Демина Любовь Игоревна

Южно-Уральский государственный университет

Институт электрофизики УрО РАН

Кундикова Наталья Дмитриевна, Иванов Максим Геннадьевич

belovkirillnikolaevich@gmail.com

Лазерная керамика является активной средой твердотельного лазера, имеет поликристаллическую зерновую структуру с допированными элементами (например, ионами редкоземельных металлов), на которых происходит генерация когерентного излучения. По сравнению с монокристаллами производство лазерной керамики дешевле, лазерная керамика обладает лучшими механическими свойствами, а по своим генерационным свойствам близка к монокристаллам того же состава [1].

Эффективность генерации лазерного излучения в оптической керамике зависит от дефектов и от технологического процесса на разных этапах её синтеза. Оптимальная технология синтеза, которая обеспечивала бы и высокое качество, и экономическую эффективность производства керамики разных составов не разработана [2]. Светорассеяние в лазерной керамике зависит от среднего размера зерна поликристаллической структуры. Размер зерна зависит от технологии производства, его оптимальные значения для лазерных керамик составляют около 20-50 мкм [3].

Один из методов определения микроструктуры оптической керамики – метод комбинационного рассеяния света. Метод был предложен в работе [4] для исследования лазерной керамики алюмо-иттриевого граната, допированного ионами неодима (1 at% Nd:YAG). Метод заключается в регистрации локальных спектров комбинационного рассеяния с заданным интервалом на поверхности керамики и анализом полученных спектров по значениям центра-масс интенсивности пиков в определённом спектральном диапазоне. Анализируемые пики отвечают за молекулярное движение «основных» ионов граната и замещающих их ионов неодима. В результате были получены изображения с контрастными светлыми и тёмными пятнами, которые проявляют зерновую структуру поверхности поликристаллической керамики.

Цель настоящей работы – определение вышеописанным методом среднего размера поликристаллических зёрен лазерной керамики алюмо-лутециевого граната, допированного ионами иттербия (3 at% Yb:LuAG).

Лазерная керамика Yb:LuAG обладает некоторыми преимуществами, в том числе более высокой теплопроводностью, по сравнению с керамикой Nd:YAG [5]–[7]. Спектры комбинационного рассеяния регистрировались на спектрометре комбинационного рассеяния ЗНЛ ИНТЕГРА СПЕКТРА в спектральном диапазоне 300-500 см⁻¹ на длине волны 633 нм.

На рис.1 (а) представлен спектр комбинационного рассеяния керамики 3 at% Yb:LuAG. Вертикальными линиями выделен спектральный диапазон от 365 см⁻¹ до 405 см⁻¹. В этом диапазоне располагаются два пика, которые нужно анализировать по значениям центра-масс интенсивности после получения множества спектров на заданной поверхности.

Пространственное распределения интенсивности было получено на четырёх участках поверхности исследуемого образца. На рис.1 (б) изображено одно из четырёх пространственных зависимостей значения центра-масс интенсивности рассматриваемых двух пиков. Контрастные пятна, наблюдаемые на рисунке, соответствуют разным зёрнам и воспроизводят поликристаллическую структуру лазерной керамики. Проявление светлых и тёмных пятен связано с различными значениями центра-масс интенсивности указанных пиков в спектрах комбинационного рассеяния, полученных на поверхностях разных зёрен. Это обусловлено тем, что грани зёрен лазерной керамики на её поверхности имеют разные кристаллографические ориентации и как следствие, разный процент сегрегации допирующей примеси на разных кристаллографических гранях.

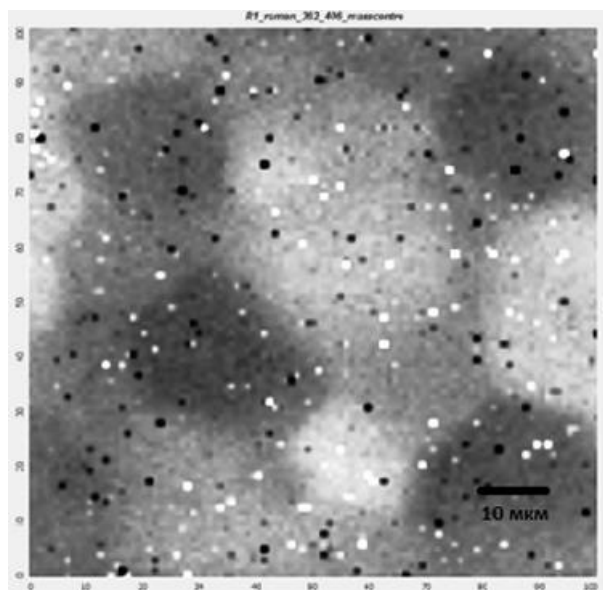
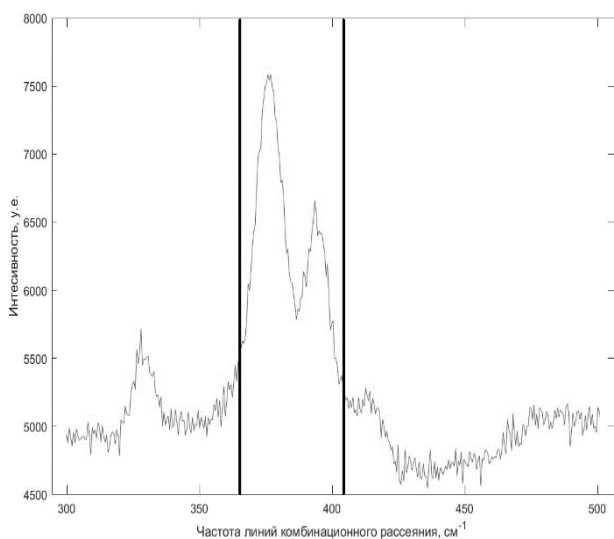


рис.1. Спектры комбинационного рассеяния керамики 3at%Yb:LuAG: (а) локальный спектр в диапазоне от 300см^{-1} до 500см^{-1} , (б) изображение, полученное после анализа пиков по значениям центра-масс интенсивности в спектрах комбинационного рассеяния поверхности 3at%Yb:LuAG размером $85 \times 85\text{ мкм}$

Таким образом, методом комбинационного рассеяния показано, что средний размер зёрен лазерной керамики 3at%Yb:LuAG составляет примерно 20 мкм.

Список публикаций:

- [1] Егоров А. С., Савикин А. П. // Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. 2011.
- [2] Иванов М. Г., Копылов Ю. Л., Кравченко В. Б., Лопухин К. В., Шемет В. В. // Неорганические Материалы. 2014. Т. 50. №9. С. 1028.
- [3] Багаев С. Н. и др. // Перспективные материалы. 2012. Т. 4. С. 18.
- [4] Ramirez M. O. et al. // Opt. Express. 2008. Vol. 16. №9. P.5965.
- [5] Brown D. C., McMillen C. D., Moore C., Kolis J. W., Envid V. // Journal of Luminescence. 2014. Vol. 148. P.26.
- [6] Wang S. F. et al. // Prog. Solid State Chem. 2013. Vol. 41. №1–2. P. 20.
- [7] Yan D., Liu P., Xu X., Zhang J., Tang D. // J. Eur. Ceram. Soc. 2018, Vol. 38, №11. P. 4043.
- [8] Aschauer U., Bowen P., Parker S. C. // J. Am. Ceram. Soc. 2008. Vol. 91. №8. P. 2698.

Независимое одновременное преобразование поляризации для двух разных длин волн с использованием жидкокристаллических ячеек

Бетлени Павел Игоревич

Южно-Уральский государственный университет

Кундикова Наталья Дмитриевна, д.ф.-м.н.

pavl90bar@gmail.com

Задача о независимом преобразовании поляризации для света с разными длинами волн представляет определенный интерес в области поляризационной оптики. Уже была разработана система из 4 слюдяных пластинок. Ее переключение осуществлялось поворотом собственных осей пластинок. Однако есть потребность в минимизации времени переключения системы и возможности автоматического ее управления. Поэтому более подходящим решением является использование нематических жидкокристаллических ячеек в качестве фазосдвигающих элементов. Таким образом, целью данной работы является описание метода независимого одновременного преобразования состояния поляризации для двух длин волн с использованием жидкокристаллических ячеек.

Для описания поляризованного света удобнее всего использовать формализм Джонса [1]. Элемент, способный преобразовывать состояние поляризации в данном формализме описывается матрицей Джонса 2×2 с комплексными элементами. Матрица системы поляризационных элементов представляет собой произведение матриц каждого элемента. Для линейного фазосдвигающего элемента матрица Джонса записывается в виде:

$$T = R(-\varphi) \times \begin{pmatrix} \exp(i\Gamma/2) & 0 \\ 0 & \exp(-i\Gamma/2) \end{pmatrix} \times R(\varphi), \quad (1)$$

где R – матрица поворота, φ – угол между собственными осями элемента и осями координат, Γ – фазовый сдвиг между быстрой и медленной компонентами.

Переключение двулучепреломляющей пластинки осуществляется путем механического изменения угла φ ориентации собственных осей. Переключение же нематической жидкокристаллической ячейки осуществляется путем изменения фазового сдвига Γ при подаче электрического напряжения на нее [2].

Согласно модифицированной теореме Джонса [3] система из любого количества фазосдвигающих элементов может быть представлена в виде одной эффективной фазосдвигающей пластинки и оптически активной среды. Эффективная пластинка повернута на угол и имеет эффективный фазовый сдвиг. Эффективные параметры очень удобны для анализа конечных свойств поляризационной системы, так как позволяют значительно упростить ее. Особенно удобен эффективный фазовый сдвиг, значение которого может сказать о том какой диапазон поляризаций можно получить на выходе. Приравнивая результирующие матрицы Джонса для исходной и эффективной системы, можно найти эффективные параметры.

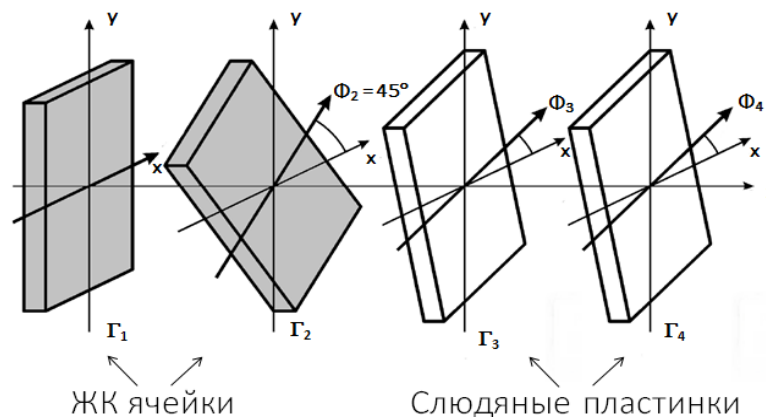


рис.1. Схематичное изображение моделируемой системы.

В настоящем подходе моделировалась система из двух жидкокристаллических ячеек с переменным фазовым сдвигом и двумя фазосдвигающими слюдяными пластинками (рис.1), имеющими фиксированный фазовый сдвиг ($\Gamma_3 = 63.9^\circ$, $\Gamma_4 = 63.9^\circ$ при $\lambda_1 = 0,63$ мкм). Азимутальные углы ориентаций собственных осей обеих пластинок φ_3 и φ_4 могли изменяться, ориентации собственных осей жидкокристаллических ячеек были зафиксированы ($\varphi_2 = 30^\circ$ – угол между собственными осями ячеек). Фазовые сдвиги первой жидкокристаллической ячейки для λ_1 и λ_2 ($\Gamma_1^{\lambda_1}$ и $\Gamma_1^{\lambda_2}$ соответственно) изменялись независимо в пределах от 0° до 180° . Независимое изменение $\Gamma_1^{\lambda_1}$ и $\Gamma_1^{\lambda_2}$ позволяло проанализировать все возможные значения, которые может принимать λ_2 .

В работе были получены зависимости максимального и минимального эффективного фазового сдвига $\Gamma_{\text{eff}}^{\lambda_2}$ этой системы для λ_2 от фазовых сдвигов первой жидкокристаллической ячейки $\Gamma_1^{\lambda_1}$ и $\Gamma_1^{\lambda_2}$. При этом система была настроена как полуволновая пластинка ($\Gamma_{\text{eff}}^{\lambda_1} = \pi$) для λ_1 . Дисперсия не учитывалась.

Как можно видеть из рисунка (рис.2), вдоль прямой $\Gamma_1^{\lambda_1} = \Gamma_1^{\lambda_2}$ значения минимального и максимального фазового сдвига одинаковы и равны 180° . Отсюда следует, что система остается полуволновой пластинкой для λ_1 при любых значениях $\Gamma_1^{\lambda_1}$. При коротковолновых значениях λ_2 (выше прямой $\Gamma_1^{\lambda_1} = \Gamma_1^{\lambda_2}$) наблюдается разрыв между максимальным и минимальным $\Gamma_{\text{eff}}^{\lambda_2}$ в одних и тех же точках. В точке $\Gamma_1^{\lambda_1} = 51.8^\circ$, $\Gamma_1^{\lambda_2} = 103.9^\circ$ эффективный фазовый сдвиг изменяется в наибольшем интервале значений ($2^\circ < \Gamma_{\text{eff}}^{\lambda_2} < 170^\circ$). При таких значениях $\Gamma_1^{\lambda_1}$ и $\Gamma_1^{\lambda_2}$ можно получить наибольшее разнообразие поляризаций для λ_2 на выходе.

Таким образом, с помощью системы из четырех фазосдвигающих элементов возможно осуществить независимое одновременное преобразование поляризации для двух разных длин волн. При этом система из двух жидкокристаллических ячеек и двух слюдяных пластинок может обеспечить широкий диапазон эффективного фазового сдвига для определенных длин волн, сохраняя при этом свойства полуволновой пластинки для длины волны $\lambda_1 = 0.63$ мкм.

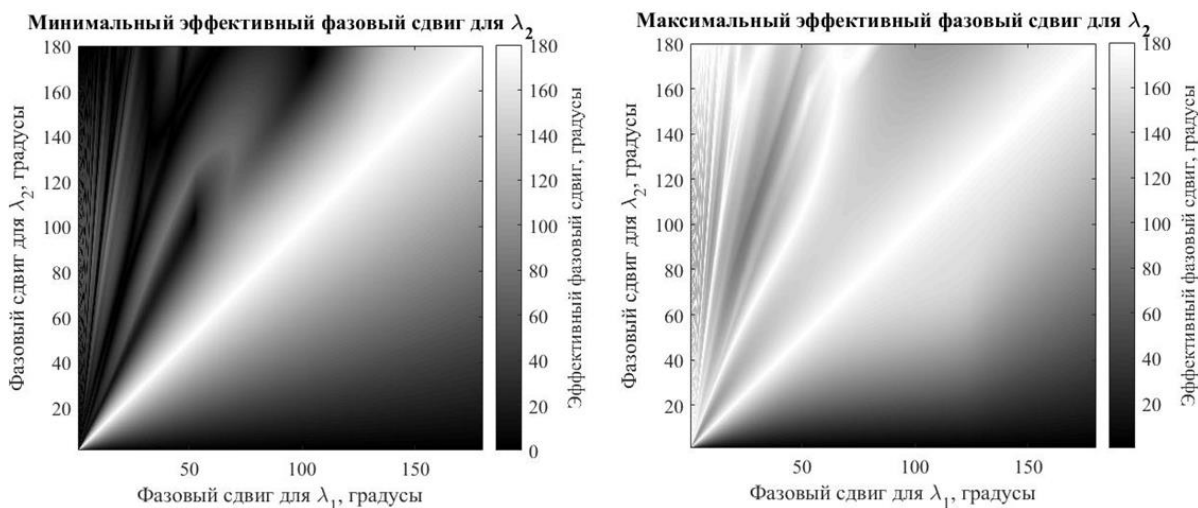


рис.2. Рассчитанные зависимости минимального и максимального $\Gamma_{eff}^{\lambda_2}$ от $\Gamma_1^{\lambda_1}$ и $\Gamma_1^{\lambda_2}$. $\Gamma_2^{\lambda_1}$ – изменяющийся параметр, $\Gamma_3^{\lambda_1} = \Gamma_4^{\lambda_1} = 63,9^\circ$, φ_3 и φ_4 не зафиксированы, $\varphi_2 = 30^\circ$.

Список публикаций:

- [1] Jones R. C. // *J. Opt. Soc. Am.* 1941. Т. 31. № 7. С. 488–493.
 [2] Wu S. T., Efron U. and Hess L. D. // *Appl. Opt.* 1984. Т. 23. № 21. С. 3911–3915.
 [3] Darshit M. Y., Gol'tser I. V., Kundikova N. D. and Zel'dovich B. Y. // *Appl. Opt.* 1995. Т. 34. № 19. С. 3658–3661.

Теоретическое исследование спектральных характеристик

4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана

Бочарникова Елена Николаевна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Чайковская Ольга Николаевна

bocharnikova.2010@mail.ru

4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропан (ВРА) широко используется при синтезе пластмасс (как ключевой мономер) и эпоксидных смол (в виде отвердителя). При попадании в живой организм обладает эндокринной активностью. Эстрогеноподобные свойства ВРА известны еще с 1936 года. В 1990-х годах прошлого века стало понятно, что ВРА может выделяться из поликарбонатного пластика в концентрациях, достаточных для повышения экспрессии рецепторов к прогестерону и активации рецепторов к эстрогенам. По определению Агентства по охране окружающей среды США эндокринные дисрапторы являются «экзогенными факторами, которые влияют на синтез, секрецию, транспорт, связывание, действие или элиминацию собственных гормонов в организме, которые отвечают за поддержание гомеостаза, размножение, развитие, и/или поведение». Эндокринные дисрапторы представляют собой гетерогенные группы молекул: природные вещества (фитоэстрогены сои, клевера и люцерны), фунгициды (винклозолин), химические промышленные вещества (полихлорированные бифенилы), металлы (свинец, ртуть, уран, кадмий, мышьяк и т.д.), пестициды (2,4-Д, ДДТ), пластификаторы (фталаты) и компоненты пластмасс. ВРА в настоящее время является одним из химических веществ с большим объемом производства - около 3 000 тонн в год по всему миру, а почти 100 тонн его выбрасывается ежегодно в окружающую среду. Структурная формула исследуемого соединения представлена на рис. 1.

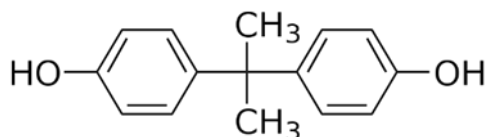


рис. 1. Структурная формула молекулы ВРА

Целью работы является исследование природы электронных состояний и каналов деградации энергии возбуждения в молекуле ВРА. Методами квантовой химии с использованием теории внутримолекулярных фотофизических процессов проведена интерпретация спектрально-люминесцентных свойств ВРА, установлены орбитальная природа фотодиссоциативных состояний и влияние энергии возбуждения на эффективность фотореакций.

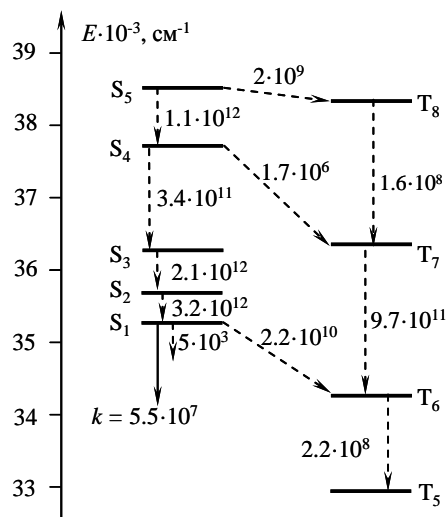


рис. 2. Энергетическая схема электронно-возбужденных состояний изолированной молекулы ВРА.

Квантово-химические алгоритмы и программы основаны на полупирическом методе частичного пренебрежения дифференциальным перекрытием со спектроскопической параметризацией (ЧПДП/С). Точные структурные параметры исследованной молекулы (длины связей, валентные и торсионные углы) не известны, поэтому геометрия молекулы в основном состоянии оптимизирована с помощью метода MM2 (Chem Office). Экспериментальные данные получены на спектрофлуориметре SM2203.

Анализ расчетов показал, что дезактивация энергии возбуждения в ВРА происходит по каналам внутренней и интеркомбинационной конверсий. Значение квантового выхода флуоресценции ВРА, полученное из расчета $\phi_f = 0.0025$ ($\phi_f = 0.0011$), связано с конкуренцией процессов интеркомбинационной конверсии и испускания. Рассчитанные константы фотофизических процессов, рассеяющих нижнее синглетное возбужденное состояние, равны: $k_f = 7 \times 10^7 \text{ c}^{-1}$ и $k_{ST} = 3 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}$. В докладе обсуждается природа электронных возбужденных состояний ВРА.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России.

Влияние технологии изготовления тонких пленок ZnO на внутренние механические напряжения

Выломов Леонид Павлович

Гавриляк Алина Маратовна, Лукашев Владимир Сергеевич

Белов Кирилл Николаевич

Южно-Уральский государственный университет

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

leonvylomov@gmail.com

Оксид цинка ZnO является широкозонным полупроводником ($\Delta E_g = 3.37 \text{ эВ}$), обладающим одной из самых больших энергий связи экситонов ($\approx 60 \text{ мэВ}$), что делает перспективным его применение при создании компонентной базы электроники, в частности, ультрафиолетовых светодиодов.

В настоящее время известно несколько технологий изготовления тонких пленок оксида цинка, самой доступной из которых является оксидирование тонких пленок цинка, нанесенных на подложку. Одной из проблем, возникающих при использовании данной технологии, является возникновение внутрипленочных механических напряжений приводящих к изменению параметров и свойств пленок оксида цинка. Наиболее эффективным методом оценки величины механических напряжений и их пространственного распределения является спектроскопия комбинационного рассеяния света.

Целью данной работы является оценка влияния температуры стеклянной подложки при нанесении пленок цинка на величину механических напряжений в пленках ZnO методом комбинационного рассеяния.

Данный метод основан на том, что разность характерных частот спектральных линий $\Delta\omega$ в спектре комбинационного рассеяния линейно зависит от механического напряжения (σ):

$$\Delta\omega = k\sigma, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

В рамках данной работы исследовались пленки ZnO (толщина 40 нм), полученные окислением пленок цинка, изготовленные электроно-лучевым методом при разных температурах стеклянных подложек (при температуре подложки 28°C и 100°C во время изготовления), исследование проведено на спектрометре комбинационного рассеяния света NT-MDT Integra Spectra на длине волны возбуждающего излучения 472,8 нм.

Спектры исследуемых тонких пленок ZnO имеет только один пик, максимум которого расположен около 444 см^{-1} , что соответствует вкладу атома кислорода. Наблюдается смещение спектрального положения

данного пика (рис.1). Данный факт свидетельствует о наличии механического напряжения в тонкой пленке оксида цинка. К сожалению, исследование тонких пленок ZnO 100 °C затруднено, поскольку не виден ее пик на спектре из-за фотолюминесценции.

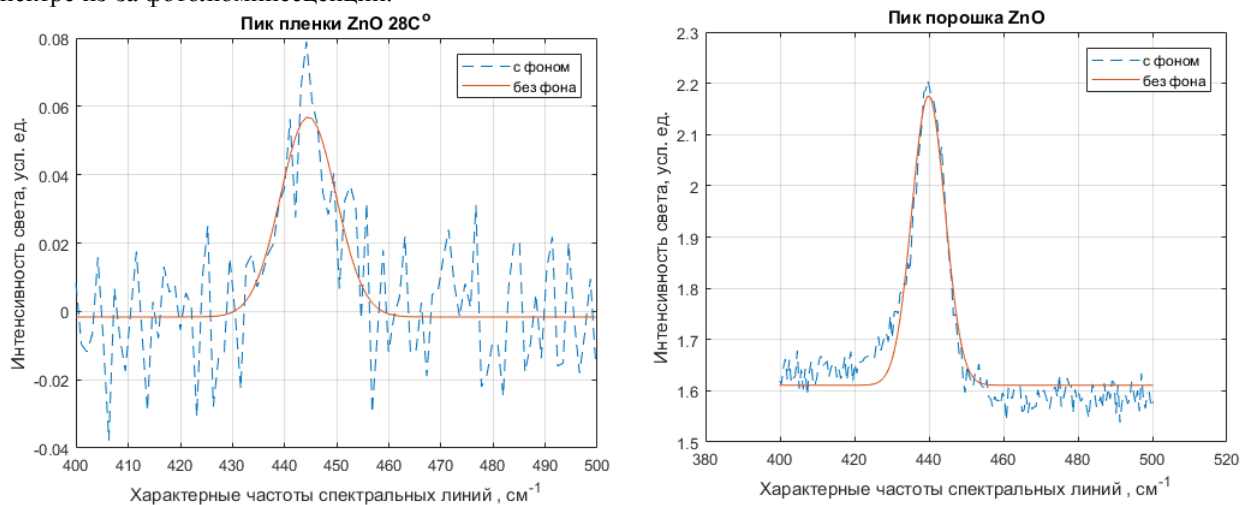


рис. 1. Пики тонкой пленки ZnO 28 °C (444 см^{-1}) и порошка ZnO (440 см^{-1}).

Влияние технологии нанесения тонких пленок оксида цинка на параметры их запрещенной зоны

Гавриляк Алина Маратовна

Выломов Леонид Павлович, Гавриляк Максим Витальевич, Лукашев Владимир Сергеевич

Южно-Уральский государственный университет

Подгорнов Федор Валерьевич, к.ф.-м.н.

AlinaIshmurzina1609@gmail.com

Оксид цинка ZnO – широкозонное полупроводниковое соединение с шириной запрещенной зоны $E_g = 3.436 \text{ эВ}$ [1]. Благодаря своим уникальным оптическим и электрофизическим свойствам, оксид цинка обладает большим потенциалом для различных практических применений. Наличие примесей или изменение состава может привести к сдвигу запрещенной зоны E_g . Различия соотношения кислорода и цинка, при различных условиях нанесения и последующего отжига тонких пленок ZnO, значительно влияют на свойства данного материала. Таким образом, целью работы является исследование влияния технологии нанесения тонких пленок оксида цинка на параметры ширины запрещенной зоны.

Формирование тонких пленок оксида цинка происходило при двух различных условиях. В первом случае гранулированный цинк наносился на стеклянную подложку при комнатной температуре (28°C) с помощью метода электронно-лучевого напыления. Во втором случае перед напылением стеклянная подложка нагревалась до температуры 150°C . На последующем этапе тонкие пленки цинка окислялись в кислородной среде при температуре 300°C в течение 8 часов для получения тонких пленок оксида цинка.

С помощью электронного микроскопа JSM-7001F получены изображения поверхности тонких пленок цинка. Как видно из (рис. 1), пленки цинка, нанесенные на подложку при комнатной температуре, обладают «чешуйчатой» структурой, а цинк, нанесенный на нагретую подложку, представляет собой гексагональные наночастицы. Характерный размер данных частиц равен примерно 200 нм.

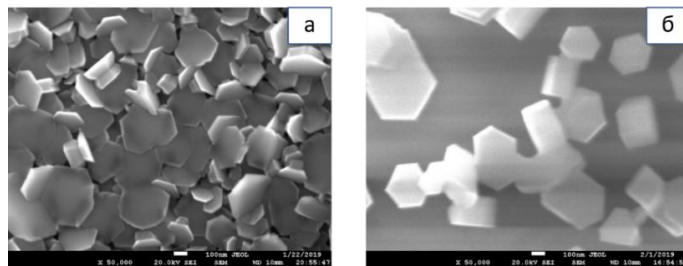


рис.1 Изображение поверхности пленки цинка, нанесенного на подложку а) при температуре 28°C б) при температуре 150°C

Разница в морфологии поверхности приводит в дальнейшем к различию параметров и свойств тонких пленок оксида цинка. Одним из таких параметров является ширина запрещенной зоны данного полупроводника. Определить ширину запрещенной зоны можно с помощью уравнения Таука (формула (1)) [2]. При аппроксимации зависимости $(\alpha h\nu)^2$ от энергии $h\nu$ линейной функцией и экстраполяции до оси абсцисс, точка пересечения с данной осью и будет являться значением ширины запрещенной зоны (рис. 2). Значение ширины запрещенной зоны для пленки, нанесенной на холодную и нагретую подложки равны 3.075эВ и 3.17эВ.

$$(\alpha h\nu)^2 = \beta(h\nu - E_g), \quad (1)$$

где β – константа, называемая параметром затухания, независящая от энергии, E_g – ширина запрещенной зоны, $h\nu$ – энергия падающего фотона, α – коэффициент поглощения.

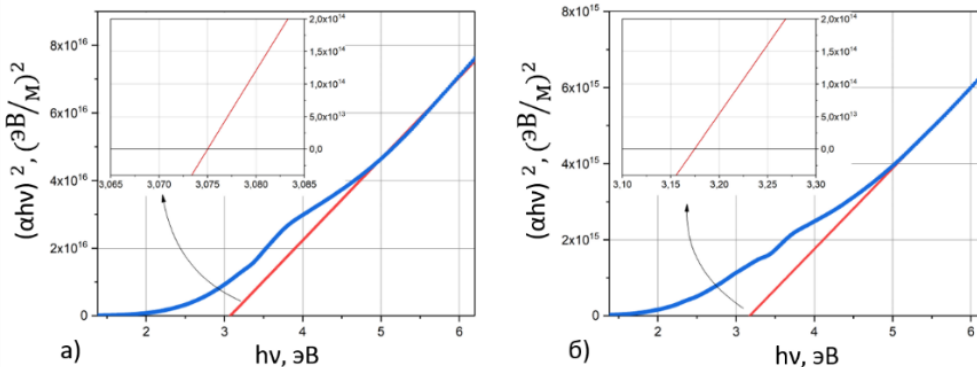


рис.2 Зависимость $(\alpha h\nu)^2$ от энергии падающего фотона для пленок оксида цинка, нанесенных на подложку а) при температуре 28°C б) при температуре 150°C

В области низкой энергии фотонов зависимость коэффициента поглощения α от энергии фотона $h\nu$ известна как эмпирическое правило Урбаха [2], которое определяется по формуле (2). Построив зависимость логарифма поглощения от энергии, можно определить энергию Урбаха как обратный коэффициент наклона аппроксимационной прямой (рис. 3). Значение энергии Урбаха для пленки, нанесенной на холодную подложку равно 0.877 эВ, а на нагретую подложку – 1.017 эВ.

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_U}\right), \quad (2)$$

где E_U – энергия Урбаха, α_0 - константа.

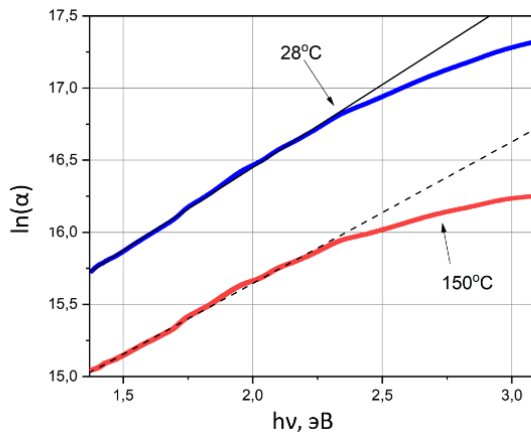


рис.3 Зависимость $\ln(\alpha)$ от энергии фотона для пленок ZnO, нанесенных при разных условиях

В данной работе выявлены различия параметров тонких пленок оксида цинка, нанесенных на холодную и нагретую стеклянные подложки. Данные различия могут быть связаны с возникновением дефектов и механических напряжений, возникших при нанесении тонких пленок методом электронно-лучевого напыления.

Список публикаций:

- [1] Klingshirn C.F. et al. Zinc oxide. From fundamental properties towards novel applications. 2010. 359 p.
- [2] Tauc J. Amorphous and liquid semiconductors. 1974. 444 p.

Формирование сбалансированного освещения рабочего места в режиме контроля естественного и искусственного света

Демченко Ксения Денисовна

Гречкина Татьяна Валерьевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Гречкина Татьяна Валерьевна, к.ф.-м.н.

ksende1101@gmail.com

При ежедневной зрительной активности в зоне рабочего пространства, особенно поверхности рабочего места, сбалансированная система освещения будет являться преимущественным аспектом плодотворного рабочего дня и комфортным условием труда или учебы. Как известно, повышение качества условий работы сотрудников и благоприятная обстановка для посетителей положительно повлияют как на эмоциональную составляющую человека, так и на биологическую. В силу изменяющейся солнечной активности, сезонных факторов, а также длины светового дня необходимо учитывать роль естественной освещенности в системе искусственного освещения для сбалансированного и оптимального результата, как осветительной установки, так и глобальных вопросов энергосбережения.

В настоящей работе с помощью программного комплекса DIALux выполнена система освещения с элементами управления с учетом фактора естественной освещенности в помещении L-образной формы, как показано на рис.1, а. На рис. 1, б-г показаны фрагменты фиксированных позиций участия дневного света и расчёт освещенности в плоскости рабочего стола. Изолинии рабочей плоскости демонстрируют контур распространения света со значениями освещенности в 200, 250 и 300 лк: б – только дневной свет, в – дневной свет с участием 1-го ряда (вдоль окон) светильников (5%), г – дневной свет с участием 2-го ряда светильников (100%).



рис. 1 Демонстрация сцен освещения с элементами управления в режиме контроля естественного и искусственного света в программном комплексе DIALux

Следует отметить, что дневной свет здесь является переменной величиной, обладающий максимальным своим значением в полуденное время (рис. 1, б) и два промежуточных состояния, когда необходимо подключить свет 1-го или 2-го ряда светильников, освещенность рабочих мест при этом необходимо сохранять постоянной. Посредством инструментов DIALux по формированию сцен освещения с элементами управления (задание параметров дневного света, коэффициентов затемнения светильников) удалось показать преимущество использования естественной освещенности в формате одного помещения. Подбор параметров при проектировании учитывает также географическое местонахождение объекта, что позволяет оценить и спрогнозировать освещение по формату светового дня и предусмотреть требуемое управление освещением, в том числе и при планировании рабочих мест.

Достижение оптимальной работы осветительной установки при экономии расходов электроэнергии на освещение возможно осуществить, применяя электронные автоматические системы управления, которые способны обеспечивать разные функциональные задачи: точное поддержание искусственной освещенности и климатических параметров в помещении на заданном уровне; учитывать присутствие естественной освещенности в помещении; контролировать время суток и дни недели; реагировать на присутствие людей в помещении; осуществлять дистанционное беспроводное управление осветительной установкой. Вопрос персонализации и интеллектуального контроля освещением не оставляет сомнений внедрения [1] и массовой реализации в самом ближайшем будущем.

Список публикаций:

[1] *Эволюция света: от лампы накаливания к smart-освещению*. 2018. Условия доступа: <https://www.forbes.ru/article/361483-evolyuciya-sveta-ot-lampy-nakalivaniya-k-smart-osveshcheniyu>

О связи физико-химических свойств сложных углеводородных веществ с интегральными автокорреляционными характеристиками спектров

Доломатова Милана Михайловна

Башкирский государственный университет,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Бахтизин Рауф Загидович, д.х.н.

milana.1992@mail.ru

Согласно теории А.М. Бутлерова, свойства вещества определяются структурой его молекул и функциональными группами органических соединений. Модели, позволяющими прогнозировать различные свойства веществ именованы QSPR моделями (Quantitative Structure-Property Relationship). В этих моделях в качестве параметров определяющих физико-химические и биологические свойства используются векторные числовые величины, которые называются дескрипторами

В работах авторов, выполненных в последние годы [1,2], предложены дескрипторы, учитывающие химическую и электронную структуру молекул, отличающихся высокой дискриминирующей способностью и экспериментально определяемые по интегральным характеристикам спектров в видимой и УФ области. К таким дескрипторам относятся интегральные параметры оптических спектров, в дальнейшем назовем их интегральные спектроскопические дескрипторы (ИПД). Применение таких дескрипторов следует из основных законов квантовой механики. Энергетический дискретный спектр молекул, как известно, определяется собственными значениями матрицы Фока [3]:

$$F\Psi = E\Psi \quad (1)$$

В соответствии с правилами квантовой механики среднее значение любого свойства выражается через оператора свойства f и волновую функцию:

$$\langle f(x) \rangle = \int f(x) \cdot |\psi(x)|^2 dx, \text{ т.к. } |\psi(x)|^2 = \psi^*(x)\psi(x), \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что интегральное изменение волновой функции, зависящей от природы молекул, оказывает влияние на спектроскопические и макроскопические свойства веществ. Иными словами, изменение свойств связано с изменением интегрального спектра электронных состояний. Изменение структуры молекул, как правило, приводит к изменению Фокиана F и его собственных значений, передающих спектр. Таким образом, из квантовой механики следует существование эффектов, связывающих интегральные спектральные характеристики и различные физические свойства вещества, которые мы определим по аналогии с закономерностями «структура - свойства».

Автокорреляционные функции (АКФ) используются для анализа статистических особенностей сигналов в радио и СВЧ области спектра [4], а также решения задач в оптической спектроскопии [5]. Будем рассматривать значение АКФ в качестве меры взаимодействия электронных состояний молекулы. Формула для вычисления АКФ имеет вид:

$$A_C = \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) \cdot S(\omega + \Delta\omega) d\omega, \quad (3)$$

где $S(\omega)$, $S(\omega + \Delta\omega)$ – частотные функции распределения интенсивностей поглощения излучения в видимом и УФ спектре на частотах ω и $\omega + \Delta\omega$, соответственно.

Автокорреляционную функцию можно выразить через резонансные частоты, используя теорему Винера-Хинчина:

$$A_C = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\omega} dF(\omega), \quad F(\omega) = a^2 F_\Omega(\omega), \quad (4)$$

где $F_\Omega(\omega)$ – производная функция распределения, a^2 – произвольное положительное число. Формула (4) устанавливает непосредственную связь между энергетическим спектром резонансных электронных состояний и автокорреляционной функцией.

Поскольку в данной работе статистический анализ спектра включает ближнюю УФ и видимую области в диапазоне 6,53..10,63 эВ (190..760 нм), то АКФ заменяется интегральным параметром от этой функции, который представляет из себя определенный интеграл, имеющий конкретное числовое значение. Обозначим его как интегральный параметр автокорреляционной функции (ИАКП):

$$I_A = \int_{\omega_1}^{\omega_2} S(\omega) \cdot S(\omega + \Delta\omega) dE, \quad (5)$$

$$I_A = \frac{2\pi}{\hbar} \int_{E_1}^{E_n} \lg \varepsilon(E) \cdot \lg \varepsilon(E + \Delta E) dE. \quad (6)$$

Установлена связь между ИАКП для электронного спектра поглощения и совокупностью равновесных ФХС системы для атомов и молекул. В квазилинейном приближении эти закономерности имеют вид:

$$\Delta Z = \gamma \Delta I_A, \quad (7)$$

где ΔZ – изменение макроскопического физико-химического свойства системы, поглощающей излучение, в единицах измерений свойств; ΔI_A – ИАКП.

Соотношение (7) подтверждено многочисленными экспериментами [2].

В отличие от обычных физико-химических и квантово-механических дескрипторов предлагаемые дескрипторы могут быть применены к исследованию многокомпонентных систем с неизвестной структурой и составом. Особенностью интегральных спектральных дескрипторов является их применимость не только к обычным молекулам, но и к очень сложным веществам, состоящим из огромного количества компонентов, например нефтяным системам и биологическим жидкостям. Практическое использование новых дескрипторов позволит сократить количество измерений различных свойств сложных веществ, например, нефтей и нефтепродуктов, биологических жидкостей, геномов, белков, биополимеров.

Список публикаций:

- [1] Доломатов М. Ю., Ковалева Э. А., Латыпов К. Ф., Доломатова М. М., Ярмухаметова Г. У. и Паймурзина Н. Х. // *Бутлеровские сообщения*. 2019. Т.57. №1. С. 1-14.
- [2] Доломатов М.Ю., Ярмухаметова Г.У., Доломатова М.М. // *Прикладная спектроскопия*. 2017. Т. 84, №1, С.132-137.
- [3] Степанов Н.Ф. *Квантовая механика и квантовая химия*. М.: Мир. 2001. 519с.
- [4] Тихонов В.И. *Статистическая радиофизика*. Москва: Радио и связь. 1982. 625с.
- [5] Шмидт В. *Оптическая спектроскопия для химиков и биологов*. Москва: Техносфера. 2007. С.189-194.

Спектральный анализ природных минералов из глинистых отложений Крыма

Дубас Виктория Викторовна¹

Якимова Ксения Валерьевна²

¹Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

²Севастопольский государственный университет

¹Алексашкин Игорь Владимирович, к.х.н., ²Мосунов Андрей Алексеевич, к.ф.-м.н.

victoriadubas.VD@gmail.com

Глинистые отложения широко распространены в пределах Крымского полуострова. Наиболее выражены отложения в предгорной зоне Крымских гор, что простирается от Севастополя на западе до Феодосии на востоке. Именно здесь встречаются основные природные разновидности глин, образованных такими глинистыми минералами как: каолинит, монтмориллонит и различные гидрослюды. Образованию глинистых минералов способствует выветривание минералов группы полевых шпатов [1]. Например, преобразование ортоклаза (в естественном виде - алюмосиликат тетраэдрического строения с примесью различных ионов элементов) позволяет сформироваться каолиниту и кварцу. На состав глинистого материала и его пригодность для использования в промышленности значительное влияние оказывают не только породообразующие минералы, но и наличие сопутствующих минералов. К таким минералам в данном случае можно отнести кальцит, кварц, кремень, барит, гипс, сидерит и др. Большое многообразие минералов-спутников глинистых отложений делает необходимым их идентификацию даже в виде микровключений. Наиболее пригодными для этого являются неразрушающие анализируемое вещество физико-химические методы колебательной спектроскопии (ИК- и Рамановская (КР-) спектроскопии).

Цель настоящей работы – идентификация природных минералов, обнаруженных в глинистых отложениях предгорного Крыма методами колебательной спектроскопии. На основе поставленной цели в работе реализуются следующие задачи:

1. Получение и анализ ИК- и КР-спектров 2х образцов минералов не установленного типа;
2. Сравнение полученных спектров со спектрами из открытых баз данных;
3. Идентификация анализируемых образцов минералов.

ИК-спектры регистрировались на ИК-Фурье спектрофотометре Spectrum Two, производства компании PerkinElmer, в диапазоне $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$ при комнатной температуре, а КР-спектры регистрировались на 3D сканирующем лазерном рамановском спектрометре Confotec NR500, в диапазоне $200 - 5000 \text{ см}^{-1}$ при постоянной температуре 20°C . Для подавления люминесцентных свойств некоторых минералов применяли красный лазер (632,8 нм). Для нивелирования разрушающего воздействия от большой мощности лазера использовали встроенный ND фильтр, позволяющий уменьшить мощность поступающего на образец излучения в 10-1000 раз.

Образец установленного в ходе исследования ортоклаза был отобран в Бахчисарайском р-не, Республики Крым. Его КР-спектр сходен со спектром ортоклаза из Мадагаскара (база данных RRUFF [2]) и характеризуется наличием полос комбинационного рассеяния различной интенсивности, относящихся к колебаниям тетраэдров $[\text{SiO}_4]$ и связанных с ними Al-O связей (рис.1). Характеристика ИК-спектра представлена в [1] и на рис.1.

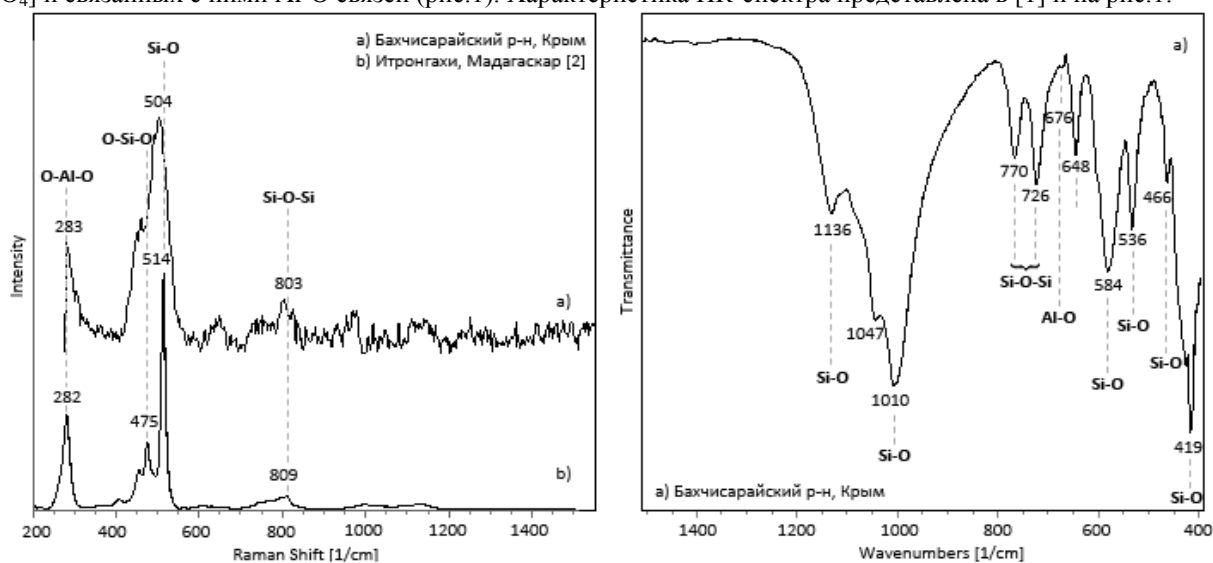


рис. 1. КР-спектры (слева) и ИК-спектр (справа) ортоклаза

Установленный образец гипса характеризуется наличием на ИК-спектрах валентных (O_3H_1 и O_3H_2) и деформационных колебаний воды [3, 4], в то время как в Рамановском диапазоне гидроксильные группы воды не проявляются (рис.2). Область $200-1500\text{ см}^{-1}$ характерна для смешанных внутриаионных колебаний и воды.

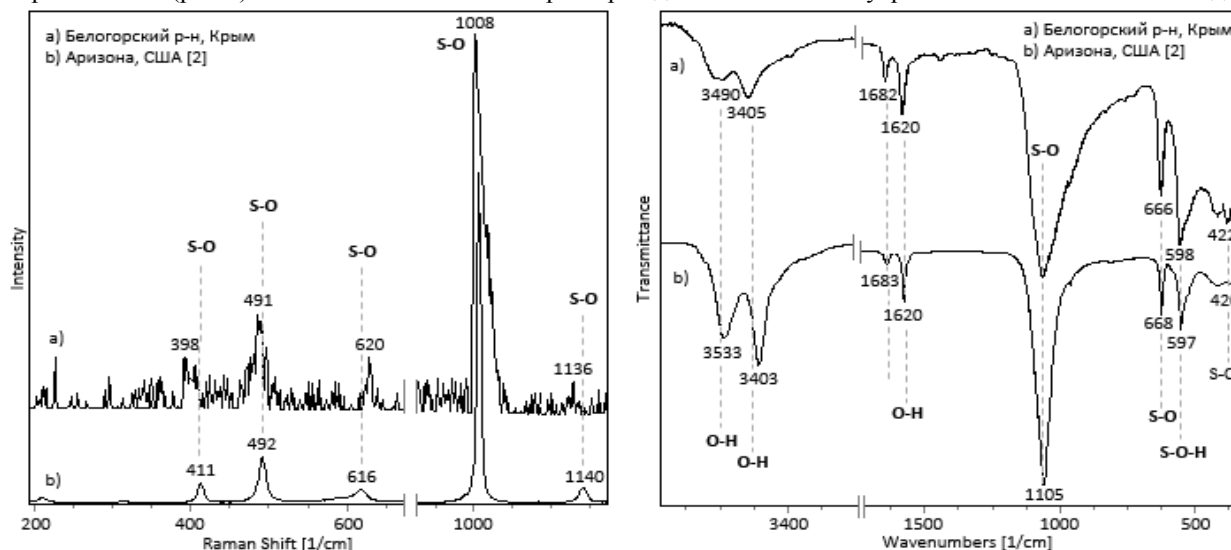


рис. 2. КР-спектры (слева) и ИК-спектры (справа) гипса

Спектры кальцита характеризуются наличием 3-х полос, обусловленных колебаниями С-О групп в тетраэдрах $[CO_3]$ карбонатов кальция [3]. Полоса комбинационного рассеяния $\sim 280\text{ см}^{-1}$ отвечает колебаниям, возникающим под воздействием внешних катионов Ca^+ на С-О связи в тетраэдрах (рис.3).

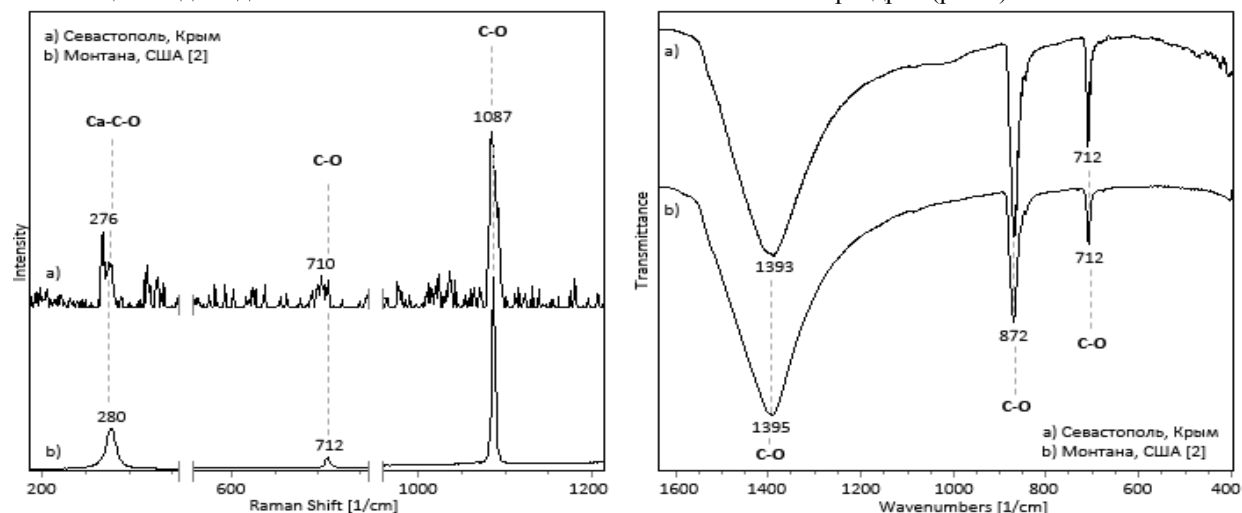


рис. 3. КР-спектры (слева) и ИК-спектры (справа) кальцита

Список публикаций:

- [1] Дубас В. В., Алексашкин И. В., Гусев А. Н. Качественный ИК-спектральный анализ природных силикатов Крыма. // Спектроскопия координационных соединений: тез., докл. XVI Международной конференции. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2019. С. 102-103
- [2] RRUFF Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rruff.info/>
- [3] Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов // М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1976. – 175с.
- [4] Liu Y., Wang A., Freeman J. J. Raman, MIR, and NIR spectroscopic study of calcium sulfates: gypsum, bassanite, and anhydrite. // 40th Lunar and Planetary Science Conference. 2009. The Woodlans, Texas.

Квантово-химическое исследование оптической активности аскорбатов

Короткова Мария Анатольевна

Волгоградский государственный университет

Куценко Светлана Анатольевна, к.ф.-м.н.

MariyaKorotkovaSTUDENT2014@yandex.ru

Оптическая активность (поворот плоскости поляризации излучения в веществе) веществ очень чувствительна к изменениям пространственной структуры молекул и к межмолекулярному взаимодействию. Это явление может быть использовано для бесконтактного исследования веществ. Поляризуемость атомов, молекул и ионов определяет степень межмолекулярного взаимодействия и его влияние на оптическую активность среды. Ранее нами экспериментально были исследованы оптическая активность и электронные спектры растворов аскорбиновой кислоты и их изменение в процессе химических реакций [1], [2]. А в работе [3] определены углы поворота плоскости поляризации только излучения D-линии натрия ($\lambda=589$ нм) в водных растворах аскорбиновой кислоты. В настоящем исследовании проведено численное моделирование оптической активности аскорбатов методом конфигурационного взаимодействия CIS.

Для нахождения угла поворота плоскости поляризации использована квантово-химическая модель оптической активности [4]. В соответствие с этой моделью угол поворота плоскости поляризации определяется выражением:

$$\varphi = \frac{240}{hc^2} \cdot \frac{IN}{\epsilon_0} \cdot \frac{n^2 + 2}{3} \cdot \sum_k \frac{\lambda_{ki}^2 R_{ik}}{\lambda^2 - \lambda_{ki}^2} \quad (1)$$

где ℓ -толщина слоя, N -число молекул в единице объёма, c -скорость света в воздухе, h -постоянная Планка, ϵ_0 -электрическая постоянная, n -показатель преломления, λ_{ki} и R_{ik} – длина волны и вращательная сила перехода $i \rightarrow k$ соответственно.

Основными параметрами, влияющими на характеристики оптического вращения, являются вращательные силы и длины волн электронных переходов. Для нахождения этих параметров использован пакет программ Gaussian 09W. Предварительно структуры молекул исследуемых веществ были оптимизированы. Оптимизация геометрических параметров проводилась несколькими методами. Для дальнейших расчетов был выбран метод конфигурационного взаимодействия CIS с базисом 3-21g, исходя из того, что результаты электронных спектров, полученных этим методом, лучше всего совпадали с экспериментальными данными представленными в [2], [5]. Также были рассчитаны структурные параметры аскорбатов в водных растворах. Для расчета электронных спектров растворов использована модель поляризационного континуума (PCM) Томаси. Выбранным методом получены значения длин волн и вращательных сил электронных переходов в исследуемой молекуле.

Длины волн электронных переходов и соответствующие им значения вращательных сил R_{ik} были использованы для расчета угла поворота плоскости поляризации по формуле (1). Рассчитанные и экспериментальные зависимости углов поворота плоскости поляризации излучения в видимой области спектра от длины волны и концентрации растворов приведены на рис.1,2.

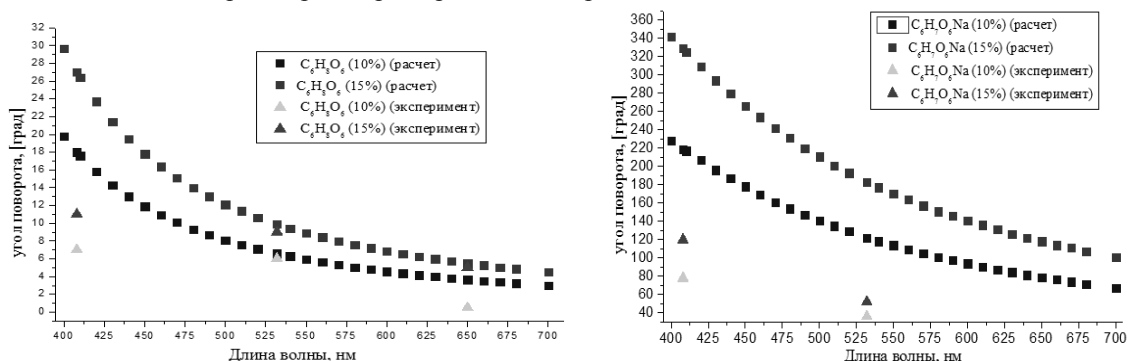


рис.1. Зависимости углов поворота плоскости поляризации от длины волны для 10 и 15% водных растворов аскорбатов.

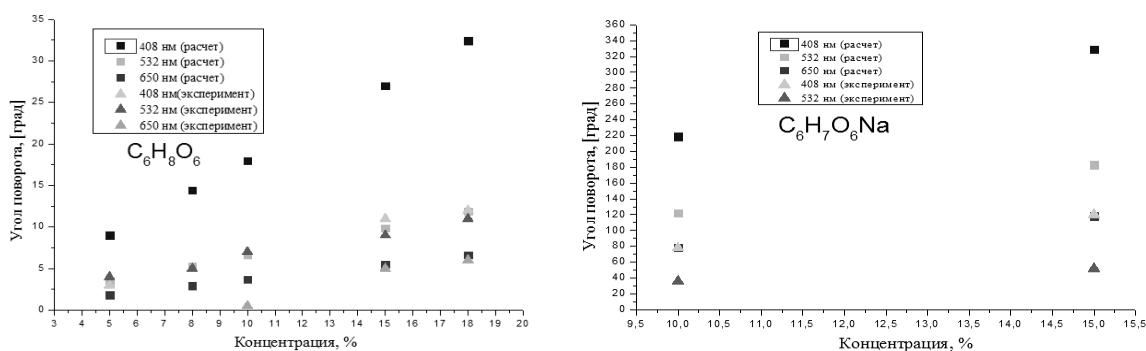


рис.2. Зависимости углов поворота плоскости поляризации от концентрации растворов аскорбатов для излучения с длинами волн $\lambda=408$ нм, 532 нм и 650 нм.

Видно, что с ростом концентрации растворов аскорбатов угол поворота плоскости поляризации возрастает, а с ростом длины волны лазерного излучения - убывает.

Из полученных зависимостей видно, что оптическая активность растворов аскорбината натрия существенно выше, чем для водных растворов аскорбиновой кислоты. Таким образом, расчетные зависимости качественно согласуются с экспериментальными. Полученные результаты могут быть использованы для количественного определения содержания аскорбиновой кислоты в лекарственных препаратах поляризационно-оптическим методом.

Список публикаций:

- [1] Короткова М.А., Куценко С.А. Материалы двадцать пятой всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым). [Электронный ресурс] // Исследование растворов аскорбиновой кислоты методом лазерной поляриметрии: сборник тезисов: [сайт]. [2019]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=3763850> (дата обращения: 01.02.2020).
- [2] Danyaeva J. S., Kutsenko S. A. «The changes in the electronic spectra of ascorbic acid induced by laser radiation». Proc. SPIE. Optical Technologies in Biophysics and Medicine XIX., 2018. Vol. 10716, pp. 1-7.
- [3] Шипунов Б. П., Тимирязев А. В., Кондратова Е. В., Стась И. Е. // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – Т. 1. -№3. С. 189-191.
- [4] Пентин Ю. А., Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. С.683
- [5] Шнайман, Л. О. // Производство витаминов. Москва.: Из-во «Пищевая промышленность». 1973. С. 438.

Продольный сдвиг перетяжки пучка Гаусса

Лукьяненко Иван Юрьевич

Южно-Уральский государственный университет

Кундикова Наталья Дмитриевна, д.ф.-м.н.

Luk.v5@mail.ru

Эффекты спин-орбитального взаимодействия света проявляются в различных оптически неоднородных средах, а также в сфокусированных лазерных пучках. Данные эффекты взаимодействия малы и ими можно пренебречь в рамках геометрической оптики, но их необходимо учитывать при разработке приборов микро- и нано- оптики. В рамках классической оптики один из эффектов можно за счёт многократного усиления наблюдать визуально при распространении циркулярно поляризованного излучения в многомодовых оптических волокнах. Эффект наблюдается как поворот спекл картины (пятнистой картины) излучения, прошедшего через волокно, при смене знака циркуляции на входе в волокно. Эффект получил название Оптического эффекта Магнуса и на языке классической физики интерпретируется как результат влияния поляризации света на его траекторию [1].

В рамках геометрической оптики можно считать, что свет фокусируется в точку. Любой световой пучок в фокусе линзы образует узкую протяженную область, называемую перетяжкой. Самый распространённый световой пучок – пучок Гаусса, профиль интенсивности которого описывается функцией Гаусса. В сфокусированных пучках Гаусса возможны продольный и поперечный сдвиг перетяжки. Поперечный сдвиг перетяжки наблюдается в ассиметричном сфокусированном пучке Гаусса [2]. Теоретически было показано, что продольный сдвиг перетяжки может наблюдаться при диафрагмировании пучка Гаусса [3].

Цель данной работы – определить экспериментальные условия, при которых можно обнаружить продольный сдвиг перетяжки пучка Гаусса.

Рассматривалось распространение света через линзу с фокусным расстоянием 44,5 мм. После линзы вплотную располагалась диафрагма с изменяемым радиусом от 0,10 мм до 0,68 мм. Распространение пучка описывалось волновым уравнением, которое решалось спектральным методом. Положение перетяжки определялось как точка на оси распространения, в которой значение интегральной интенсивности, нормированной на максимум, минимально.

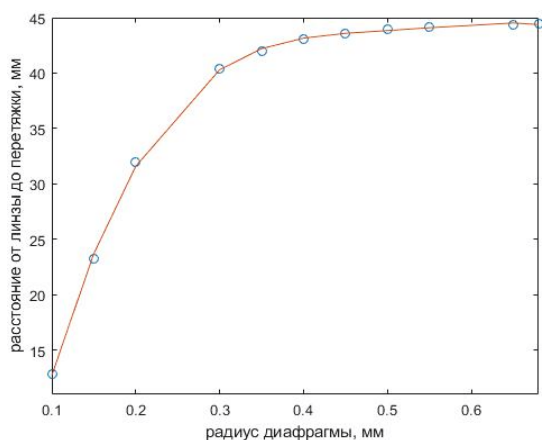


рис.1. Зависимость положения перетяжки сфокусированного пучка Гаусса от радиуса диафрагмы, фокусное расстояние линзы $f=44,5$ мм.

На рис. 1 представлен график зависимости положения перетяжки пучка Гаусса от величины радиуса диафрагмы с фокусным расстоянием линзы 44,5 мм. Из графика видно, что расстояние от линзы до перетяжки изменяется сильнее при малых радиусах диафрагмы от 0,1 мм до 0,35 мм. При изменении значения радиуса диафрагмы от 0,4 мм до 0,5 мм, происходит сдвиг положения перетяжки от 43,0 мм до 43,9 мм. Сдвиг не превышает расстояние в 1 мм, однако, существует экспериментальный метод, который позволяет определить это положение с большой точностью до 0,01 мм [4].

Список публикаций:

- [1] Dooghin A. V., Kundikova N. D., Liberman V. S., Zel'dovich B. Y. // *Physical Review A*. 1992. Vol. 45(11). P. 8204.
 [2] Kundikova N. D., Podgornov F. V., Rogacheva L. F., Zel'Dovich B. Y. // *Pure Appl. Opt.* 1995. Vol. 4(3). P. 179.
 [3] De Nicola S., Anderson D., Lisak M. // *Pure Appl. Opt.* 1998. Vol. 7. P. 1249.
 [4] Bibikova E. A., Al-wassiti N., Kundikova N. D // *Journal of the European Optical Society*. 2019. Vol.15(1). P. 1.

Исследование волоконно-оптического ответвителя и потерь в волоконно-оптическом тракте

Мигранова Диана Радиковна

Алексеев Кирилл Сергеевич, Лопатюк Алёна Викторовна

Башкирский государственный университет

Лопатюк Алёна Викторовна

di.migranova99@icloud.com

Оптический ответвитель используется для разделения или объединения сигнала в оптических волокнах при построении разветвлённой сети передачи данных. Существуют ответвители многомодовые и одномодовые, работающие на различных длинах волн (например 1310 нм или 1550 нм), ответвители с различной конфигурацией портов и заданным коэффициентом деления.

Прочность оптического волокна определяется поверхностными дефектами и микротрещинами, возникающие при производстве и эксплуатации. Эти поверхностные дефекты снижают фактическую прочность, которая может составить лишь 1/1000 до 1/100 от теоретической величины. Прочность волокна, как и прочность любого другого твердого тела, зависит от напряженных условий эксплуатации. На практике волокно может подвергаться растяжению, сжатию, кручению и их комбинациям. В подавляющем большинстве случаев оно разрушается от растягивающих и изгибающих напряжений. Многочисленные экспериментальные данные показывают большой разброс значений прочности в зависимости от методов и качества производства волокна и состояния их поверхности, от методов и условий эксплуатации, а также условий проведения испытаний (температуры, влажности воздуха, скорости приложения нагрузки и т. д.). Отмечается также сильная зависимость прочности от геометрии волокна. [1]

В работе используется установка, которая включает в себя оптический тестер, эталонный световод, ответвитель, микрометрический манипулятор с зеркалом, закрепленные на одной плите (рис.1). Эта установка может применяться для обнаружения трещин, повреждений или потерь в тракте оптического волокна.

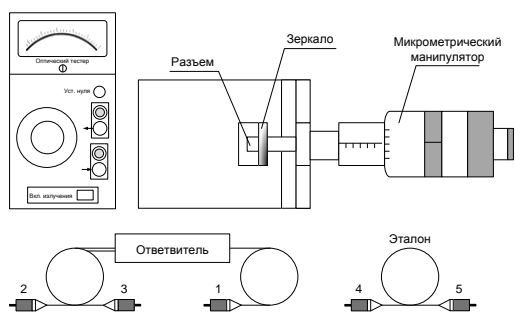


рис.1. Схема установки волоконно-оптического ответвителя

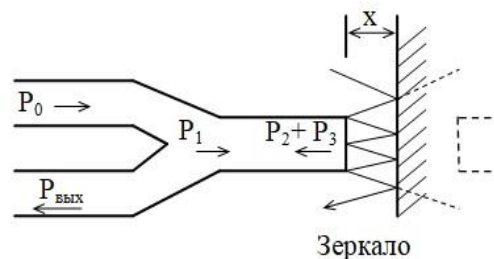


рис.2. Схема исследования влияния зазора на потери в волоконно-оптическом тракте

В данной работе были проанализированы характеристики волоконно-оптического ответвителя и влияния зазора на потери в волоконно-оптическом тракте (рис.2). Для этого вычислили среднее значение мощности излучения в световоде при соединениях P_{45} и P_{54} , которое составило 18,85 мкВт.

Выходная мощность первого порта составила $P_{12}= 4$ мкВт, $P_{21}= 5$ мкВт; третьего порта $P_{13}= 3$ мкВт, $P_{31}= 3,2$ мкВт; второго порта $P_{23}= 1$ нВт, $P_{32}= 1$ нВт. Коэффициент направленности между первым и вторым каналом составил $K_{12}= -6,73$ дБ, $K_{21}= -5,76$ дБ; между первым и третьим каналом составил $K_{13}= -7,98$ дБ, $K_{31}= -7,7$ дБ. Развязка между вторым и третьим каналами составила $K_{23}= -42,75$ дБ, $K_{32}= -42,75$ дБ, что говорит о хорошей развязке.

В результате эксперимента выяснили, что при P_{23} , P_{32} излучение в световоде испытывает наибольшие потери, т.к. разъемы 2 и 3 находятся на одной стороне волоконно-оптического тракта.

Далее мы исследовали влияние зазора на потери в волоконно-оптическом тракте. Для этого мы изменяли расстояние между зеркалом и торцом световода. При удалении зеркала от торца световода оказалось, что величина $P_{\text{вых}}$ становится меньше. Затем рассчитали величину пропускания при разных значениях X и вычислили коэффициент потерь K . Построили график зависимости $K=f(X)$, где K -потери излучения в световоде, X -зазор между торцом световода и зеркалом (в мкм) (рис.3).

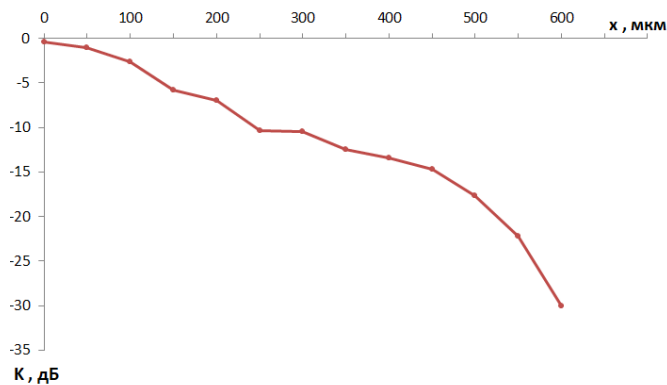


рис.3. Зависимость коэффициента потерь излучения в световоде от зазора между торцом световода и зеркалом.

Из графика видно, что при увеличении расстояния между зеркалом и торцом величина выходной мощности уменьшается, коэффициент потерь возрастает. Мы наблюдаем нелинейную зависимость. Соответственно при появлении трещины в оптическом волокне размерами 10 мкм потери составят 4%, а при размерах трещины 60 мкм потери составят 44%.

Список публикаций:

[1] Лопатюк А.В., Грачева А.М., Анализ прочности и ресурса оптических волокон // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики Сборник трудов. В 4-х томах. 2019. С.705-706.

Изменение спектра ИК поглощения химически карбонизированного ПВДФ при старении в атмосфере воздуха

Хайранов Расул Хакимзянович

Живулин Владимир Евгеньевич

Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет

Песин Леонид Абрамович

r5003@mail.ru

Целью данного эксперимента является нахождение области временной стабильности молекулярной структуры химически карбонизированного ПВДФ. Особый интерес представляет полоса поглощения тройных углерод-углеродных связей, так как их существование возможно только в цепочечной (карбиноидной) форме углерода.

Для синтеза образца исходная пленка ПВДФ марки Ф2М толщиной 20 мкм обрабатывалась дегидрофторирующим раствором в течение 5 часов, после чего промывалась спиртом. Ранее методами ЭПР и ИК спектроскопии были обнаружены быстрые изменения, связанные с взаимодействием полученного подобным образом материала с атмосферным воздухом. Для того, чтобы замедлить эти процессы, исследуемый образец помещали в вакуумную камеру в промежутках времени между измерениями. Измерения проводились с помощью ИК Фурье спектрометра в геометрии на пропускание. Интервал между последовательной регистрацией спектров первые 6 часов составлял 10 минут, в дальнейшем - 20 минут. Таким образом, удалось подробно наблюдать изменение формы ИК спектров при старении на воздухе. Наиболее существенно менялась спектральная область $1800-2300\text{ см}^{-1}$, в которой проявляются колебания сопряжённых двойных и тройных углерод-углеродных связей. Следует отметить, что исходная пленка ПВДФ в этой области прозрачна, но после дегидрофторирования в данном интервале частот наблюдается поглощение в виде полосы сложной формы, которая эволюционирует при старении на воздухе. Визуально полоса состоит из трёх широких пиков с центрами около 2050 , 2100 и 2160 см^{-1} , далее соответственно, пики 1-3. Все спектры обрабатывались по единому алгоритму. В интервале $1830-2240\text{ см}^{-1}$ линейно вычиталась фоновая составляющая, а затем измерялась максимальная интенсивность пиков. На данном графике представлена эволюция пиков, справа указаны номера спектров.

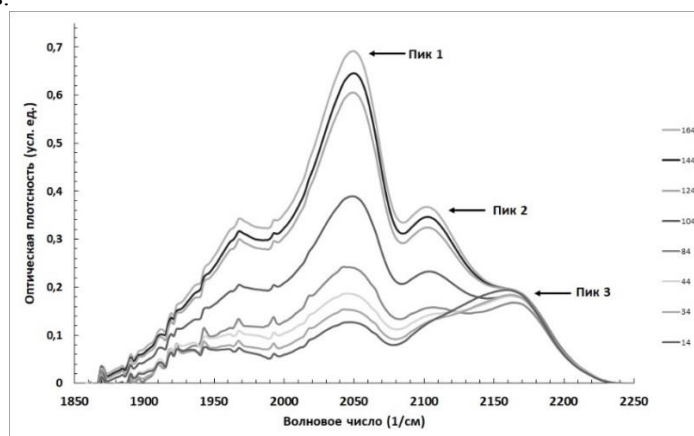


рис.1 Полоса поглощения тройных углерод-углеродных связей

Анализ данных выявил синхронное увеличение максимальной интенсивности пиков 1 и 2 в зависимости от продолжительности пребывания образца на воздухе. На разных этапах старения скорость их роста неодинакова. Быстрее всего они растут в интервале 1600-2000 мин. После 3000 мин пребывания на воздухе форма ИК спектров практически не меняется, что может косвенно свидетельствовать о стабилизации молекулярной структуры образца. Первоначально доминирующий в спектре пик 3 при этом изменяется незначительно.

В результате проведённого эксперимента удалось выявить некоторые особенности изучаемого явления.

1. После окончания химического синтеза молекулярная структура образца меняется в результате взаимодействия с воздухом. Эти изменения уместно описать термином «старение».
2. В частотной области, характерной для валентных колебаний тройных связей, происходит сильное изменение формы ИК спектров поглощения, проявляющееся в появлении и росте двух широких пиков с центрами около 2050 и 2100 см^{-1} . Эволюция этих пиков происходит удивительно синхронно, что является косвенным признаком отражения в ней одного и того же процесса при модификации молекулярной структуры образца. Наблюдаемые изменения могут быть следствием либо

действительного увеличения в образце концентрации тройных связей, либо изменения симметрии их окружения различными функциональными группами.

3. Обнаружена сильная гигроскопичность исследуемого образца, которая проявляется в изменении спектра в области колебаний ОН связей. Когда образец извлекается из вакуумной камеры, то в самом начале очередной серии измерений интенсивность ОН полосы минимальна, а пики 1 и 2, напротив наиболее интенсивны. В каждом последующем измерении сначала наблюдается существенное увеличение поглощения ОН связей, а затем достижение некоторого предельного для данной серии измерений значения. При этом пики 1 и 2 хотя и незначительно, но заметно и синхронно уменьшаются. Причина такого влияния гигроскопичности на интенсивность пиков поглощения тройных связей пока не очевидна и требует дополнительного изучения.

Моделирование отражения световых пучков от многослойной поверхности

Хафизов Денис Раилович

Южно-Уральский государственный университет

Кундикова Наталья Дмитриевна, д.ф.-м.н.

qwmmzxi07108afhkl@mail.ru

Лазерный пучок может обладать тремя типами углового момента света: спиновым угловым моментом, внутренним орбитальным угловым моментом и внешним орбитальным угловым моментом. Эффекты спин-орбитального взаимодействия являются проявлением взаимовлияния данных трех типов углового момента света [1].

Один из эффектов спин-орбитального взаимодействия можно наблюдать при отражении пучка Гаусса от тонкой пленки. При определенных углах падения и пленок с определенными коэффициентами преломления и толщинами возникает сдвиг центра тяжести светового пучка [2]. Цель работы – исследование возможности наблюдения сдвига центра тяжести пучка Гаусса при отражении от многослойной структуры.

Для определения параметров пленок и углов падения рассчитывались коэффициенты отражения плоских волн *s*- и *p*-поляризаций от системы пленок. Для расчетов использовался матричный метод, с помощью которого определялись коэффициенты отражения при заданных свойствах пленок. В качестве материала для первой пленки был выбран оксид алюминия Al_2O_3 с показателем преломления 1.77 и толщиной 2 мкм, для второй – фторид бария BaF_2 с показателем преломления 1.435 и толщиной 3 мкм, для подложки – кремний *Si* с показателем преломления 4.

На рис.1 представлена зависимость коэффициентов отражения от угла падения для излучения с длиной волны $\lambda=546$ нм. Также на рисунке показан угловой спектр пучка Гаусса, падающего под углом 45° .

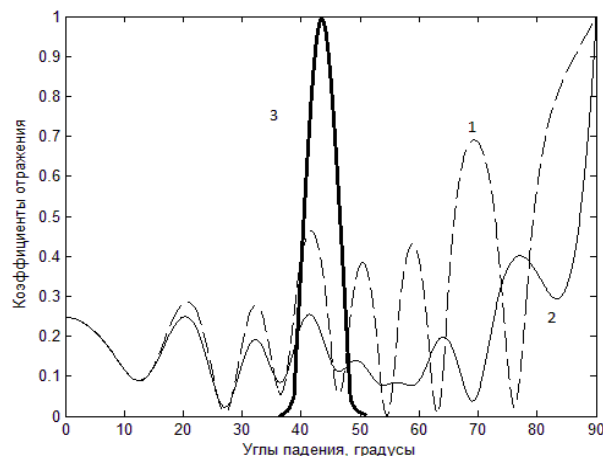


рис.1. Зависимость коэффициентов отражения системы пленок от угла падения двух (1 и 2) плоских волн: 1 – *s*-поляризация, 2 – *p*-поляризация; 3 – угловой спектр пучка Гаусса

Как видно из рис. 1, при отражении пучка Гаусса от такой структуры происходит его деформация из-за различия коэффициентов отражения в угловом диапазоне от 40° до 48° , следовательно, возможно наблюдение сдвига центра тяжести светового пучка.

Список публикаций:

[1] Abdulkareem S., Kundikova N. // *Optics Express*. 2016. Vol.24. P.19157.

[2] Bolshakov M., Kundikova N., Popkov I. // *Progress In Electromagnetic Research Symposium Proceedings*. 2015. P.2042.

Факторный анализ спектров сечения неупругого рассеяния электронов Al

Хохлова Татьяна Николаевна

Игуменов Александр Юрьевич, Паршин Анатолий Сергеевич

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева

Игуменов Александр Юрьевич, к.ф.-м.н.

tanya.xo.xo03@gmail.com

В настоящее время актуальное значение имеют исследования в области нанотехнологий, которым поспособствовало получение и изучение разнообразных наноматериалов, применяющихся в микро- и нанoeлектронике. В свою очередь возникла необходимость знаний о свойствах используемых материалов. Для достижения поставленных задач применяют один из методов электронной спектроскопии – спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ).

Также возникает необходимость в математических методах обработки, экспериментально полученных данных. Одним из наиболее перспективных и точных математических методов является факторный анализ. Работа [1] подтверждает возможность использования факторного анализа для изучения спектров сечения неупругого рассеяния электронов. Алюминий широко используется в создании таких устройств нанотехнологии, как фотоэлектрические преобразователи, перспективные для применения в аэрокосмической отрасли. Актуальными являются наноструктурированные покрытия и материалы, обладающие большим количеством полезных свойств. Этим обусловлен интерес к применению алюминия в качестве материала для нанесения защитных покрытий. В данной работе проведено исследование спектров сечения неупругого рассеяния электронов Al методом факторного анализа.

Спектры характеристических потерь энергии электронов Al (СХПЭЭ) были получены на сверхвысоковакуумном фотоэлектронном спектрометре SPECS (Германия) при энергиях первичных электронов 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 1900, 2500, 3000, 3500 эВ с шагом 0,1 эВ. В спектрах ХПЭЭ основным параметром, служащим для анализа исследуемых материалов, является энергия характеристических пиков объемного плазмона. Проведен анализ спектров сечения неупругого рассеяния электронов Al.

Спектры сечения неупругого рассеяния электронов ($K\lambda$ -спектры) представляют собой произведения средней длины неупругого пробега электронов λ и дифференциального сечения неупругого рассеяния $K(E_0, E_0 - E)$ [5], где E_0 и E – соответственно энергии первичных и отраженных электронов, $T = E_0 - E$ (1) – потери энергии электронов. Спектры сечения неупругого рассеяния электронов рассчитаны из экспериментальных спектров потерь энергии отраженных электронов с помощью программного пакета QUASESTM XS REELS [6], согласно алгоритму [5].

Спектры сечения неупругого рассеяния электронов Al рассчитаны на основе экспериментальных СХПЭЭ Al [2-5]. На спектрах сечения неупругого рассеяния электронов Al наблюдаются пики, соответствующие поверхностному и объемному плазмону при энергиях 10,5 эВ и 15,1 эВ соответственно (рис.1).

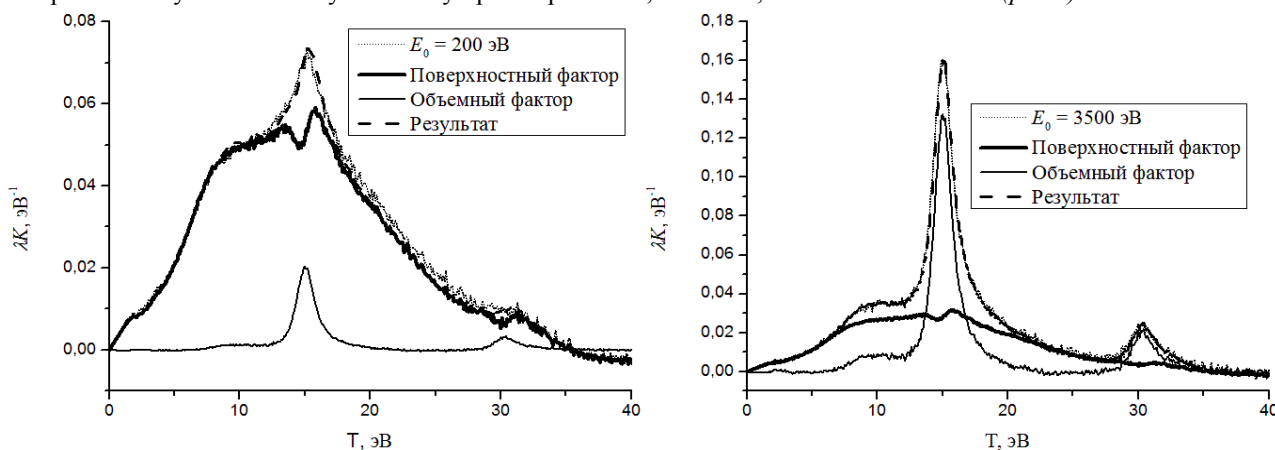


рис.1. Спектры сечения неупругого рассеяния Al исследованные посредством применения факторного анализа при энергии первичных электронов $E_0=200$ эВ и $E_0=3500$ эВ.

Спектры сечения неупругого рассеяния электронов имеют преимущества в исследовании процессов взаимодействия электронов с веществом по сравнению со спектрами потерь энергии электронов, поскольку в них вычтен фон многократного рассеяния, а интенсивность потерь измеряется в абсолютных единицах [2-5]. Но при разложении на спектры сечения неупругого рассеяния электронов, наблюдаемые пики сливаются. В этом случае, данные пики были разделены, для их разделения использовался факторный анализ. С помощью

матричного умножения и подбора коэффициентов, исходный спектр удается представить как сумму объемного и поверхностного вкладов [1].

Факторный анализ использован для разделения спектров сечения неупругого рассеяния электронов. Подтверждена объемная и поверхностная природа вкладов посредством возрастающей и убывающей зависимостей

Список публикаций:

- [1] Jin, H. *Measurement of optical constants of Si and SiO₂ from reflection electron energy loss spectra using factor analysis method* // *Journal of applied physics*. 2010. № 107. P. 083709, 1-11.
- [2] Игуменов А. Ю., Паршин А. С., Михлин Ю. Л. и др. *Расчет вероятности генерации поверхностных возбуждений электронами, отраженными от поверхности Si* // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева*. 2014. Том 56 (4). С. 230-2355.
- [3] Паршин А. С., Игуменов А. Ю., Михлин Ю. Л. и др. *Сравнительный анализ спектров характеристических потерь энергии электронов и спектров сечения неупругого рассеяния в Fe* // *Физика твердого тела*. 2016. Том 58 (5). С. 881-887.
- [4] Паршин А. С., Игуменов А. Ю., Михлин Ю. Л. и др. *Исследование дисилицида железа методами электронной спектроскопии*. // *Журнал технической физики*. 2016. Том 86 (9). С. 136-140.
- [5] Tougaard S. *Differential inelastic electron scattering cross sections from experimental reflection electron-energy-loss spectra: Application to background removal in electron spectroscopy* // *Phys.Rev. B*. 1987. Vol. 35 (13). P. 6570-6577.
- [6] QUASES – *Software packages to characterize surface nano-structures by analysis of electron spectra*. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.quases.com> (дата обращения: 09.04.2018)

Исследование спектра высокого разрешения полосы $4\nu_2$ молекулы H_2S

Чжан Фанцэ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Улеников Олег Николаевич, д.ф.-м.н.

1946529618@qq.com

H_2S является одним из наиболее важных химических соединений, применяемым во многих областях химии, астрофизики, атмосферной оптики, планетологии и т.д. Как следствие, возникает необходимость в хорошем знании тонкой структуры спектров поглощения сероводорода в разных областях шкалы электромагнитных волн, в частности, в инфракрасном диапазоне.

Инфракрасный Фурье спектр молекулы H_2S был зарегистрирован в Техническом Университете Брауншвейга (Германия) в диапазоне $3400 - 10400 \text{ см}^{-1}$ с помощью Фурье-спектрометра Bruker IFS125HR, оснащенного оптической ячейкой из нержавеющей стали при температуре 294 К с давлением 20 мбар, эффективной длиной поглощения 163 м и спектральным разрешением $0,01 \text{ см}^{-1}$. На рисунке 1 проведен обзорный спектр в диапазоне $4400 - 5600 \text{ см}^{-1}$, в пределах которого расположены все полосы первой гексады $4\nu_2$, $\nu_1+2\nu_2$, $2\nu_2+\nu_3$, $2\nu_1$, $\nu_1+\nu_3$ и $2\nu_3$, а также указаны центры исследуемых полос.

Молекула H_2S является молекулой типа асимметричного волчка с параметром асимметричности $k = (2B-A-C)/(A-C) \sim 0,532$. Группа симметрии этой молекулы изоморфна точечной группе симметрии C_{2v} . Три колебательные координаты, q_1 , q_2 , q_3 , такого типа молекул преобразуются при операциях симметрии по неприводимым представлениям A_1 (координаты q_1 и q_2) и B_1 (координата q_3) [1-2]. В этой работе выполнено исследование полосы $4\nu_2$, правила отбора для переходов которой имеет следующий вид: $\Delta J = 0, \pm 1$; $\Delta K_a = \pm (2n + 1)$; $\Delta K_c = \pm (2m + 1)$.

Как видно из рисунка 1, полоса $4\nu_2$ расположена достаточно изолированно относительно других полос, так что влияние остальных состояний первой гексады на колебательно-вращательную энергетическую структуру исследуемого состояния достаточно мало, вследствие чего для решения обратной спектроскопической задачи можно использовать модель эффективного гамильтониана изолированного состояния [3]. В этом случае гамильтониан имеет вид оператора Уотсона в A -редукции и I^r представлении [3-4]:

$$\begin{aligned}
 H^{v,v} = & E^v + \left[A^v - \frac{1}{2}(B^v + C^v) \right] J_z^2 + \frac{1}{2}(B^v + C^v) J^2 + \frac{1}{2}(B^v - C^v) J_{xy}^2 \\
 & - \Delta_K^v J_z^4 - \Delta_{JK}^v J_z^2 J^2 - \Delta_J^v J^4 - \delta_K^v [J_z^2, J_{xy}^2] - 2\delta_J^v J^2 J_{xy}^2 \\
 & + H_K^v J_z^6 + H_{KJ}^v J_z^4 J^2 + H_{JK}^v J_z^2 J^4 + H_J^v J^6 + [J_{xy}^2, h_K^v J_z^4 + h_{JK}^v J^2 J_z^2 + h_J^v J^4] \\
 & + L_K^v J_z^8 + L_{KKJ}^v J_z^6 J^2 + L_{JKJ}^v J_z^4 J^4 + L_{KJJ}^v J_z^2 J^6 + L_J^v J^8 \\
 & + [J_{xy}^2, l_K^v J_z^6 + l_{KJ}^v J_z^4 J^2 + l_{JK}^v J^2 J_z^2 + l_J^v J^6]_+ + P_K^v J_z^{10}
 \end{aligned} \quad (1)$$

где J_α ($\alpha=x, y, z$) являются компонентами оператора углового момента, определённого в молекулярно-фиксированной системе координат; $J_{xy}^2 = J_x^2 - J_y^2$; [..., ...]₊ обозначает антикоммутатор; E является центром полосы (колебательная энергия); A^v , B^v и C^v - вращательные постоянные, связанные с данным колебательным состоянием (v); Δ_K , Δ_{JK} , Δ_J и остальные параметры являются параметрами центробежного искажения различных порядков.

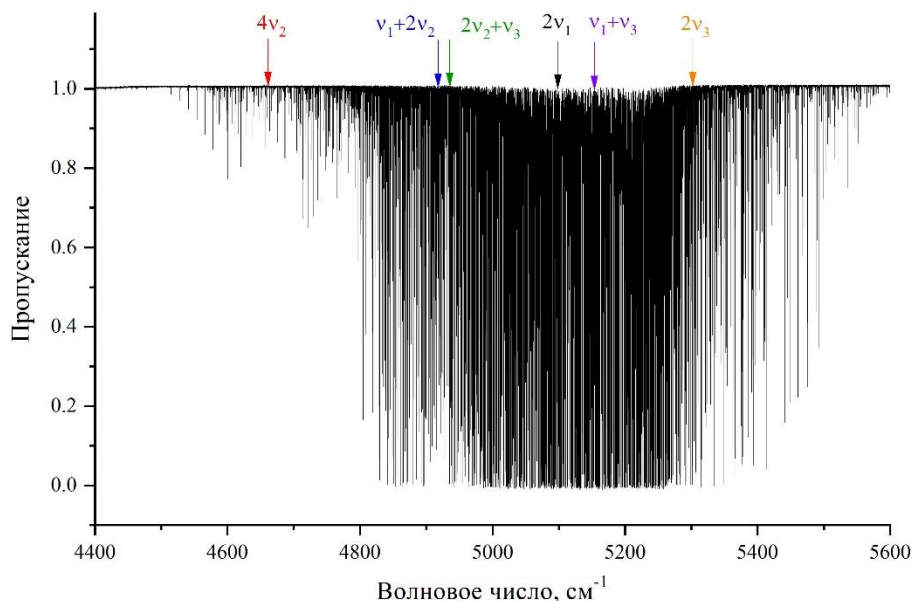


рис.1. Экспериментально зарегистрированный спектр в диапазоне 4400 – 5600 см^{-1} .

Интерпретация переходов была выполнена методом комбинационных разностей. По результатам анализа зарегистрированного спектра нами было проинтерпретировано 428 переходов, принадлежащих исследуемой полосе $4\nu_2$. Вращательные уровни основного колебательного состояния были рассчитаны с параметрами, взятыми из работы [5]. Максимальные значения квантовых чисел J и K_a для найденных в спектре линий равны 16 и 8. В результате решения обратной спектроскопической задачи был получен набор спектроскопических параметров.

Работа финансировалась за счет гранта РФФИ № 19-32-90069.

Список публикаций:

- [1] Bykov A. D., Lopasov V. P., Makushkin Yu. S., Sinita L. N., Ulenikov O. N., Zuev V. E. // *J. Mol. Spectrosc.* 1982. V. 94. P. 1-27.
- [2] Ulenikov O. N., He S. -G., Onopenko G. A., Bekhtereva E. S., Wang X. -H., Hu S. -M., Lin H., Zhu Q. -S. // *J. Mol. Spectrosc.* 2000. V. 204. P. 216-225.
- [3] Watson J. K. G. // *J. Chem. Phys.* 1967. V. 46. P. 1935-1949.
- [4] Flaud J. M., Perrin A., Salah L. M., Lafferty W. J., Guelachvili G. // *J. Mol. Spectrosc.* 1993. V. 160. P. 272-278.
- [5] Camy-Peyret C., Flaud J. -M., Lechuga-Fossat L., Johns J. W. C. // *J. Mol. Spectrosc.* 1985. V. 109. P. 300-333.

Исследование перекисного окисления аскорбиновой кислоты методом оптической спектроскопии Чибинева Екатерина Сергеевна

Волгоградский государственный университет

Куценко Светлана Анатольевна, к.ф.-м.н.

chibineva2017@mail.ru

Известно, что аскорбиновая кислота, или витамин С легко окисляется кислородом воздуха. Особенно неустойчивы растворы этого соединения. Разработка методов повышения стабильности лекарственных препаратов на основе аскорбиновой кислоты и исследование процессов её окисления важная и актуальная задача. В данной работе приведены результаты исследования перекисного окисления аскорбиновой кислоты методом оптической спектроскопии.

В процессе реакции перекисного окисления: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ восстанавливается кислород: $2\text{O}^- + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$, окисляется углерод: $2\text{C}^+ - 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{C}^{2+}$, и образуется дегидроаскорбиновая кислота, которая в

дальнейшем также распадётся [1]. Изменение структуры молекул приводит к изменению спектра поглощения их растворов.

Экспериментально исследованы изменения спектров поглощения аскорбиновой кислоты в процессе перекисного окисления. Исследования проводились на двухканальном автоматизированном спектральном комплексе на базе монохроматора МДР-23. Измерения были выполнены в следующих условиях: объем кюветы $V_k=5$ мл, длина $l=10$ мм. Химически чистая аскорбиновая кислота растворялась в дистиллированной воде. Изменялись спектры пропускания водных растворов аскорбиновой кислоты и этих же растворов с добавлением перекиси водорода. В результате обработки спектров пропускания получены зависимости показателей поглощения растворов от длины волны излучения с учётом френелевских потерь на отражение от стенок кюветы и спектра пропускания источника. Изменение спектров представлено на рис. 1. Из рисунка видно, что при добавлении к водному раствору аскорбиновой кислоты перекиси водорода появляется полоса поглощения в области 208 нм, величина максимума которой увеличивается с ростом концентрации перекиси водорода.

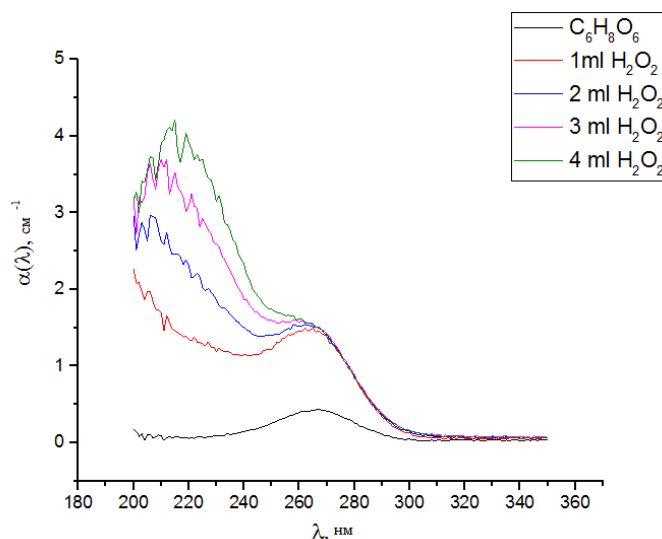


рис.1 УФ-спектр поглощения 0,0008% раствора аскорбиновой кислоты с добавлением перекиси водорода.

Электронные спектры этих же растворов были рассчитаны с использованием пакета программ для квантовохимических расчётов.

На рис. 2 и рис. 3 показаны электронный спектр водного раствора перекиси водорода и водного раствора аскорбиновой кислоты и наложенные на них экспериментальные спектры поглощения.

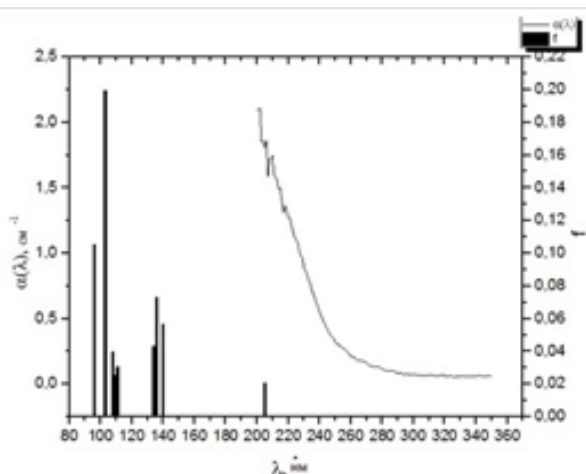


рис.2.Электронный спектр водного раствора перекиси водорода.

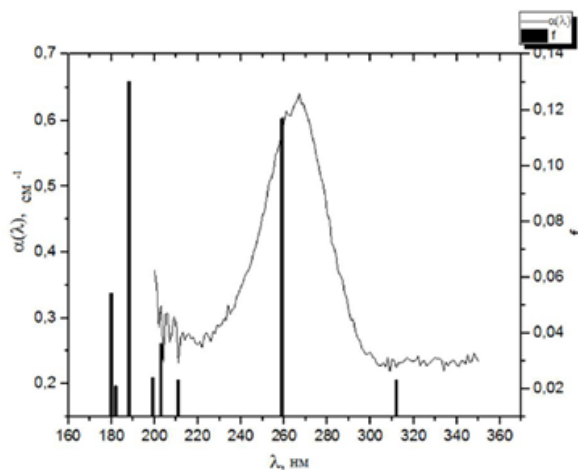


рис.3.Электронный спектр водного раствора аскорбиновой кислоты.

Результаты численного исследования подтвердили, что при превращении аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую, изменяется ее электронный спектр: наиболее интенсивная полоса на длине волны 260 нм смещается в область меньших длин волн, появляется интенсивная линия на 208 нм, свидетельствующая об образовании 2,3-дикето-L-гулоновой кислоты.

Таким образом, методы спектроскопии поглощения могут быть использованы для контроля процессов окисления растворов аскорбиновой кислоты и разработки способов повышения стабильности препаратов, содержащих аскорбиновую кислоту [2].

Список публикаций:

[1] Девис М., Остин Дж., Патридж Д. // Витамин С: Химия и биохимия, М.: Мир, 1999.с. 179.

[2] Danyayeva J.S., Kutsenko S.A. Changes in the spectral characteristics of preparations containing ascorbic acid with the addition of stabilizers. // Proc. SPIE 11065, Saratov Fall Meeting 2018: Optical and Nano-Technologies for Biology and Medicine, Saratov, 2018.

Метод определения параметров анизотропии поляризационных систем

Чупин Илья Александрович

Бибикова Эвелина Анатольевна^{1,2}, Кундикова Наталия Дмитриевна^{1,2}

¹Институт электрофизики УрО РАН

²Южно-Уральский государственный университет

Бибикова Эвелина Анатольевна, к.ф.-м.н.

hh.hgfhg@mail.ru

Любая поляризационная среда или система по своим поляризационным свойствам эквивалентна системе из четырех последовательно расположенных простейших элементов [1]: вращателя плоскости поляризации (CP), линейного фазосдвигающего элемента (LP), циркулярного (CA) и линейного (LA) поляризаторов. В результате такая среда однозначно характеризуется шестью эффективными параметрами анизотропии: линейным фазовым сдвигом Δ , азимутом медленной оси линейного фазосдвигающего элемента α , коэффициентом линейного дихроизма P , коэффициентом циркулярного дихроизма R , оптической активностью ϕ и азимутом оси пропускания θ линейного поляризатора. Определение шести эффективных параметров позволит получить полную информацию об анизотропных свойствах конкретной среды или поляризационной системы, и это в свою очередь даст возможность идентифицировать ее, а также найти закономерности и провести сравнительный анализ анизотропных свойств сред различной природы.

В настоящее время поляризационные методы исследования материалов нашли широкое применение в различных областях науки и техники, благодаря неинвазивности методики и точности полученных результатов.

Целью данной работы явилось разработка простого метода определения эффективных параметров анизотропии поляризационной среды.

Предлагаемый метод является по существу поляриметрическим. Суть его заключается в следующем. Свет от когерентного источника распространяется через поляризатор, исследуемую среду и анализатор. Мощность света на выходе измерительной схемы определяется при различных ориентациях осей пропускания поляризатора γ и анализатора β . Выберем произвольную систему координат и опишем преобразование поляризации света через такую схему на основе формализма матриц Джонса, представленная формулой (1):

$$\mathbf{T}^{\text{AN}}(\gamma) \times \mathbf{T}^{\text{SR}} \times \mathbf{J}_0(\beta) = \mathbf{J}_{\text{out}} \quad (1)$$

Здесь \mathbf{T}^{AN} – матрица Джонса анализатора, выражающаяся формулой (2):

$$\mathbf{T}^{\text{AN}} = \begin{pmatrix} \cos^2 \gamma & \cos \gamma \sin \gamma \\ \cos \gamma \sin \gamma & \sin^2 \gamma \end{pmatrix} \quad (2)$$

\mathbf{J}_0 – вектор-столбец прошедшего через поляризатор линейно поляризованного излучения с плоскостью поляризации, ориентированной под углом β к оси OX , определяемый по формуле (3):

$$\mathbf{J}_0 = \begin{pmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \end{pmatrix}. \quad (3)$$

\mathbf{J}_{out} – вектор-столбец выходного излучения, представленный формулой (4):

$$\mathbf{J}_{\text{out}} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} \quad (4)$$

где E_x и E_y – компоненты вектора электромагнитной волны. \mathbf{T}^{SR} – матрица Джонса исследуемой среды, которая как уже говорилось выше можно представить, как систему из четырех простейших поляризационных элементов [1], выраженная формулой (5):

$$\mathbf{T}^{\text{SR}} = \mathbf{T}^{\text{CP}}(\phi) \times \mathbf{T}^{\text{LP}}(\Delta, \alpha) \times \mathbf{T}^{\text{CA}}(R) \times \mathbf{T}^{\text{LA}}(P, \theta) \quad (5)$$

Интенсивность выходящего излучения определяется по формуле (6):

$$I_{\text{out}} = |E_x|^2 + |E_y|^2 = f(P, \Delta, R, \alpha, \phi, \theta). \quad (6)$$

Здесь $P, \Delta, R, \alpha, \phi, \theta$ – эффективные параметры анизотропии исследуемой среды; γ, β – азимуты осей поляризатора и анализатора. Варьируя в ходе эксперимента азимуты γ и β , и измеряя соответствующие интенсивности I_{out} , можно получить систему уравнений с шестью неизвестными. Решая эту систему компьютерными методами, можно определить все эффективные параметры исследуемой среды. Для увеличения точности определения параметров требуется провести как можно больше измерений интенсивности I_{out} при различных комбинациях углов γ и β . Необходимо иметь ввиду, что измеренную величину I_{out} нужно нормировать на величину gI_0 , где I_0 — интенсивность света в начале измерительной схемы, g – коэффициент, учитывающий долю отраженного и рассеянного света на всех элементах схемы.

Было проведено компьютерное моделирование эксперимента с целью выявления влияния возможных погрешностей измерений на результирующие значения эффективных параметров. Так же была проведена экспериментальная апробация метода на примере системы, состоящей из двух идентичных слюдяных пластинок, медленные оси которой ориентированы под углом ψ . Фазовый сдвиг пластинок $\Gamma = 59.05^{\circ} \pm 0.05$ и относительный амплитудный коэффициент пропускания $F = 0.917 \pm 0.001$ были определены методом [2]. Такая система в условиях многолучевой интерференции света обладает всеми шестью эффективными параметрами, которые можно посчитать теоретически, используя результаты работы [3]. Показано хорошее соответствие экспериментальных результатов теоретическим.

Список публикаций:

[1]. Savenkov S. N., Marienko V. V., Oberemok E. A., Sydoruk O. // *Phys. Rev.* 2006. V. 74. P. 056607.

[2] Бибикова Э.А., Кундикова Н.Д., Розачева Л.Ф. // *Известия Российской академии наук. Серия физическая.* 2006. Т. 70 (9). С. 1285-1288.

[3] Bibikova E.A., Kundikova N.D., Popkova A.M., Popkov. I.I. // *SPIE Proceedings*, 2011, T. 8011. C. 80110U.

Исследование возможности управления спектральным откликом апериодических дифракционных структур в оптическом волокне

Ядрышниковна Антонина Марьевна

Южно-Уральский государственный университет

Герасимов Александр Михайлович, к.ф.-м.н.

unbiodegradable@gmail.com

На сегодняшний день волоконные брэгговские решётки (ВБР) [1] широко применяются во многих областях науки, техники, промышленности, медицины и повседневной жизни [2]. Наиболее перспективными ввиду своей устойчивости к температуре и механическим напряжениям являются ВБР типа II, то есть периодические дифракционные структуры, записанные в оптическом волокне из кварцевого стекла методом point-by-point [3] или plane-by-plane [4] с использованием энергий выше порога разрушения материала. Однако их спектрам отражения свойственны достаточно высокие побочные максимумы, а стандартный метод аподизации, то есть подавления таких максимумов, основан на варьировании амплитуды модуляции показателя преломления, что не всегда технически осуществимо при поточечной записи. Поэтому целью данной работы является разработка метода ослабления побочных максимумов для дифракционных структур с постоянной амплитудой модуляции показателя преломления.

При наложении друг на друга двух дифракционных структур с близкими значениями периода таким образом, чтобы центральный штрих первой находился между двумя центральными штрихами второй, а расстояние между их крайними штрихами отступало от половины периода на четверть длины волны, как продемонстрировано на рисунке 1, центры этих структур действуют синфазно, а края – в противофазе. Это способствует усилению центрального максимума и ослаблению побочных.

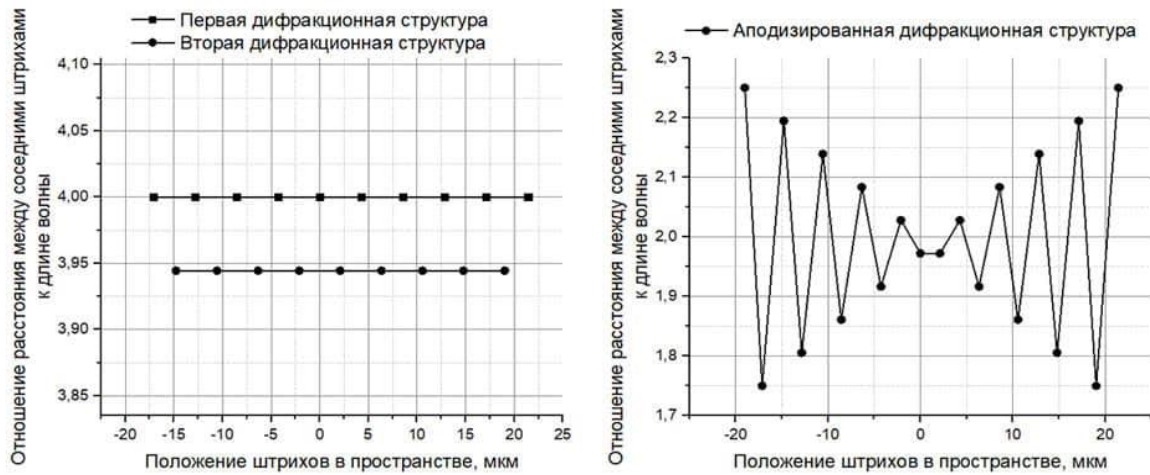


рис. 2. Зависимость расстояния между соседними штрихами двух дифракционных структур от положения этих штрихов до и после наложения

Напряжённость проходящего через ВБР и отражённого от неё излучения задаётся выражениями (1) и (2):

$$E_0 = \tilde{E}_0 e^{-ik_0 z}, \quad (1)$$

$$\vec{E}_k = \tilde{E}_k e^{-i\vec{k}_0 \cdot \vec{r}}, \quad (2)$$

где $\tilde{E}_0 = \tilde{E}_k = 1$ – константы, $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} n$ – волновое число, n – показатель преломления сердцевины волокна, z – ось, направленная вдоль волокна по направлению распространения излучения. Интеграл перекрытия для этой системы:

$$F = \int_{-\infty}^{\infty} E_0 E_k^* f(z) dz, \quad (3)$$

где $f(z)$ – функция, описывающая положения всех штрихов z_j структуры:

$$f(z) = \sum_{j=1}^N \delta(z - z_j), \quad (4)$$

$$\Rightarrow F(\theta, \lambda) = \sum_{j=1}^N e^{-i\frac{2\pi}{\lambda} n z_j} \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n z_j \cos \theta}, \quad (5)$$

где θ – угол между направлением распространения отражённого излучения и обратным направлением распространения падающего излучения. В данном случае $\theta = 180^\circ$. Интенсивность продифрагировавшего на заданной структуре излучения выражается через интеграл перекрытия следующим образом:

$$I(\lambda) = |F(\lambda)|^2. \quad (6)$$

Данная математическая модель была реализована в среде MATLAB. Было проведено сравнение аперидической дифракционной структуры, полученной путём наложения двух структур с периодами, близкими к λ , по вышеописанному принципу, и эталонной периодической структуры с периодом $0,5\lambda$. Были получены следующие данные: высота главного пика аподизированной структуры составляет 31,7% от высоты эталонной, ширина на полувысоте – 145%; для эталонной структуры отношение главного максимума к побочным составляет 21,2, для аподизированной 1449,99 и 1187,5.



рис 3. Зависимость интенсивности излучения, отражённого от рассматриваемой структуры, от длины волны

Список публикаций:

- [1] Othonos A. *Fiber Bragg gratings*. // *Rev. Sci. Instrum.* 1997. Vol. 68. no. 12. p. 4309–4341
- [2] Rao Y. J. *Recent progress in applications of in-fibre Bragg grating sensors*. // *Opt. Lasers Eng.* 1999. Vol. 31. p. 297–324
- [3] Martinez A., Dubov M., Khrushchev I. and Bennion I. *Direct writing of fibre Bragg gratings by femtosecond laser*. // *Electron. Lett.* 2004. Vol. 40. No. 19. p. 1170–1172
- [4] Theodosiou A., Lacraz A., Stassis A., Koutsides C., Komodromos M. and Kalli K. *Plane-by-Plane Femtosecond Laser Inscription Method for Single-Peak Bragg Gratings in Multimode CYTOP Polymer Optical Fiber* // *J. Light. Technol.* 2017. Vol. 35. No. 24. p. 5404–5410

08 - Квантовая электроника и лазерная физика.

Гафуров Эльдар Маратович, лаборант

Челябинск, Российский федеральный ядерный центр, Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забахина, физический

Исследование скорости деградации импульсных матриц при проведении ресурсных испытаний

Смирнов Евгений Викторович, к.т.н.

e-mail: ulina3@mail.ru

стр. 216

Соломенникова Анастасия Александровна, 1 курс

Ижевск, Удмуртский государственный университет, институт математики и информационных технологий

Окисление этанола и метанола на композиционных электродах RuO₂-Pt в средах с ограниченной диффузией

Харанжевский Евгений Викторович, д.т.н.

e-mail: solomennikovavtk@mail.ru

стр. 217

Телегин Андрей Владимирович, зав. лаб.

Екатеринбург, Институт физики металлов УрО РАН, отдел наноспинтроники

Стрейн-магнитооптика новое направление стрейнтроники и оптоэлектроники

e-mail: telegin@imp.uran.ru

стр. 218

Ширкина Лидия Владимировна, 4 курс

Челябинск, Челябинский государственный университет, физический

Численное моделирование оптической системы Cr:LiCAF лазера с энергией до 1 Дж

Лаппа Александр Владимирович, д.ф.-м.н.

e-mail: lidiya.shirkina@mail.ru

стр. 220

Исследование скорости деградации импульсных матриц при проведении ресурсных испытаний

Гафуров Эльдар Маратович

Фомин Алексей Васильевич, Филоненко Елена Михайловна
РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика. Е.И. Забабахина

Смирнов Евгений Викторович, к.т.н.

dep5@vniitf.ru

Перспективные разработки в области мощных полупроводниковых лазерных излучателей (ЛИ) спектрального диапазона 790-810 нм открывают новые возможности применений для оптической накачки различных активных сред твердотельных лазеров (ТТЛ) [1]. В рамках создания и развития собственного производства ТТЛ с диодной накачкой в РФЯЦ-ВНИИТФ была проведена большая исследовательская работа, направленная на разработку конструкции и технологии изготовления мощных лазерных излучателей на базе линеек лазерных диодов. Применение разработанных технических решений позволило изготовить матрицы лазерных диодов (МЛД) с характеристиками, превосходящими существующие отечественные аналоги [2].

Важнейшим этапом в производстве МЛД, также как и любых других лазерных излучателей, является определение надежности при требуемых режимах эксплуатации. В свою очередь, скорость изменения выходных характеристик ЛИ, позволяющая оценить надежность, зависит от вкладов различных механизмов деградации лазерных устройств, установить которые можно в течение проведения ресурсных испытаний [3].

Поскольку в среднем ресурс мощных импульсно-периодических МЛД превышает 10⁹ импульсов [4], в данной работе была применена методика ускоренных испытаний. Одним из ускоряющих параметров деградации выступает повышенная температура, влияние которой, в соответствии со стандартом Telecordia GR468CORE описывается согласно модели Аррениуса [5]:

$$L = \beta \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$$

где L – параметр, отображающий срок службы, например, средний срок службы, медианный срок службы и т. п. β – положительная константа, которая относится к характеристикам и геометрическим формам изделия. E_a – энергия активации, измеряемая в эВ. k – постоянная Больцмана. T – температура в градусах Кельвина. Модель Аррениуса показывает, что параметр, описывающий срок службы, экспоненциально снижается при повышении температуры.

В рамках данной работы проведено исследование зависимости скорости деградации мощных импульсно-периодических МЛД с длиной волны излучения 808 нм от температуры термостабилизации ЛИ. Результаты ускоренных ресурсных испытаний МЛД для трех температурных режимов представлены на рисунке 1.

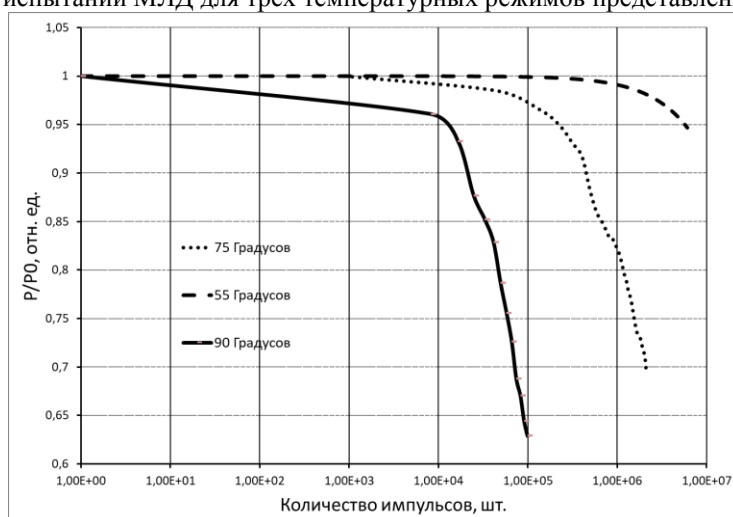


рис. 1. Результаты ускоренных ресурсных испытаний МЛД при температурах 55, 75 и 90°С

В данной работе предложен метод ускоренных ресурсных испытаний МЛД и оценки срока службы изделий при номинальных значениях температуры термостабилизации ЛИ. На основании полученных результатов в соответствии с моделью Аррениуса найдены скорости деградации исследуемых МЛД и проведен расчет значения температурно обусловленной энергии активации деградационных процессов. Рассчитанное время жизни МЛД для рабочей температуры 25°С составило $4 \cdot 10^{10}$ импульсов.

Список публикаций:

[1] Yao, Tianfu et al. High-Power Continuous-Wave Directly-Diode-Pumped Fiber Raman Lasers // APPLIED SCIENC-ES- BASEL, 2015, Том: 5 Выпуск: 4 Стр.: 1323-1336.

[2] Матрица лазерных диодов и способ её изготовления: Пат. 2544875 Россия, МПК H01S 5/00, H01S 5/42(2006.01) ГК «Росатом», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» / Фомин А.В., Смирнов Е.В., Миловидов Н.И.

[3] Тер-Мартirosян А.Л., Мощные источники лазерного излучения на основе квантоворазмерных гетероструктур [Текст]. // Тер-Мартirosян А.Л. Диссертация- СПб.: ЗАО «Полупроводниковые приборы»/2014

[4] Цзин Чжу, Томас Ян, Цуйпэн Чжан и др. Исследования надежности диодных лазеров с несколькими одиночными излучателями высокого уровня яркости. // Фотоника № 6 / 60 / 2016.

Окисление этанола и метанола на композиционных электродах RuO₂-Pt в средах с ограниченной диффузией

Соломенникова Анастасия Александровна
Удмуртский государственный университет
Харанжевский Евгений Викторович, д.т.н.
solomennikovavtk@mail.ru

В интересах развития энергетики и топливных элементов необходимо проведение поисковых исследований о разработке фундаментальных инженерных основ технологии изготовления и методов получения каталитических электродных материалов, обеспечивающих увеличение срока службы электродов и мощности, с большой устойчивостью к отравлению даже в условиях работы на загрязненном примесями водороде.

Цель исследования состоит в изучение функциональных свойств каталитических электродных материалов на основе рутения и платины, полученных короткоимпульсным лазерным излучением. Данный метод получения электродных материалов позволяет управлять структурой катализаторов на основе композиционных систем платина-рутений и достичь наибольшей эффективности [1].

В качестве электрода-основы использовали коммерчески доступные планарные трехэлектродные системы (ООО «Автоком», Москва, Россия). Спиртовой раствор рутения и платины (0,1 мкл) наносили на поверхность рабочего электрода (рис. 1, поз. 3). После полной просушки поверхности электрода осуществляли лазерную обработку в защитной среде. Для короткоимпульсной лазерной обработки использовали импульсный иттербиевый оптоволоконный лазер номинальной мощностью 50 Вт с длиной волны 1,065 мкм.

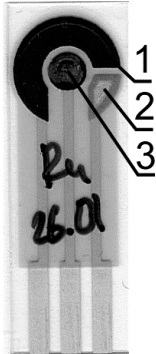


рис. 1. Планарная электродная система с модифицированным рабочим электродом: 1 – графитовый противозлектрод; 2 – электрод сравнения Ag/AgCl; 3 – рабочий электрод, модифицированный оксидом рутения и платины.

Исследование электрохимических характеристик и каталитической активности образцов проводили методом циклической вольтамперометрии (ЦВА) на потенциостате-измерителе импеданса EcoLab 2A-500 (ООО «Эковектор», Ижевск, Россия) в диапазоне потенциалов от -500 до 500 мВ при скорости сканирования 100 мВ/с. Все потенциалы приведены относительно хлоридсеребряного электрода. На графитовый электрод, покрытый Ru – Pt, капельным методом добавляли 100 мкл фосфатно-солевого буферного раствора (pH=7,25), затем добавляли исследуемое вещество. В качестве исследуемых веществ были использованы 40% этиловый и 1% метиловый спирты. Поверхность электродов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии.

Электронно-микроскопическое изображение графитовой поверхности рабочего электрода после нанесения оксидноплатино-рутениевого покрытия представлено на рис. 2. На контрастном изображении светлые области соответствуют оксиду рутения и платины, а более темные – графитовой подложке.

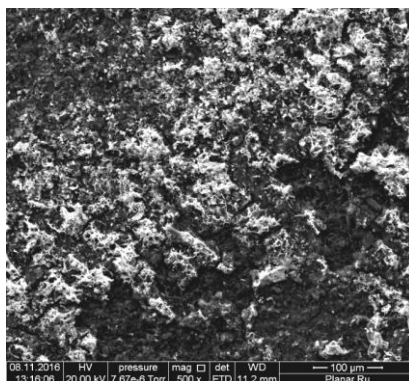


рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение поверхности рабочего электрода датчика после нанесения оксида рутения и платины.

Согласно данным СЭМ, оксид рутения и платины, сформированный лазерным излучением, прочно закрепляется на поверхности графитового электрода и формирует высокоразвитую поверхность. На изображениях регистрируется множество включений оксида рутения и платины с размерами от 50 до 400 нм. При данных условиях обработки около 70% поверхности графитового рабочего электрода покрыто оксидом рутения и платины.

Модифицированные рутением и платиной графитовые электроды показывают выраженную реакцию на присутствие в фоновом электролите исследуемого вещества. На кривых циклической вольтамперометрии в определенный промежуток времени добавления исследуемого вещества формируются ступени, которые показывают снижение равновесного потенциала во времени. Наклон ступеней определяется кинетикой реакции окисления, поэтому возникают различия в поведении равновесного потенциала для 40% раствора этанола в воде и для раствора этанола с добавлением 1% метанола, как показано на рис. 3.

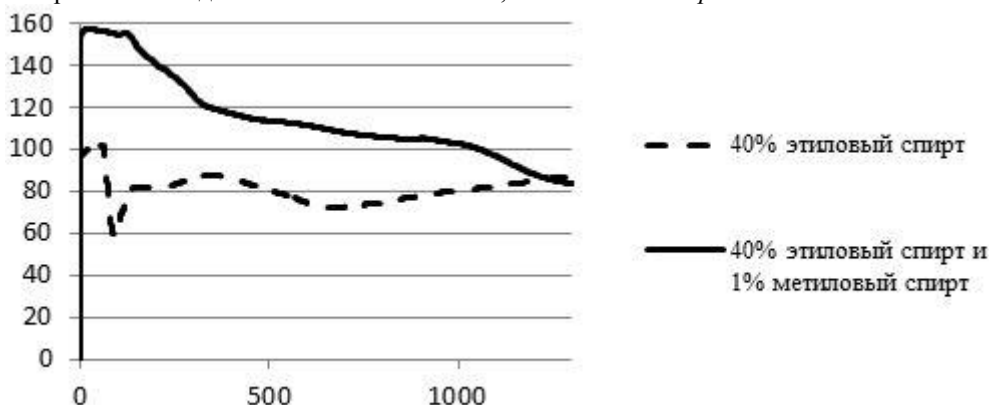


рис. 3. Динамика равновесного потенциала при внесении на электрод для 40% раствора этанола в воде и для раствора этанола с добавлением 1% метанола

Список публикаций:

[1] Писарева Т.А., Харанжевский Е.В., Решетников С.М. // Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89. № 6. С. 736-743.

Стрейн-магнитооптика-новое направление стрейнтроники и оптоэлектроники

Телегин Андрей Владимирович

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН

telegin@imp.uran.ru

Изучение оптических и магнитооптических свойств магнетиков позволяет получать детальную информацию об их электронном спектре и физических механизмах этих явлений, что во многих случаях представляет большой практический интерес. Типичным примером таких материалов являются феррит-шпинели, обладающие значительными по величине магнитооптическими эффектами. Среди них особое место занимает феррит-шпинель CoFe_2O_4 , обладающая аномально большими константами магнитной анизотропии и магнитострикции ($\lambda_{100} \approx 600 \cdot 10^{-6}$) вблизи комнатных температур. Известно, что механические деформации оказывают существенное влияние на магнитоэлектрические, магнитные и оптические свойства

полупроводниковых материалов [1]. Однако изучению деформационной зависимости поглощения света в феррит-шпинелях и композитных структурах на их основе пока практически не уделялось внимание.

Для решения данной задачи методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом были выращены монокристаллы магнитоэлектрического диэлектрика CoFe_2O_4 ($a_0=8.380 \text{ \AA}$). Образцы для измерений были приготовлены в виде пластин (001) площадью $4 \times 4 \text{ мм}^2$ и толщиной $d=100 \text{ мкм}$.

На примере образцов CoFe_2O_4 впервые экспериментально была показана корреляция между магнитоупругими свойствами и поглощением (отражением) неполяризованного ИК-излучения во внешнем магнитном поле. Наблюдаемые эффекты магнитопротекания и магнитоотражения света достигают до 10 % в магнитных полях порядка 2 кЭ в диапазоне длин волн от 0.8 до 30 мкм. Определены основные механизмы наблюдаемых эффектов и показано, что вклад поляризационных эффектов (эффект Фарадея) в исследуемой спектральной области составляет менее 0.1 от величины наблюдаемых эффектов. Установлено, что влияние магнитного поля на оптические свойства CoFe_2O_4 является непрямым: магнитное поле приводит к деформации кристаллической решетки, что приводит к изменению электронной структуры феррита и, как следствие, спектров поглощения и отражения света.

Таким образом, авторами было создано новое оптическое направление в стрейнотронике– стрейн-магнитооптика [2-6]. Предполагается, что полученные эффекты могут наблюдаться для широкого круга магнитоэлектрических материалов в видимой, инфракрасной, терагерцовой и акустической области спектра. Результаты имеют существенное значение для развития физики магнитных явлений и создания новых функциональных структур и опто-акустических устройств на их основе.

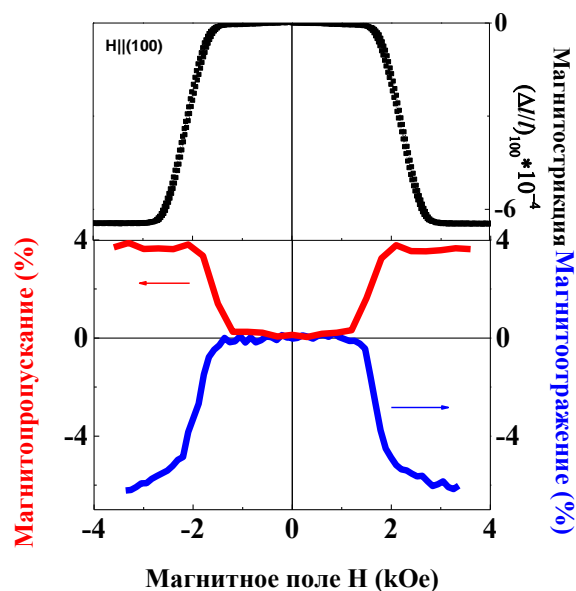


рис.1 Полевые зависимости линейной магнитоэлектрики, магнитоотражения и магнитопротекания ИК-излучения на длине волны излучения 3 мкм при комнатной температуре в пластине монокристалла феррита CoFe_2O_4 .

Работа выполнена в рамках гос.задания №АААА-А18-118020290104-2 по теме «Спин» при поддержке комплексной программы УрО РАН (проект № 18-10-2-37).

Список публикаций:

- [1] Бухараев А.А., Звездин А.К., Пятаков А.П., Фетисов Ю.К. // УФН. 2018. Т. 188. № 11. С. 1288-1330.
- [2] Сухоруков Ю.П., Телегин А.В., Носов А.П. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2016. V. 104. № 6. P. 398-401.
- [3] Sukhorukov Yu.P., Telegin A.V., Vebenin N.G. et al. // Solid State Commun. 2017. V. 263. P. 27-30.
- [4] Сухоруков Ю.П., Телегин А.В., Бебенин Н.Г. и др. // ЖЭТФ. 2018. V. 153. P. 127-137.
- [5] Сухоруков Ю.П., Телегин А.В., Бебенин Н.Г. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2018. V. 108, P. 46-52.
- [6] Сухоруков Ю.П., Бебенин Н.Г., Телегин А.В. и др. // ФММ. 2018. Т. 119. № 12. С. 1231-1238.

Численное моделирование оптической системы Cr:LiCAF лазера с энергией до 1 Дж

Ширкина Лидия Владимировна

Челябинский государственный университет

Лаппа Александр Владимирович, д.ф.-м.н.

lidiya.shirkina@mail.ru

Твердотельные лазеры с диодной накачкой, излучающие в видимой области оптического диапазона, применимы для решения как научных, так и прикладных проблем, например в метеорологии, голографии, медицине. Маломощные системы находят применение при диагностике заболеваний, для непосредственной терапии необходимы системы, способные работать с большими мощностями, как например в офтальмологии, при сосудистых заболеваниях [1]. Также, лазеры в видимом диапазоне с твердым активным веществом широко применимы в косметологии, к примеру лазер на александрите применим для эпиляции.

Целью данной работы является численное моделирование твердотельной лазерной системы видимого диапазона с энергией излучения порядка 1 Дж.

Рассматриваемый в работе кристалл Cr:LiCAF является новой активной средой для генерации лазерного излучения в видимом диапазоне.

Моделирование проводилось с помощью пакета Fresnel 4.0. Была создана модель лазерной системы с несколькими каскадами усиления, представленная на рисунке 1: 1-задающий генератор, 2-предусилитель, 3,4-основные усилители, 5-оконечный усилитель, 6-экран.

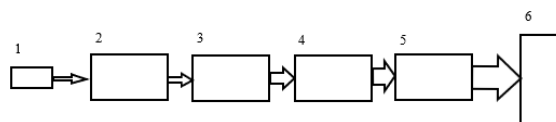


рис.1. Оптическая блок-схема системы

В качестве источника использовался полупроводниковый диод с волоконным выводом с энергией излучения $E_{in}=0,119$ мкДж и диаметром пучка $d = 0,04$ см, распределение по сечению пучка - гауссово.

Рассмотрены варианты реализации системы с выбором распределения интенсивности в сечении пучка. Для получения излучения с гауссовым распределением интенсивности по сечению пучка, модель системы выглядит следующим образом: в качестве предусилительного каскада используется 6-проходный и два 4-проходных усилителя, основной усилитель в виде 3-проходного каскада, а оконечный усилитель представлен двумя 1-проходными усилителями, работающими в режиме насыщения. Для согласования пучка излучения между каскадами применены телескопы Кеплера. Получены следующие параметры излучения на выходе из системы: энергия $E_{out}=0,834$ Дж, диаметр пучка $d = 4,04$ см, распределение интенсивности по сечению пучка гауссово. Количество проходов через активную среду составило 19.

Супергауссово распределение [2] получено путем изменения каскадов усиления: первым каскадом является 6-проходный усилитель, затем каскад из двух 5-проходных усилителей, далее 4-проходный усилитель и завершает схему 1-проходный усилитель в режиме насыщения. Параметры излучения на выходе из системы следующие: энергия $E_{out} = 0,901$ Дж, диаметр пучка $d = 2,88$ см, распределение - супергауссово. Количество проходов через активную среду - 21.

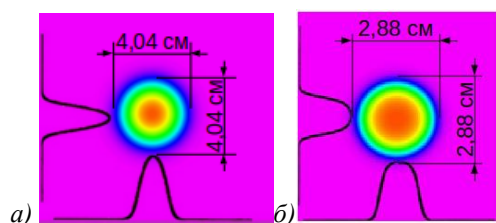


рис.2. Распределение интенсивности в сечении пучка на выходе а) гауссово, б) супергауссово

Результаты моделирования показывают возможность получения требуемого распределения интенсивности по сечению пучка путем модификации каскадов усиления. Достижение энергии излучения 1 Дж возможно при увеличении количества проходов через активную среду.

Список публикаций:

[1] Лазерные технологии в науке и технике Сюй А.В. // Журнал: Бюллетень научных сообщений, Издательство: Дальневосточный государственный университет путей сообщения (Хабаровск), номер: 20, год: 2015, с: 55-64,64

[2] Parent, A., Morin, M. & Lavigne, P. Propagation of super-Gaussian field distributions. Opt Quant Electron 24, S1071-S1079 (1992).

09 - Физическая химия, химическая физика

Аубекеров Тимур Мендбайулы, аспирант 3 года обучения

Уфа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, технологический

Прогнозирование критических свойств и теплоемкости углеводородов по топологическим характеристикам их молекул

Доломатов Михаил Юрьевич, д.х.н.

e-mail: timur_1995@inbox.ru стр. 223

Байбулова Галия Шафкатовна, ст. преподаватель

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, институт физики и математики

Квантово-химические расчеты для исследования многослойных наноразмерных органических систем

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: 102galiya102@rambler.ru стр. 223

Бутин Антон Владиславович, аспирант 2 года обучения

Волгоград, Волгоградский государственный университет, теоретической физики и волновых процессов

Эффекты адсорбции одновалентных и двухвалентных атомов на поверхности германена

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

e-mail: steamdefense4fun@gmail.com стр. 225

Ерофеева Елена Александровна, аспирант 1 года обучения

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, Международный исследовательский институт

Изучение функциональных групп материалов класса ZIF для специфической сорбции йода

Солдатов Александр Владимирович, д.ф.-м.н.

e-mail: erofeevalena88@gmail.com стр. 226

Кильдибаева Гузалия Хамитьяновна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и математики

Исследование наноразмерных проводящих областей в полимерной пленке

Асфандиаров Наиль Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

e-mail: gkildibaeva13@list.ru стр. 227

Кононенко Полина Никаноровна, 4 курс

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа энергетики

Исследование продуктов синтеза системы «Молибден-углерод» методом рентгеновской дифрактометрии

Пак Александр Яковлевич, к.т.н.

e-mail: pnk6@tpu.ru стр. 228

Кузнецова Полина Сергеевна, магистрант 1 года обучения

Новосибирск, Институт химической кинетики и горения им. Воеводского СО РАН, естественно-научный

Изучение фотоиницируемых процессов в хиральных диадах с Кетопрофеном методом ХПЯ

Лёшина Татьяна Викторовна, д.х.н.

e-mail: Pol0596@yandex.ru стр. 229

Лебедев Михаил Сергеевич, н.с.

Новосибирск, Институт неорганической химии СО РАН, лаб. функциональных пленок и покрытий

Синтез тонких плёнок методом атомно-слоевого осаждения для приборов микро- и нанoeлектроники

e-mail: lebedev@niic.nsc.ru стр. 230

Маркова Ангелина Вячеславовна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы, институт физики и матем-ки

Параметризация модели Аррениуса для оценки сродства к электрону молекул из данных о временах жизни отрицательных ионов

Асфандиаров Наиль Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

e-mail: login.markova@yandex.ru стр. 232

Минакова Екатерина Николаевна, 6 курс
Волгоград, Волгоградский государственный университет, Институт математики и информационных технологий
Оценка эффективности разделения зарядов в фотовозбужденных диадах
Михайлова Валентина Александровна, д.ф.-м.н.
e-mail: minakova.kate@yandex.ru стр. 233

Назаров Алексей Евгеньевич, аспирант 2 года обучения
Волгоград, Волгоградский государственный университет, институт математики и информационных технологий
Инфракрасная спектральная динамика в фотовозбужденных квадрупольных молекулах с нарушенной симметрией: восстановление колебательных параметров
Иванов Анатолий Иванович, д.ф.-м.н.
e-mail: nazarov.alexey@volsu.ru стр. 234

Таюпов Мансаф Масхутович, аспирант 2 года обучения, инженер
Уфа, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, лаб. физики атомных столкновений
Диссоциативный захват электронов молекулами 4,7-и 6,7-дигидроксикумарина
Пшеничнюк Станислав Анатольевич, д.ф.-м.н.
e-mail: tayupovmansaf@yandex.ru стр. 235

Прогнозирование критических свойств и теплоемкости углеводородов по топологическим характеристикам их молекул

Аубекеров Тимур Мендбайулы

Коледин Олег Сергеевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Доломатов Михаил Юрьевич, д.х.н.

timur_1995@inbox.ru

Оценка физико-химических свойств углеводородов таких как молярная теплоемкость, критические параметры необходима для проведения проектных расчетов в химической технологии для решения научных задач. В настоящее время известен ряд способов расчета физико-химических свойств. Одним из них является метод определения физико-химических свойств углеводородов на основе молярной массы и критических параметров [1]. Однако недостатком метода является сложность расчета и ограничение точности в рядах изомеров. Также известен способ определения физико-химических свойств по потенциалам ионизации [2]. Недостатком такого способа является его ограниченность и применимость к узким рядам соединений.

Целью данной работы является разработка методики, позволяющей использовать теорию графов, с устранением перечисленных недостатков. Объектами исследования являются алканы, арены и алкены. В качестве топологических параметров [3] используется индекса Винера, индекс Рандича и функция от собственных значений топологической матрицы и индекс, учитывающий цис- и трансизомерию у алкенов. В качестве характеристики физико-химических свойств рассматривалась модель вида:

$$\Phi = \Phi(W, \rho, L, I) \quad (1)$$

где Φ – рассчитываемое физико-химическое свойство углеводорода;

W – индекс Винера;

L – сумма квадратов собственных значений топологической матрицы;

ρ – индекс Рандича;

I – индекс, учитывающий цис- и трансизомерию у алкенов.

Коэффициенты модели (1) были найдены методами многофакторного регрессионного анализа [2,3]. Точность полученных моделей в QSPR подходе оценивалась с помощью статистических характеристик, анализ показал, что полученная модель является адекватной. Вычисленная множественная корреляция превышает 0,97, что подтверждает сильную связь между топологическими индексами и физико-химическими свойствами углеводородов.

На языке программирования Maple 9 разработана соответствующая программа расчета некоторых топологических индексов и некоторых физико-химических свойств углеводородов, которая может быть использована в инженерных и научных расчетах.

Список публикаций:

[1] *Ахметов, С.А., Гостенова Н.А. // Практикум по инженерным расчетам физико-химических свойств углеводородных систем. Уфа: Изд-во УГНТУ. 2006. С. 148.*

[2] *Дезорцев, С.В., Доломатов М.Ю., Шуткова С.А. // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. № 2. С. 85.*

[3] *Станкевич М.И., Станкевич И.В., Зефирова Н.С. // Успехи химии. 1988. Т. 57. №3. С. 337.*

Квантово-химические расчеты для исследования многослойных наноразмерных органических систем

Байбулова Галия Шафкатовна

Калимуллина Луиза Раяновна, Лачинов Алексей Николаевич

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Лачинов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

102galiya102@rambler.ru

Для прогнозирования свойств полимерных материалов и возможности их конкретного практического использования недостаточно знания о химической структуре, необходимы также знания об электронной структуре полимера.

В тонких пленках полиариленов при инъекции носителей заряда из электродов было обнаружено множество эффектов, связанных с переключением проводимости пленок из низкопроводящего состояния в

высокопроводящее [1]. Электронное переключение может быть индуцировано давлением, электрическим полем, магнитным полем, изменением граничных условий на контакте металл-полимер и так далее.

Подавляющее большинство эффектов наблюдается в 2 типах структур: вертикальная пленочная структура металл/полимер/металл и продольная пленочная структура границы раздела полимер/полимер.

При этом свойства подобных структур зависят как от параметров контактирующих металлов, так и от энергетических характеристик полимеров. Зонные диаграммы показывают взаимосвязь между энергетическими параметрами полимеров и металлов.

В данной работе представлены комплексные исследования результатов квантово-химических расчетов (например, оценка энергетических параметров, влияние химической структуры полимеров на их свойства и др.) при изучении электронных свойств перспективных структур с точки зрения создания элементов микро- и нанoeлектроники. Это структуры, в которых наблюдается новый класс электронных явлений.

Для проведения расчетов были выбраны полуэмпирический метод AM1, ограниченный метод Хартри-Фока в базисном наборе 3-21 G(d) и 6-31 G (d), а также метод теории функционала плотности в приближении UB3LYP/6-31+G(d), реализованных в программах Firefly и Gaussian.

Большой интерес представляют результаты квантово-химических расчетов энергии сродства к электрону и потенциала ионизации комплексов мономер/газ. Полученные значения энергий (Табл.1) свидетельствуют о существенном влиянии кислорода на молекулу мономера. Так сродство к электрону комплекса мономера с кислородом изменяется практически в 2,5 раза по сравнению со сродством исходного мономера. Экспериментальные результаты также подтверждают, что влияние других газов минимально по сравнению с кислородом.

Таблица 1. Потенциал ионизации и сродство к электрону для комплексов мономер/газ.

	Мономер дифенилфталид (ДФ)	Комплекс ДФ/O ₂	Комплекс ДФ/Ar	Комплекс ДФ/He	Комплекс ДФ/CO ₂	Комплекс ДФ/N ₂
Потенциал ионизации (IP), эВ	6,93	6,35	6,94	6,94	6,95	6,94
Сродство к электрону (EA), эВ	1,75	4,35	1,75	1,76	1,83	1,77

В соответствии с моделью Свораковского [2] наличие примесных состояний с энергией сродства к электрону большего, чем в основном материале, приводит к формированию электронных ловушек глубиной ΔE.

Очевидно, что химическая структура полимеров также должна влиять на электронные параметры контакта металл/полимер и полимер/полимер. Однако неясно, какой из параметров (потенциал ионизации, энергия электронного сродства или оба параметра) будут определяющими. Для ответа на этот вопрос был осуществлен анализ влияния химической структуры полимеров на величину потенциального барьера путем исследования спектров поглощения и теоретической оценки методами квантово-химического моделирования ширины запрещенной зоны. Из полученных результатов следует, что с ростом потенциала ионизации и ширины запрещенной зоны E_g расщ увеличивается и высота потенциального барьера на границе металл/полимер.

При изучении влияния химической структуры полимеров на электрофизические свойства вдоль границы раздела полимер/полимер было получено, что вдоль границы раздела двух полимерных пленок возникает двумерная электронная подсистема. Определяющим механизмом в формировании такого высокопроводящего интерфейса является поверхностная поляризация, обусловленная спонтанным дипольным упорядочением боковых групп полимерных молекул.

Предложен способ прогнозирования эффективности использования тех или иных соединений в многослойных структурах.

Список публикаций:

- [1] Лачинов А. Н., Корнилов В. М., Загуренко Т. Г., Жеребов А. Ю. // ЖЭТФ. - 2006. - Т.129. - N 4. - С. 728-734.
 [2] Sworakowski J. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. - 1970. - № 11. - P. 1-11.

Эффекты адсорбции одновалентных и двухвалентных атомов на поверхности германена

Бутин Антон Владиславович

Лебедев Николай Геннадьевич

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

steamdefense4fun@gmail.com

В последние годы наблюдается стойкий интерес к адсорбционным свойствам германена, так как выявление механизмов взаимодействия чужеродного атома с германеновой структурой важно как с фундаментальной (перенос заряда, рассеяние носителей, поверхностный магнетизм), так и с прикладной точки зрения (допирование, пассивация, сенсорика). В данной работе авторы рассматривали электронные свойства гидрогенизированного силицена и германена с помощью методов теории функционала плотности. Квантово-химическими расчетами показано, что при адсорбции атома водорода в германене появляется энергетическая щель с прямым зазором с энергией 3.2 эВ. Данная особенность потенциально интересная для оптоэлектроники в синем и фиолетовом спектре.

Целью настоящей работы является изучение электронно-энергетических характеристик германена с адсорбированными на его поверхности одновалентными и двухвалентными атомами. Для достижения цели решались следующие задачи: построение геометрической модели двумерного германена с адсорбированными атомами; квантово-химический расчет электронного строения выбранных моделей в рамках методов теории функционала плотности; выявление закономерностей процессов адсорбции атомов и их самоорганизации на поверхности германена.

Для расчета электронного строения германена как идеального, так и с примесями, использовались методы теории функционала плотности (DFT) с использованием обменно-корреляционного потенциала B3LYP в базисе STO-3G.

Как следует из таблицы, длины адсорбционных связей $R_{ад}$, как и следовало ожидать, растут с увеличением ковалентного радиуса адатома.

Анализ результатов квантово-химических расчетов показывает, что граничные молекулярные орбитали, т.е. верхняя занятая (ВЗМО) и нижняя вакантная (НВМО), составлены преимущественно из атомных $4p_z$ -орбиталей. Как следует из таблицы, величины энергий $E_{ВЗМО}$ и $E_{НВМО}$ изменяются в результате атомарной адсорбции. А именно, одновалентные адатомы незначительно (на 0.27 эВ) уменьшают энергию $E_{ВЗМО}$ и увеличивают $E_{НВМО}$. Двухвалентный атом практически не изменяет энергию $E_{НВМО}$, а энергия $E_{ВЗМО}$ уменьшается свыше 2.7 эВ.

Структура	$R_{ад}$, Å	$E_{ВЗМО}$, эВ	$E_{НВМО}$, эВ	$E_{ад}$, эВ	q
Ge3.3	-	β : -1.3 α : -1.6	β : -0.54 α : -0.05	-	$q(\text{Ge}): 0.03$
Ge3.3+H	1.41	β : -2.17 α : -1.35	β : -0.16 α : 0.005	-0.14	$q(\text{Ge}): 0.11$ $q(\text{H}): -0.08$
Ge3.3+F	1.76	β : -2.17 α : -1.63	β : -0.54 α : -0.27	0.15	$q(\text{Ge}): 0.37$ $q(\text{F}): -0.2$
Ge3.3+O	2.2	β : -1.35 α : -4.89	β : -0.81 α : -0.54	2.39	$q(\text{Ge}): 0.07$ $q(\text{O}): -0.19$

Изменение величин граничных энергий $E_{ВЗМО}$ и $E_{НВМО}$ свидетельствует об изменении свойств нанотрубок в результате адсорбции, в частности, об увеличении реакционной способности данных систем. Т.е. адсорбированные на поверхности германена частицы увеличивают его сродство к другим адсорбирующимся частицам. Разница между граничными энергиями германена с одновалентным адатомом незначительна, что свидетельствует об общности физических свойств таких структур.

Анализируя заряды на адатомах можно сделать вывод, что в результате адсорбции произошел перенос заряда с германена на адатом. Причем величина заряда зависит от электроотрицательности адатомов и увеличивается в ряду H, F, O.

Энергия адсорбции атомов и молекул рассчитывалась как разность полных энергий продуктов реакции и реагентов. Оценивая результаты, полученные при расчете величины $E_{\text{адс}}$, представленные в таблице можно сделать вывод, что абсолютное значение энергии адсорбции возрастает с ростом электроотрицательности и валентности адатомов. Отрицательные значения энергии адсорбционной связи указывают на то, что система находится в энергетически устойчивом состоянии. Как следует из таблицы, энергия адсорбции $E_{\text{ад}}$ сильно зависит от типа атома, который присоединяется на германеновую поверхность. Так, чем выше сродство к электрону, например, у кислорода, тем энергетически менее выгодна адсорбция.

Список публикаций:

- [1] Чернозатонский Л.А., Сорокин П.Б., Артюх А.А. // Успехи химии. 2014. Т. 83. Вып. 3. С. 251–279
- [2] Aoki H., Dresselhaus M.S. *Physics of Graphene*. Springer International Publishing Switzerland, 2014
- [3] Герт А.В., Нестоклон М.О., Яссуевич И.Н. // ЖЭТФ, 2015, Том 148, Вып. 1, с. 133 – 139
- [4] M. Houssa, G. Pourtois, V. V. Afanas'ev, and A. Stesmans *Electronic properties of two-dimensional hexagonal germanium* // *Applied Physics Letters* 96, 082111 (2010).
- [5] M. E. Davila, L. Xian, S. Cahangirov, A. Rubio and G. Le Lay *Germanene: a novel two-dimensional germanium allotrope akin to graphene and silicene* // *New J. Phys.* 16: 095002 (2014).
- [6] A. Acun, L. Zhang, P. Vampoulis, M. Farmanbar, Avan Houselt, A. N. Rudenko, M. Lingensfelder, G. Brocks, B. Poelsema, M. I. Katsnelson and H. J. W. Zandvliet *Germanene: the germanium analogue of graphene* // *J. Phys.: Condens. Matter* 27 (2015) 443002 (11pp).
- [7] L. Zhang, P. Vampoulis, A. van Houselt, and H. J. W. Zandvliet *Two-dimensional Dirac signature of germanene* // *Applied Physics Letters* 107, 111605 (2015).

Изучение функциональных групп материалов класса ZIF для специфической сорбции йода

Ерофеева Елена Александровна

Бутова Вера Валерьевна

Южный федеральный университет

Солдатов Александр Владимирович д.ф.-м.н

bulanovaenaal@gmail.com

Металлоорганические каркасные структуры (МОК) [1] – это новый класс пористых материалов, состоящий из ионов металлов, соединённых органическими молекулами-линкерами в высоко-симметричной кристаллической решетке. Эти материалы обладают уникальными свойствами, такими как высокая удельная площадь поверхности (вплоть до 1000-10000 м²/г [2]) и возможность модифицирования структуры под конкретные задачи [2]. МОК применяют для разделения и хранения газов, катализа, адресной доставки лекарств и т.д.

ZIF (от англ. Zeolitic Imidazolate Framework – цеолитные имидазольные каркасы) являются подклассом МОК с топологией цеолитов и высокой удельной площадью поверхности. ZIF применяют для специфической адсорбции и разделения газов [3]. Функциональные группы на молекулах линкеров оказывают сильное влияние на сорбционные свойства получаемого материала. В частности, ZIF с неполярными функциональными группами могут адсорбировать и удерживать неполярные молекулы, тогда как полярные функциональные группы обеспечивают специфическую сорбцию полярных молекул.

В настоящей работе мы сосредоточились на двух изоструктурных ZIF (*рис.1*) - ZIF-65 и ZIF-8 [4-7]. Единственным отличием между ними является функциональная группа линкера: в ZIF-65 – это полярная нитрогруппа, а в ZIF-8 – неполярная CH₃-группа. Это позволило нам изучить влияние полярности функциональной группы на специфические адсорбционные свойства выбранных ZIF в отношении йода.

Образцы были получены разработанным коллективом авторов микроволновым методом согласно опубликованным данным [5, 7]. Полученные образцы были всесторонне охарактеризованы методами порошковой рентгеновской дифракции, инфракрасной и XANES спектроскопии, термогравиметрического анализа (ТГА), пористость образцов была измерена методом сорбции азота при температуре -196 °С, удельная площадь поверхности рассчитана согласно модели БЭТ. Далее оба исследуемые образца были насыщены газообразным йодом [8]. Количество поглощенного йода в образцах определялось методами ТГА и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

Таким образом, были разработаны микроволновые методики синтеза позволяющие получить наночастицы ZIF-65 и ZIF-8 с высокой удельной площадью поверхности. Синтезированные образцы были протестированы для сорбции йода. Было определено, что ZIF-8 сорбирует йод и удерживает его вплоть до разложения каркаса (400°С), а ZIF-65 при нагревании йод десорбирует.

Исследования проведены в рамках гранта РФФИ № 18-33-00584 и УМНИК (договор 14455ГУ/2019 от 17.07.2019)

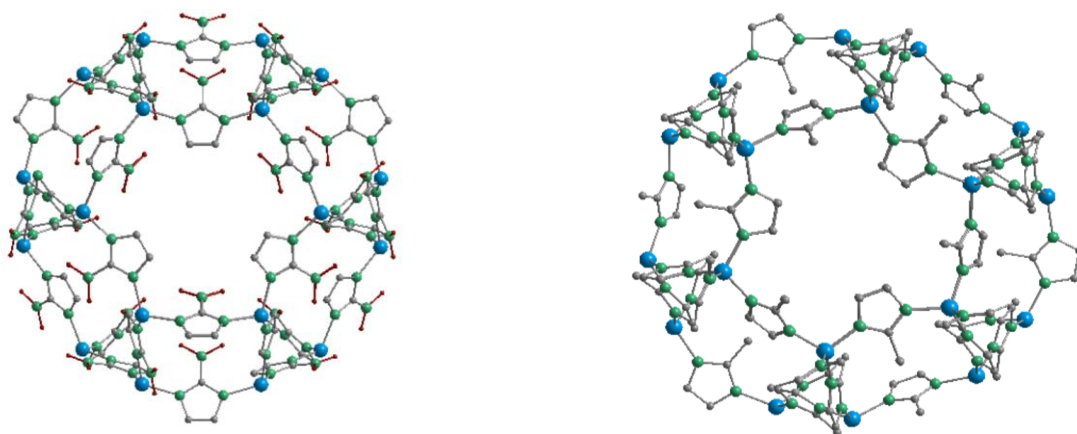


рис.1. Структура ZIF-65 и ZIF-8

Список публикаций:

- [1] Бутова В.В., М.А. Солдатов, А.А. Гуда, К.А. Ломаченко, К. Ламберти, *Металлоорганические каркасные структуры: строение, свойства, методы синтеза и анализа* // *Usp. Khim.* 2016, V. 85. P. 280-307.
- [2] Furukawa H., K. E. Cordova, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi *The Chemistry and Applications of Metal-Organic Frameworks* // *Science* 2013, V. 341. P. 1230444.
- [3] Sava D.F., M.A. Rodriguez, et al. *Capture of Volatile Iodine, a Gaseous Fission Product, by Zeolitic Imidazolate Framework-8* // *J. Am. Chem. Soc.* 2011, V. 133(32) P. 12398-12401.
- [4] Park K.S., Z. Ni, et al. *Exceptional chemical and thermal stability of zeolitic imidazolate frameworks* // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2006, V. 103(27). P. 10186-10191.
- [5] Butova V.V., V.A. Polyakov, E.A. Bulanova, M.A. Soldatov, I.S. Yahia, H.Y. Zahran, A.F. Abd El-Rehim, H.El Garni, A.M. Aboraia, A.V. Soldatov "MW synthesis of ZIF-65 with a hierarchical porous structure" // *Microporous and Mesoporous Materials* 2020, V. 293. P. 109685.
- [6] Tu M., C. Wiktor, et al. *Rapid room temperature syntheses of zeolitic-imidazolate framework (ZIF) nanocrystals* // *Chem. Commun.* 2014, V. 50(87). P. 13258-13260.
- [7] Vera V. Butova, Andrey P. Budnik, Elena A. Bulanova and Alexander V. Soldatov "New microwave-assisted synthesis of ZIF-8" *Mendeleev Commun.* 2016 26 43–44.
- [8] Butova, V. V., Bulanova, E. A., Polyakov, V. A., Guda, A. A., Aboraia, A. M., Shapovalov, V. V., Zahran, H. Y., Yahia, I. S., Soldatov, A. V. *The effect of cobalt content in Zn/Co-ZIF-8 on iodine capping properties* // *Inorg. Chim. Acta*, 2019. V. 492, №. P. 18-22.

Квантово-химические расчеты энергетических характеристик диссоциативного захвата электронов молекулами органических кислот

Кильдибаева Гузалия Хамитьяновна

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Асфандияров Наиль Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

gkildibaeva13@list.ru

Слабые органические кислоты играют важную роль в метаболизме живых организмов, образуя хелатные комплексы с ионами кальция, магния, меди и железа. Методом масс-спектрометрии отрицательных ионов диссоциативного захвата электронов (МСОИ ДЗЭ) были исследованы лимонная (ЛК) и α -кетаровая (α -КК) кислоты, влияющие на энергетический обмен в цикле Кребса [1]. Данные об энергетике и каналах распада ОИ, полученные методом МСОИ ДЗЭ связаны с энергетикой и продуктами метаболизма веществ в живом организме [2]. С целью интерпретации результатов эксперимента, с использованием программного пакета Gaussian, рассчитаны энергии для пяти структур молекул и анионов методами DFT B3LYP/6-31+G(d) и AM1 [3]. На рис. 1 приведено сравнение наиболее стабильных структур исследованных молекул с наиболее стабильными по полной энергии структурами соответствующих анионов.

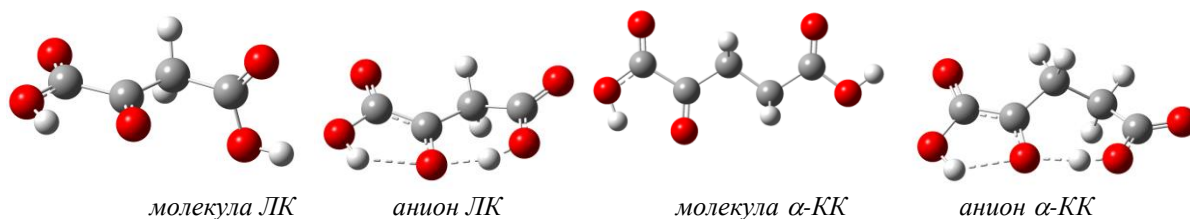


рис. 1. Наиболее выгодные с энергетической точки зрения структуры молекул и анионов лимонной и α -кетаровой кислот

Измерение средних времен жизни молекулярных ОИ методом МСОИ ДЗЭ позволяет в приближении Аррениуса оценить средство к электрону EA_a исследуемой молекулы:

$$EA_a = \frac{\ln(\tau_a/t_0) \cdot (Nk_B T + \varepsilon)}{N - \ln(\tau_a/t_0)},$$

где τ_a – время жизни, $t_0=5 \times 10^{-13}$ с – характерное время колебательной релаксации иона, $N=3n-6$ – число внутренних степеней свободы иона, k_B – постоянная Больцмана, ε – энергия захваченного электрона [4].

Сравнение полученных результатов с оценками величины средства к электрону показывает, что возможно образование циклических структур анионов со связями О-Н-О, обладающих достаточно большим средством к электрону, способным объяснить наблюдаемы в эксперименте величины времени жизни молекулярных отрицательных ионов.

Список публикаций:

- [8] Л. Физер, М. Физер. *Органическая химия*. Т. II. «Химия», М. 1970, 799 С.
 [9] S.A. Pshenichnyuk, A. Modelli, A.S. Komolov, *Interconnection between dissociative electron attachment and electron-driven biological processes*. *Int. Rev. In Physical Chemistry*, 2018, V. 37, No. 1, P. 125-170.
 [10] M. P. Johansson, V. R. I. Kaila, D. Sundholm. *Ab Initio, Density Functional Theory, and Semi-Empirical Calculations. Biomolecular Simulations: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology, Springer Science+Business Media New York* 2013, V. 924, P. 3-27.
 [11] N. L. Asfandiarov, S. A. Pshenichnyuk, A. S. Vorob'ev1, E. P. Nafikova and A. Modelli. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2015. V.29. P. 910–912.

Исследование продуктов синтеза системы «Молибден-углерод» методом рентгеновской дифрактометрии

Кононенко Полина Никаноровна

Пак Александр Яковлевич

Томский политехнический университет

Пак Александр Яковлевич, к.т.н.

pnk6@tpu.ru

В настоящее время карбиды молибдена представляют собой интерес благодаря такому свойству, как высокая каталитическая активность ввиду их схожести строения электронной структуры со структурой благородных металлов [1-3]. Данное свойство позволяет применять карбиды молибдена в качестве недорогих катализаторов в реакциях генерации водорода (HER) [4-5]. Данные материалы можно получить различными методами, например, методом температурно-программируемого карбидирования (ТПК) [1], карботермическим восстановлением [3] или само распространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) [6]. В данной работе используется электродуговой метод, основанный на синтезе материала при помощи электродуговой плазмы постоянного тока в условиях открытой воздушной среды. Полученный материал не окисляется, так как во время эксперимента происходит генерация СО и СО₂, которые экранируют зону формирования продукта синтеза. В настоящей работе представлены результаты экспериментов по получению карбидов молибдена и дальнейший анализ методом рентгеновской дифрактометрии. Особенностью работы является то, что продукты синтеза собирались в различных частях реакционной зоны, а именно, в виде порошка со стенок катода, в виде порошка со дна катода, а также в виде катодного депозита.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном плазменном реакторе, где графитовые электроды подключались к источнику постоянного тока. Анод выполнен в виде сплошного стержня, катод – в виде тигля, на дно которого помещалась смесь из микроразмерного молибдена и графита в соотношении

Mo:C=3:1. Электродуговой разряд поджигался при кратком соприкосновении анода с катодом, время разряда составляло ~11 сек, ток разрядного контура был равен ~170 А, расчетным путем была определена энергия дугового процесса ~45 кДж. Полученный порошок темно-серого цвета собирался с различных частей тигля - катода: со дна полости, со стенок, депозита и анализировался на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000s, для проведения анализа использовалась база данных PDF4+.

Качественный рентгенофазовый анализ показал наличие следующих кристаллических фаз в полученном продукте: исходных реагентов Mo и C, а также следующие структуры карбида молибдена: Mo_{1,2}C_{0,8} и Mo₂C. На рисунке 1 представлена гистограмма фазового состава продукта синтеза в зависимости от места его сбора в катоде. Из гистограммы следует, что наибольший выход карбидов молибдена Mo₂C и Mo_{1,2}C_{0,8} соответствует продукту, собранному со стенок катода.

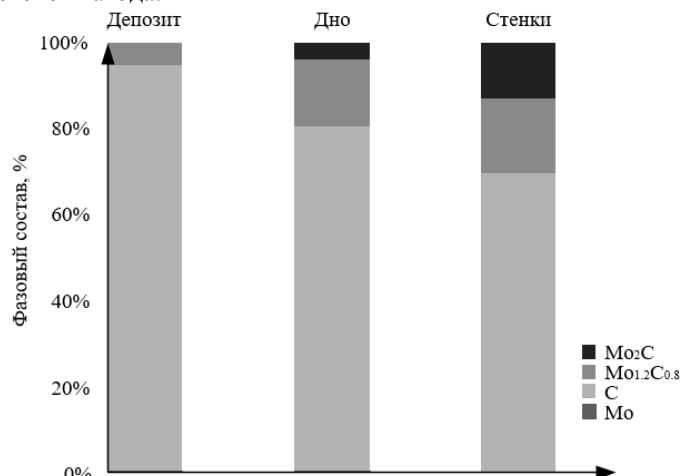


рис. 1 Гистограмма фазового состава продукта синтеза в зависимости от места его сбора в катоде

Таким образом, была экспериментально доказана возможность получения карбидов молибдена безвакуумным электродуговым методом, а также показано влияние места сбора продукта на его фазовый состав.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-633.2019.8).

Список публикаций:

- [1] Баженова М.Д., Гаврилова Н.Н. и др. // *Химическая промышленность сегодня*. 2014. № 1. С.4.
- [2] Mehdad A., Jentoft E.R., et al. // *Catalysis Today*. 2019. V. 323. P. 112.
- [3] Macedo L.S., Haasterecht T., et al. // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2019. V. 241. P. 81.
- [4] Wei H., Chen X. et al. // *Adv. Sci.* 2018. V. 5(1700733). P. 1.
- [5] Guo J., Wang J., et al. // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2017. V. 801. P. 7.
- [6] Зурначян А.Р., Манукян Х.В. и др. // *Химический журнал Армении*. 2011. № 64(13). С. 326.

Изучение фотоиницируемых процессов в диадах с Кетопрофеном методом ХПЯ

Кузнецова Полина Сергеевна

Институт химической кинетики и горения СО РАН

Лешина Татьяна Викторовна, д.х.н.

pol0596@yandex.ru

Интерес к реакционной способности хиральных соединений связан с их значительной ролью в биологии, химии и медицине. На сегодняшний день более половины лекарств на рынке содержат хиральные соединения в качестве активного вещества, при этом, в большинстве случаев используется рацемат, а не отдельные энантиомеры. Между тем известно, что терапевтические свойства энантиомеров многих лекарств существенно отличаются. Однако физические взаимодействия, лежащие в основе столь значительных различий в активности (S)- и (R)- энантиомеров, до сих пор не установлены. Вероятной причиной существования таких различий является то, что энантиомеры лекарств в живых системах взаимодействуют с другими хиральными соединениями – аминокислотами, которые располагаются в активных сайтах ферментов и рецепторов. Связывание лекарств с биомолекулами является определяющим фактором не только для действия лекарственного средства (как терапевтического, так и токсического), но также для транспорта и выведения лекарственного средства, которые регулируются различными транспортными белками. Детальное понимание

процессов связывания лекарственного средства с белком, как со структурной так и с динамической точки зрения, составляет сегодня активную область исследований.

Примером лекарств с разными терапевтическими свойствами энантиомеров являются нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП) и, в частности, объект нашего исследования – Кетопрофен (КР). Некоторый прогресс в понимании природы различий в активности энантиомеров лекарств был достигнут благодаря исследованиям на модельных системах (диадах), где НПВП ковалентно связан с другой хиральной молекулой. Такие системы (диастереомеры) используются для моделирования процессов связывания лекарства с активными сайтами ферментов и рецепторов. Поскольку с химической точки зрения энантиомеры полностью идентичны; они отличаются только направлением вращения плоскости поляризованного света, различия в их реакционной способности изучаются в процессах, происходящих в хиральных средах, или в связанных системах с несколькими хиральными центрами. В результате исследования таких систем были обнаружены две важнейшие особенности: стереоселективность (различие в скоростях переноса заряда для двух диастереомеров) и спиновая селективность (различие в распределении спиновой и, следовательно, электронной плотности в парамагнитных формах диастереомеров).

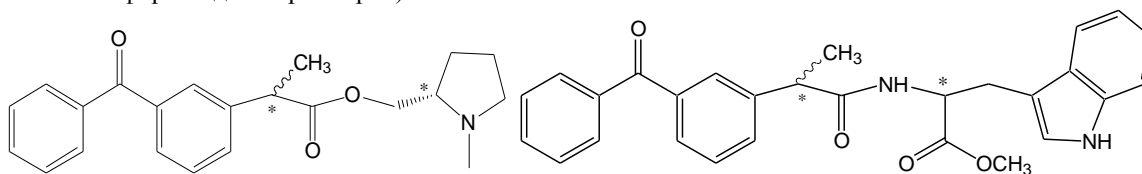


рис. 1. Структуры диад КР-Пур и КР-Трп соответственно

В настоящей работе изучаются особенности реакционной способности диад, содержащих (S)/(R)-КР ковалентно связанный с (S)-N-метилпирролидином (КР-Пур) или (S)-триптофаном (КР-Трп). Исследование проводилось методом химически индуцированной динамической поляризации ядер (ХПЯ), позволяющим детектировать короткоживущие парамагнитные интермедиаты, которые образуются при УФ облучении исследуемых диад.

Было установлено, что в диаде КР-Пур происходит два параллельных процесса: перенос электрона и протона или же атома водорода из триплетного возбужденного состояния исходной диады, и оба процесса частично обратимы. Во всех случаях продуктами являлись макроциклы, которые образуются посредством присоединения остатка донора к карбонильному углероду Кетопрофена. Исследование процессов фотоциклизации методами ХПЯ показали, что циклизация проходит в бирадикал-цвиттерине, получившемся после внутримолекулярного переноса электрона и протона, а также в бирадикале, образовавшемся после переноса атома водорода от донора к карбонильному углероду Кетопрофена. Анализ ЯМР спектров макроциклов показал стереоселективность процесса циклизации: химический выход макроциклов из (S,S)- диастереомера больше чем из (R,S)- аналога. Эта реакция также демонстрирует спиновую селективность: различие на 30% коэффициентов ХПЯ макроциклов, образовавшихся из (S,S)- и (R,S)- диастереомеров.

При облучении УФ светом диады КР-Трп эффекты ХПЯ наблюдаются только на протонах исходной диады, и отсутствие каких-либо продуктов приводит к выводу, что основным процессом является внутримолекулярный обратимый перенос электрона. Обнаружено также проявление спиновой селективности обратного переноса электрона: существенное различие (больше 3 раз) в наблюдаемых коэффициентах ХПЯ алифатических и ароматических протонов (S,S)- и (R,S)- диастереомеров диады. Подробнее описано в [1].

Список публикаций:

[1] N. Polyakov, A. Ageeva, A. Kiryutin, V. Timoshnikov, I. Magin, S. Babenko, P. Kuznetsova, A. Kruppa, P. Purtov, A. Stepanov, M. Ivanov, M. Fedin, L. Kuibida, and T. Leshina., *J. Chem. Phys.* 151, 245101 (2019).

Синтез тонких плёнок методом атомно-слоевого осаждения для приборов микро- и нанoeлектроники

Лебедев Михаил Сергеевич

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

lebedev@niic.nsc.ru

Метод атомно-слоевого осаждения (АСО, англ. - atomic layer deposition, ALD), имеющий в наше время огромное прикладное значение, был предложен в 60-х годах XX в. группой ленинградских ученых (проф. В.Б. Алесковский и проф. С.И. Кольцов) под названием «молекулярное наслаивание» [1]. В докладе обсуждаются важнейшие характеристики АСО-процессов: реакционный цикл, полуреакция, прирост толщины за 1 реакционный цикл (РЗЦ), окно «АСО», нежелательные CVD-компоненты, нуклеационная задержка.

представлены физико-химические аспекты и основные практические достижения, связанные с использованием метода АСО в области создания гомогенных и многослойных тонкопленочных покрытий функционального назначения для микро- и нанoeлектроники.

Свою «остовную» гипотезу проф. В.Б. Алесковский сформулировал при работе над катализаторами, на основе которой и был его школой развит метод молекулярного наплавления, как путь контролируемого синтеза твердых веществ постоянного состава. Свойство самоограничения, которым обладают некоторые химические реакции между поверхностными функциональными группами и подводимыми газообразными реагентами, позволяет многократно проводить такие реакции и контролировать процесс осаждения на молекулярном уровне. С учетом того, что в результате одного реакционного цикла образуется лишь субмонослой твердой фазы, возникает целый набор возможностей управления химическим составом многокомпонентных слоев высокой степени гомогенности и прецизионно задавать толщину слоев. Метод продолжил свое развитие в Ленинграде, но позднее этот метод был запатентован группой финских ученых под названием «атомно-слоевая эпитаксия» и наиболее активно стал развиваться во всем мире, начиная с середины 90-х годов XX века для ряда технологических задач, в первую очередь, микроэлектроники, а также оптики и катализа. Для таких задач как получение конформных покрытий (в т.ч. многокомпонентных), с высокой степенью контроля толщины вплоть до долей монослоя, на поверхностях большой площади и с развитым рельефом, метод АСО стал уникальным инструментом ввиду практически полного отсутствия альтернатив.

Фактически первым основным вызовом методу АСО в микроэлектронике стала задача внедрения свертонких слоев оксида гафния HfO_2 в качестве замены оксида кремния, традиционного для микроэлектроники подзатворного диэлектрика. Увеличение ϵ подзатворного диэлектрика ведёт к увеличению ёмкости МДП-структуры при сохранении размеров, что, например, увеличивает ток насыщения полевого транзистора. Использование HfO_2 позволило продолжить масштабирование устройств микроэлектроники, таких как микропроцессоры.

В дальнейшем стали рассматриваться новые возможности по улучшению свойств HfO_2 . Такие, как стабилизация аморфной (отсутствие межзеренных границ, способных увеличивать токи утечки). Например, SiO_2 или Al_2O_3 явились перспективными аморфизующими примесями, позволяющими избежать нежелательной кристаллизации HfO_2 . Добавка TiO_2 ($k_{\text{TiO}_2}=40-80$) повышает диэлектрическую проницаемость [1]. Легирование HfO_2 другими оксидами позволило в широком диапазоне варьировать функциональные свойства в зависимости от конкретных применений. Сообщалось об улучшении характеристик переключения из низкоомного в высокоомное состояние и обратно для систем $\text{Hf}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_2$ и $\text{Hf}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_2$ (ReRAM). Большой интерес наблюдается к метастабильной кубической модификации HfO_2 , обладающей более высоким значением диэлектрической проницаемости по сравнению с термодинамически стабильной при актуальных для технологических процессов температурой и, поэтому доминирующей, фазой моноклинного HfO_2 . Было неоднократно показано, что легирование HfO_2 оксидами редкоземельных металлов позволяет стабилизировать кубическую фазу при сравнительно низких температурах. А после обнаружения сегнетоэлектрического эффекта в оксиде гафния, который связывают с возможностью стабилизации центрально-несимметричной орторомбической фазы $\text{Pbc}2_1$, была показана перспективность широкого круга легирующих оксидов следующих элементов: Zr, Si, Al, Y, La, Gd, Sr для создания устройств сегнетоэлектрической (FeRAM) – памяти.

Широкий круг возникших задач требует развития методик АСО новых материалов и получения данных о структурно-морфологических характеристиках и свойствах в зависимости от условий получения. В данном сообщении с некоторыми примерами из собственной практики автором представлены методики АСО пленок и результаты исследования тонких пленок простых оксидов титана TiO_2 , гафния HfO_2 , скандия Sc_2O_3 и самария Sm_2O_3 , а также полного набора двухкомпонентных оксидов на их основе и некоторых многослойных структур.

Работа выполняется при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-53-52009

Список публикаций:

[1] С.И. Кольцов Журн. прикл. химии. Т. 42. (1969) С. 1023-1028.

Параметризация модели Аррениуса для оценки сродства к электрону молекул из данных о временах жизни отрицательных ионов

Маркова Ангелина Вячеславовна

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Асфандиаров Наиль Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

login.markova@yandex.ru

Методом масс-спектрометрии отрицательных ионов были исследованы молекулы NTCDА (C₁₄H₄O₆) и Indacenopicene (C₂₆H₁₂), являющиеся основой для синтеза элементов органической электроники. Измерено среднее время жизни (τ_a) отрицательных молекулярных ионов из экспериментальных данных:

$$\tau_a = -5,95 * \sqrt{\frac{M_n}{M_{SF6}}} * \ln\left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

Энергия сродства к электрону нейтральной молекулы была оценена в приближении Аррениуса:

$$EA_a = \frac{-N + \ln\left(\frac{\tau_a}{t_0}\right) NkT + \ln\left(\frac{\tau_a}{t_0}\right) \varepsilon}{N - \ln\left(\frac{\tau_a}{t_0}\right)} \quad (2)$$

Результаты расчётов зависимости (τ_a) от энергии захваченного электрона (ε) воспроизводят экспериментальные зависимости, как показано на рис. 1 и 2.

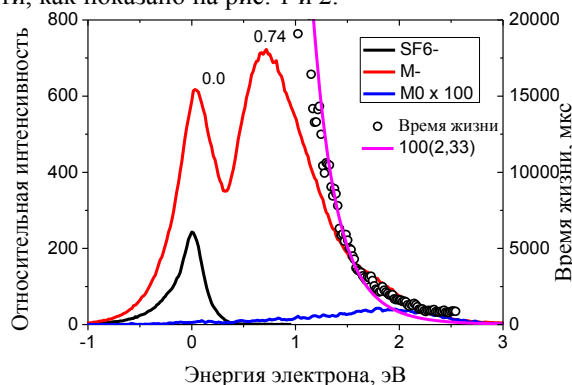


рис.1 Кривые эффективного выхода отрицательных ионов для NTCDА.

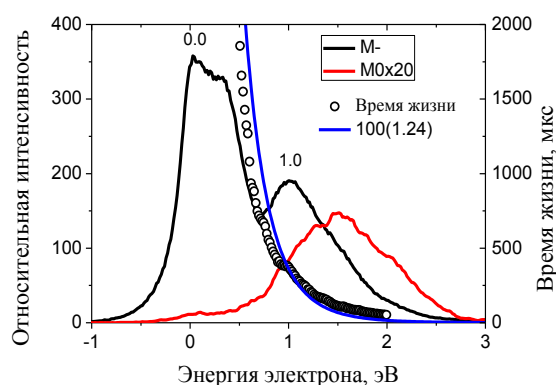


рис.2 Кривые эффективного выхода отрицательных ионов для Indacenopicene.

Зависимости $\tau_a(\varepsilon)$ (рис. 1 и 2) демонстрируют, что оценка времен жизни в рамках статистической модели Аррениуса для данных соединений дает значения сродства к электрону EA_a близкие к расчетным значениям, полученным методом DFT B3LYP/6-31+G(d).

Работа поддержана Российским научным фондом (грант № 19-13-00021).

Оценка эффективности разделения зарядов в фотовозбужденных диадах

Минакова Екатерина Николаевна

Волгоградский государственный университет

Михайлова Валентина Александровна, д.ф.-м.н.

minakova.kate@yandex.ru

В рамках многоканальной стохастической модели [1] проводится исследование кинетики процессов разделения и рекомбинации зарядов в донорно-акцепторных диадах в полярных средах. Целью исследования является определение основных физических параметров модели, когда с наибольшей эффективностью формируется состояние с разделенными зарядами, а процесс рекомбинации зарядов проходит с максимально низкой скоростью. Актуальность данного исследования обусловлено тем, что разделение зарядов в качестве элементарного акта присутствует во многих фотохимических и фотофизических процессах, встречающихся в живой природе (дыхание, фотосинтез). Однако этот процесс сопровождается нежелательной рекомбинацией зарядов, что понижает эффективность процессов. Изучение связанных процессов разделения и рекомбинации зарядов является востребованным. Для описания данных процессов в диаде после их фотовозбуждения используется трехуровневое приближение [2], то есть рассматриваются три состояния диады: с разделенными зарядами (CSS), возбужденное состояние (S_2) и состояние, в которое происходит рекомбинация зарядов (S_1). Предполагается, что фотовозбуждение может происходить как в первое, так и во второе электронное состояние. В первом случае рекомбинация идет в основное состояние, во втором случае – в первое возбужденное состояние диады. Модель учитывает реорганизацию растворителя и возбуждение нескольких внутримолекулярных колебательных мод донорно-акцепторной диады. Все колебательные моды диады рассматриваются как высокочастотные и учитывается их релаксация. На рис. 1 представлены профили свободной энергии Гиббса для рассматриваемых электронных состояний S_1 , S_2 , CSS вдоль координаты реакции Q в случае возбуждения одного внутримолекулярного колебания (пунктирные линии). Области электронных переходов на стадии разделения и рекомбинации зарядов отмечены символом (\circ). Вертикальными стрелками показаны переходы между колебательными уровнями (колебательная релаксация).

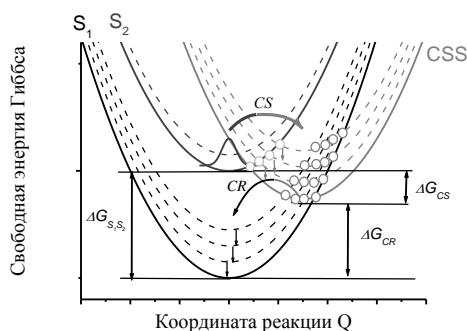


рис. 1. Профили свободной энергии Гиббса для состояний S_1 , S_2 , CSS вдоль координаты реакции Q . $\Delta G_{S_1S_2}$ – энергетическая щель между состояниями S_1 и S_2 , ΔG_{CR} и ΔG_{CS} – параметры экзергоничности для стадий рекомбинации и разделения зарядов.

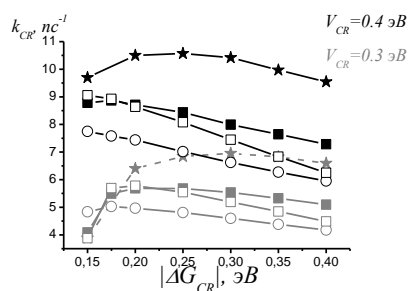
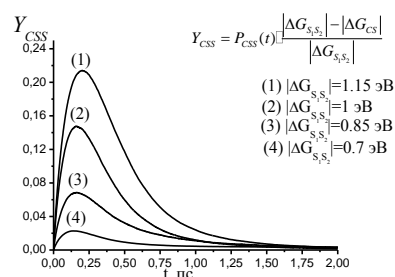


рис. 2. Зависимость константы скорости разделения зарядов k_{CR} от $|\Delta G_{CR}|$ в толуоле (\star) и тетрагидрофуране ($\blacksquare, \circ, \square$). Расчетные параметры: матричный элемент перехода на стадии рекомбинации зарядов $V_{CR} = 0.4$ эВ (черные), 0.3 эВ (серые), $\tau_1 = 0.228$ пс (\blacksquare), 0.5 пс (\circ), $\Delta G_{S_1S_2} = 0.85$ эВ (\blacksquare), 1 эВ (\square).



$$Y_{CSS} = P_{CSS}(t) \frac{|\Delta G_{S_1S_2}| - |\Delta G_{CS}|}{|\Delta G_{S_1S_2}|}$$

- (1) $|\Delta G_{S_1S_2}| = 1.15$ эВ
- (2) $|\Delta G_{S_1S_2}| = 1$ эВ
- (3) $|\Delta G_{S_1S_2}| = 0.85$ эВ
- (4) $|\Delta G_{S_1S_2}| = 0.7$ эВ

рис. 3. Временная зависимость энергетической эффективности разделения зарядов Y_{CSS} . P_{CSS} – населенность состояния с разделенными зарядами.

Расчетные параметры: $\tau_1 = 0.228$ пс, $\tau_2 = 1.52$ пс, матричный элемент перехода на стадии разделения зарядов $V_{CR} = 0.03$ эВ, на стадии рекомбинации зарядов $V_{CR} = 0.03$ эВ, $\Delta G_{CS} = 0.65$ эВ, $|\Delta G_{S_1S_2}| = 0.7$ эВ, 0.85 эВ, 1 эВ, 1.15 эВ.

При численном анализе кинетики разделения и рекомбинации зарядов в диадах энергия реорганизации высокочастотных внутримолекулярных мод не варьировалась, а выбиралась фиксированной. Число активных высокочастотных внутримолекулярных мод полагалось равным 5 и их частоты и энергии реорганизации [3] считались одинаковыми на стадиях разделения и рекомбинации зарядов. Динамические свойства растворителя характеризуются автокорреляционной функцией вида: $X(t) = \sum x_i e^{-t/\tau_i}$ где τ_i и x_i – время и вес i -ой релаксационной моды, t – время. В расчетах использовались параметры тетрагидрофурана (быстрый растворитель) и толуола (медленный растворитель) [4].

Результаты численного моделирования кинетики в диадах после их фотовозбуждения позволяют сформулировать следующие тренды: (1) кинетика населенности состояния с разделенными зарядами диады не является экспоненциальной в рамках исследованных параметров модели [5]; (2) в узкой области малых значений $|ΔG_{CR}|$ (от 0,15 до 0,2 эВ) возможен набор параметров, когда эффективная константа скорости рекомбинации зарядов k_{CR} падает (рис. 2). Эта тенденция исчезает при увеличении матричного элемента перехода V_{CR} и уменьшении времени τ_I , соответствующей инерционной компоненте функции релаксации растворителя, и энергетической щели $|ΔG_{SIS2}| = |ΔG_{CR}| + |ΔG_{CS}|$; (3) формирование состояния с разделенными зарядами происходит наиболее энергетически эффективно при увеличении энергетической щели $|ΔG_{SIS2}|$ (рис.3) и матричного элемента перехода на стадии разделения зарядов V_{CS} .

Список публикаций:

- [1] S.V. Feskov, V. A. Mikhailova, A. I. Ivanov // *J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews*. – 2016. – V. 29. – P. 48-72.
 [2] V.A. Mikhailova, R. Malykhin, A.I. Ivanov // *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2018, V. 17, P. 607-616.
 [3] A. Myers Kelly // *J. Phys. Chem. A.*, 1999, V. 103, P. 6891-6903.
 [4] Maroncelli M., Kumar V. P., Papazyan A. A // *J. Phys. Chem*, 1993, V. 97, P. 13–17.
 [5] Михайлова В.А., Фунин С.В., Минакова Е.Н. // *Студенческий вестник: научный журнал*. – № 24(74). – М., Изд. «Интернаука», 2019.

Инфракрасная спектральная динамика в фотовозбужденных квадрупольных молекулах с нарушенной симметрией: восстановление колебательных параметров

Назаров Алексей Евгеньевич

Волгоградский государственный университет

Иванов Анатолий Иванович, д.ф.-м.н.

nazarov.alexey@volsu.ru

Физико-химические процессы, протекающие в квадрупольных молекулах вида А-π-D-π-A (и в аналогичных триадах D-π-A-π-D), где А и D являются электронным акцептором и донором, соответственно, представляют большой интерес в связи с их применением во множестве технологий, включая флуоресцентную визуализацию биохимических процессов, фототерапию, а также фотополимеризацию. Для целенаправленного создания молекул с требуемыми характеристиками необходима разработка соответствующей теории и методов моделирования. Главной целью работы является разработка метода восстановления параметров молекулы DAD на основе данных ИК спектров однофотонного поглощения в пикосекундной области.

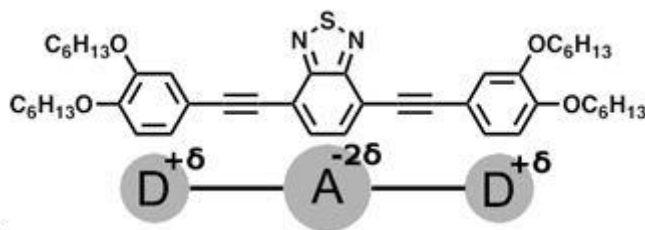


рис.1. Химическая структура исследуемой молекулы DAD.

Молекулярные параметры системы реконструируются с помощью минимизации квадратичного отклонения моделируемого спектра от экспериментального сигнала. Используются экспериментальные разрешенные ИК спектры, содержащие информацию о спектральной динамике молекулы DAD в двух растворителях: тетрагидрофуран со средней полярностью и деметилформамид – с большой. В исследуемой молекуле акцепторным центром является бензотиадиазол, соединенный через $-C\equiv C-$ группы с двумя алкоксифениловыми донорами [1]. Математическая модель построена в приближении двух электронных состояний молекулы. Она учитывает электрон колебательное взаимодействие, и количественно описывает нарушение симметрии плотности распределения зарядов в терминах параметра асимметрии [2].

Моделируемые нестационарные ИК спектры поглощения DAD определяются параметрами, характеризующие, как саму молекулу, так и растворитель [2]. Восстанавливаемыми параметрами молекулы являются частоты симметричной и антисимметричной нормальных мод характеристических колебаний $\text{—C}\equiv\text{C—}$ групп, колебательное взаимодействие между ними и коэффициенты частотных сдвигов этих мод при нарушении симметрии. Мерой нарушения симметрии является параметр асимметрии, равный разности зарядов на «левом» и «правом» донорах, эволюция которого коррелирует с релаксацией растворителя. Параметр асимметрии также включен в оптимизационную задачу.

В состоянии без нарушенной симметрии симметричная ИК мода не дает вклад в общий сигнал и прямо измерить ее частоту нельзя, но разработанный подход позволяет это выполнить. Было установлено, что исследуемая DAD имеет следующие значения частот симметричного и антисимметричного колебаний 2147.2 и 2073.6 см^{-1} , соответственно. Эти значения получены для молекулы, находящейся в возбужденном антисимметричном состоянии. С ростом параметра асимметрии растет взаимодействие симметричного и антисимметричного колебаний, колебания перестают быть нормальными, что приводит к появлению второй полосы в ИК спектре и росту ее интенсивности. Также установлено, что для данной молекулы рост нарушения симметрии уменьшает расщепление собственных частот симметричного и антисимметричного колебаний. Эта зависимость обусловлена разными знаками коэффициентов частотных сдвигов симметричного и антисимметричного колебаний.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90029.

Список публикаций:

[1] Söderberg M., Dereka B., Marrocchi A., Carlotti B., Vauthey E. // *Ground-state Structural Disorder and Excited-state Symmetry Breaking in a Quadrupolar Molecule*. *J. Phys. Chem. Lett.* 2019, V. 10, P. 2944-2948, DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.9b01024>

[2] Nazarov A. E., Ivanov A. I., Vauthey E. // *Modeling Infrared Spectral Dynamics upon Symmetry Breaking of a Photo-Excited Quadrupolar Dye*. *J. Phys. Chem. C* 2020, V. 124, P. 2357-2369, DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b10565>

Диссоциативный захват электронов молекулами 4,7-и 6,7-дигидроксикумарина

Таюпов Мансаф Масхутович

Рахмеев Рустам Габдулшагитович

Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

Пшеничнюк Станислав Анатольевич, д.ф.-м.н.

tayupovmansaf@yandex.ru

Методом масс-спектрометрии отрицательных ионов (ОИ) исследованы молекулы 4,7 и 6,7-дигидроксикумарина. Из данных о временах жизни молекулярных ОИ 4,7-дигидроксикумарина оценена величина его адиабатического сродства к электрону. Анализ каналов распада молекулярных ОИ на стабильные фрагменты, с использованием результатов квантово-химических расчетов в приближении теории функционала плотности, позволил определить наиболее вероятные структуры осколочных ионов. Резонансный захват электронов молекулами, приводящий к образованию отрицательных молекулярных ионов и их последующему распаду с образованием ряда заряженных и нейтральных фрагментов, исследовался методом спектроскопии диссоциативного захвата электронов [1]. Исследованные образцы были приобретены в компании Сигма-Алдрич, продукты 740136 и 246573, соответственно. Вещества испарялись в ячейку столкновений при температуре 160-190°C. Интерпретация положений резонансных пиков проводилась с помощью расчётов методом теории функционала плотности с помощью пакета Gaussian 09 [2]. Энергии вакантных молекулярных орбиталей нейтральной молекулы определялись методом B3LYP/6-31G(d) и линейно масштабировались [3], для определения энергий вертикального захвата электрона [4]. Такой метод позволяет адекватно предсказывать положения резонансов формы [1, 4] в газовой фазе, а также максимумы плотности незаполненных электронных состояний при адсорбции на поверхностях [5-7]. Для оценок сродства молекул к электрону по разности полных энергий молекулы и аниона, а также оценки термодинамических порогов образования фрагментов при диссоциативном захвате электрона, использовался базисный набор 6-31+G(d) с минимальным добавлением диффузных функций.

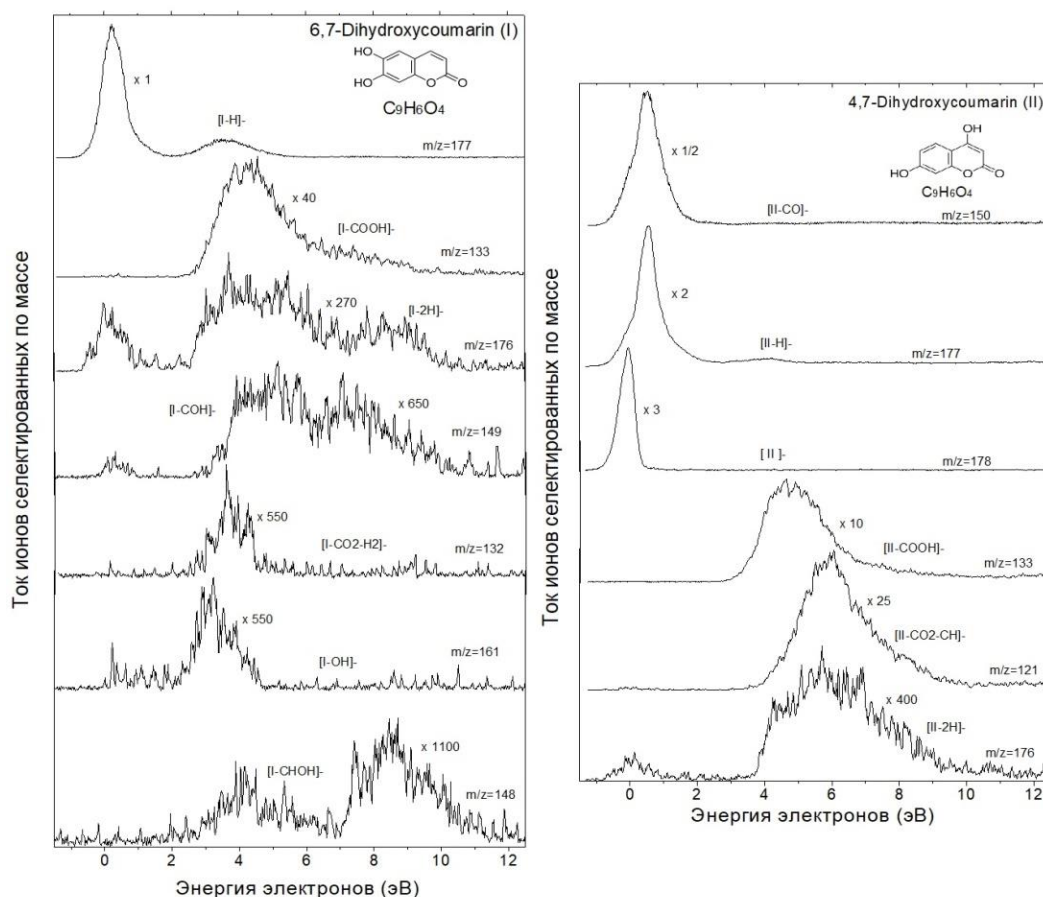


рис.1. Зависимость токов молекулярного аниона и его фрагментов от энергии электронов

Как показал эксперимент, несмотря сходное строение обеих молекул, практически равное сродство к электрону и аналогичные пути распада на фрагменты, только в случае 4,7-дигидроксикумарина наблюдалось образование молекулярных ОИ. Предположено, что это связано с миграцией атомов водорода с последующим разрывом цикла и образованием стабильной структуры.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-13-00021.

Список публикаций:

- [1] E. Illenberger, J. Momigny, *Gaseous Molecular Ions. An Introduction to Elementary Processes Induced by Ionization*, Steinkopff Verlag Darmstadt, Springer-Verlag, New York, (1992).
- [2] M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel, G.E. Scuseria, M.A. Robb, J.R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, B. Mennucci, G.A. Petersson, et al., *Gaussian 09, Revision A.02*, Gaussian, Inc., Wallingford CT, (2009).
- [3] A.M. Scheer, P.D. Burrow, π^* Orbital System of Alternating Phenyl and Ethynyl Groups: Measurements and Calculations, *J. Phys. Chem. B.*, №.110, P.17751-17756 (2006).
- [4] В.И. Хвостенко, *Масс-спектрометрия отрицательных ионов в органической химии*, Москва, Наука, (1981).
- [5] S.A. Pshenichnyuk, A.S. Komolov, Relation between electron scattering resonances of isolated NTCDA molecules and maxima in the density of unoccupied states of condensed NTCDA layers. *J. Phys. Chem. A.*, №.116, P.761-766 (2011).
- [6] S.A. Pshenichnyuk, A.V. Kukhto, I.N. Kukhto, A.S. Komolov, Spectroscopic states of PTCDA negative ions and their relation to the maxima of unoccupied state density in the conduction band. *Tech. Phys.*, №.56, P.754-759 (2011).
- [7] A.S. Komolov, E.F. Lazneva, S.A. Pshenichnyuk, N.S. Chepilko, A.A. Tomilov, N.B. Gerasimova, A.A. Lezov, P.S. Repin, Electronic properties of the interface between hexadecafluoro copper phthalocyanine and unsubstituted copper phthalocyanine films, *Semiconductors*, №.47 (7), P.956-961 (2013).

10 - Астрофизика, физика космоса, современные и перспективные космические исследования и технологии

Горяева Виктория Николаевна, 4 курс

Элиста, Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова, математики, физики и информационных технологий

О волнах в фотосфере Солнца

e-mail: poltinnikd@mail.ru стр. 238

Меджитов Руслан Айдерович, 4 курс

Севастополь, Севастопольский государственный университет, физики

Определение параметров вращения черных дыр с помощью оптических телескопов

Назаров Сергей Валентинович,

e-mail: shift9009@gmail.com стр. 239

Назаров Сергей Валентинович, н.с.

Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Восстановление телескопа Синтеза в Крымской астрофизической обсерватории

e-mail: astrotourist@gmail.com стр. 240

Назаров Сергей Валентинович, н.с.

Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Методы исследования сверхмассивных черных дыр

e-mail: astrotourist@gmail.com стр. 241

Назаров Сергей Валентинович, н.с.

Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Многоволновые исследования блазаров на примере СТА 102

e-mail: astrotourist@gmail.com стр. 241

Романенко Виктор Сергеевич, Стажер-исследователь

Нейтрино, Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН, лаб. подземного скантillationционного телескопа

Установка Ковер-3 для исследования ШАЛ сверхвысоких энергий

Петков Валерий Борисович, д.ф.-м.н.

e-mail: vsrom94@gmail.com стр. 242

Смирнова Ксения Ильдаровна, инженер-исследователь

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики

Исследование параметров межзвездной среды в галактиках с недавним звездообразованием

e-mail: Arashu@rambler.ru стр. 243

Унатлоков Ислам Бесланович, м.н.с.

Нейтрино, Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН, лаб. подземного скантillationционного телескопа

Поиск на БПСТ мюонных нейтрино от гравитационно-волновых событий

Петков Валерий Борисович, д.ф.-м.н.

e-mail: unatlokov@mail.ru стр. 244

О волнах в фотосфере Солнца
Горяева Виктория Николаевна
Калмыцкий государственный университет
poltinnikd@mail.ru

Целый ряд явлений, наблюдаемых на Солнце, имеет волновую природу и является следствием процессов, происходящих на большой глубине, и особого состояния вещества в подфотосферных слоях. В настоящей статье дано новое объяснение грануляционным «цепям» и «дорожкам», а также причина сравнительно малых размеров гранул ($\lambda \sim 150$ км) в фотосфере на границе с полутенью пятна [1]. Сделана также попытка в свете имеющейся между слоями солнца связи объяснить явление концентрации сильно магнитных полей в чрезвычайно малых областях ($0'',2 \times 0'',2$) на Солнце.

Наблюдаемые на Солнце магнитные поля в масштабах длин $\lambda \sim 10^3 - 10^4$ км имеют весьма сложную структуру, представляющую собой переплетение кантов и жгутов с полями $H \sim 10^{20} - 10^{30}$ Гс. Глобальная МГД - генерация полей таких относительно небольших линейных масштабов с сильно переплетенными силовыми линиями вряд ли возможна. В то же время ферромагнитная концепция может вполне удовлетворительно объяснить их возникновение, поддержание и динамику.

Наиболее вероятный источник локальных полей находится в подфотосферном слое на глубине порядка нескольких тысяч километров, т.е. на глубинах, где еще не сказывается диллюция магнитных силовых линий. Температура и концентрация электронов в этом слое порядка $T_e = 4 \cdot 10^{-12}$ эрг, $n_e = 3 \cdot 10^{19}$ см⁻³, соответственно средняя тепловая скорость при этом $v_e \sim 10^8$ см/с, а среднее расстояние между частицами $r \sim 0,5 \cdot 10^{-6}$ см.

Магнитный момент электрона, обусловленный его орбитальным движением, - порядка $\mu_{op} \sim \frac{e}{c} r v_e \sim 10^{-18}$ CGS генерируемое при этом поле имеет напряженность $H \sim 4\pi n_e \mu_{op} \sim 300$ Гс, что достаточно для объяснения полей в магнитных волокнах.

Межчастичные силы, приводящие к образованию доменных областей, как и в случае обычных ферромагнитных материалов, имеют обменную природу. Обменные квантовые силы в плазме в непрерывном спектре рассмотрены в работах [2]. Эти силы могут сказываться на расстояниях порядка $1,0 - (10\lambda)$, где $\lambda = \frac{\hbar}{m_e v_e} \cong 10^{-7}$ см - длина волны де Бройля электрона, т.е. на расстояниях, сравнимых с

расстоянием между частицами в подфотосферном слое. Выигрыш в энергии взаимодействия частиц, обусловленный обменными силами, - порядка нескольких единиц $e^2 n^{1/3}$, т.е. сравним с тепловой энергией, поэтому тепловое движение при не слишком высоких температурах $T_e \leq 3 \cdot 10^4$ К не разрушает доменных областей. Турбулентные движения плазмы могут «гасить» возникающие описанным выше образом магнитные поля. Действительно, энергия сцепления частиц в единице объема $\sim \frac{1}{2} n_e \mu_{op} H \sim \frac{H^2}{2\pi}$, тогда как энергия турбулентных пульсаций ρv^2 , где v - скорость газа в пульсациях. Поэтому в волокнах должно быть $v < \frac{H}{\sqrt{4\pi\rho}} \sim v_n \sim 10^4 - 10^5$ см/с, в противном случае волокна разрушаются за время $\tau_0 < \frac{\lambda}{v} \sim 10^3 - 10^4$ с. Если же $v_n \gg v$, то волокна разрушаются за время $\tau \gg \tau_0$ вследствие стохастического действия пульсации [2]. Именно согласно пуассоновскому распределению отдельные толчки набирают необходимую для воздействия на волокно скорость за время

$$\tau = \tau_0 \left(\frac{v}{3v_n} \right)^{v/v_n} \quad (1)$$

Слабая турбулентность практически не разрушает магнитные трубки, лишь деформирует их. Магнитные элементы имеют относительно малые размеры - $\lambda \leq 150,0$ км [1]. Этот факт создает особые трудности для теории МГД - генерации, но не для рассмотренной здесь ферромагнитной теории. Наблюдения показывают, что цепи магнитных элементов образуют «дорожки», вытянутые в активных областях. Этот факт подтверждает подобие снимков фотосферы структуре поверхности магнитной жидкости, помещенной в магнитное поле [3]. Магнитную жидкость можно представить как суспензию ферромагнитных элементов ($\mu \gg 1$) магнитных трубок на диамагнитной основе ($\mu = 1$, где μ - магнитная проницаемость вещества). Выстраивание в цепи, в которых среднее число «частиц» v в разреженном «газе» [4] ферромагнитных элементов происходит по закону

$$v = \frac{1}{1 - 2n|B_\infty|}, \quad (2)$$

где n – число «частиц» в единице объема, B – второй вириальный коэффициент, равный нулю, если намагниченность M стремится к нулю. B_∞ стремится к 1 при максимальных полях (индекс ∞ означает максимальное поле H). Таким образом, в соответствии с магнитным полем H меняется и длина $L(L \sim v)$. Коснемся вопроса существования квазиспиновых волн в фотосфере и в связи с этим возможности появления мелкомасштабных волн вблизи активной области. Как известно [4], спиновые волны возможны не только в ферромагнитных телах, но и в аморфных веществах [5] и в магнитных жидкостях (μ здесь колеблется от 1 до 3). Квазиспиновые волны, возбужденные в подфотосферных слоях, скажем под пятнами, вследствие взаимодействия турбулентных вихрей с упорядоченной структурой спинов далее выносятся наружу; пятна служат волноводами.

Дисперсионное соотношение для случая волноводного распространения одновременно «гравитационных» и квазиспиновых волн можно привести к следующему виду [3, 4]:

$$\rho_{\text{экс}} \omega^2 = (\rho_a - \rho_b) g k + I(\mu) \cdot k^4, \quad (3)$$

что соответствует акустической ветви квазиспиновых волн. Здесь ρ_a, ρ_b – плотности слоев в волноводе a и в окружающей среде b ;

$$\rho_{\text{экс}} = \rho_a \text{cth}(ka) + \rho_b \text{cth}(kb). \quad (4)$$

Как видно из (4), $\rho_{\text{экс}}$ зависит от величины (ka) , т.е. от параметров волновода. Далее $I(\mu)$ – величина, характеризующая магнитные свойства вещества μ , $k \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, g – ускорение силы тяжести. Сравнение членов правой части формулы (3) показывает, что квазиспиновые волны существенны при малых длинах волн ($\lambda \ll 150$ км) и при малых перепадах плотностей $\frac{\Delta\rho}{\rho} < 10\%$ когда фазовые и групповые скорости v_g «гравитационных» волн весьма малы; мала и переносимая энергия $E(E \sim \lambda v_g \Delta\rho)$ гравитационных волн, которые в числе других волн, объясняющих видимую структуру грануляции, являются значительными по мощности [1].

Список публикаций:

- [1] Крат В.А. – Изв. вузов. Радиофизика, 1977, т. XX, № 9.
 [2] Румянцев А.А. – ЖЭТФ, 1973, т. 65, с. 926-932.
 [3] Шлиомис М.И. – УФН, 1974, т. 112, вып. 3.
 [4] Архиезер А.И., Барьяхтар В.Г., Пелетминский С.В. Спиновые волны. – М.: Наука, 1967.
 [5] Хандрик К. Аморфные ферромагнетики и ферримангнетики. – М.: Мир, 1982.

Исследование параметров вращения чёрных дыр

Меджитов Руслан¹

Назаров Сергей^{1,2}

¹Севастопольский государственный университет

²Крымская астрофизическая обсерватория

astrotourist@gmail.com

Исследование сверхмассивных черных дыр (СМЧД) является одной из самых передовых областей фундаментальной науки. Интерес к СМЧД в первую очередь вызван их огромным энерговыделением, порядка 10^{48} эрг/с, в процессе дисковой аккреции вещества на СМЧД внутри активного ядра галактики (АЯГ). [1]

Черные дыры (ЧД) характеризуются тремя основными параметрами – массой, зарядом и вращением (спином). На данном этапе развития науки массы черных дыр измеряются несколькими методами. Оценки заряда еще не представляются возможными. А практические оценки параметра вращения ЧД только начинаются и представляют собой весьма перспективную тему для исследований.

Разница между медленно и быстро вращающейся черной дырой заключается в расположении ближайшей к ЧД устойчивой орбиты. Это влияет на размеры и светимость аккреционного диска. На основе теории стандартного аккреционного диска Н.И. Шакуры и Р.А. Сюняева в 1970-х годах ученые разработали способ определения величины спина ЧД, суть которого представлена в уравнении (1):

$$\mu^{3/2} l_E = 0.201 \left(\frac{L_{5100}}{10^{44} \text{ erg s}^{-1}} \right)^{3/2} \frac{\varepsilon(\alpha)}{M_8^2}, \quad (1)$$

Где $L_{5100} = \lambda L_\lambda(5100 \text{ \AA})$ – монохроматическая светимость на длине волны $\lambda = 5100 \text{ \AA}$,

$l_E = L_{bol}/L_{Edd}$ – отношение болометрической (полной) светимости к эддингтоновской,

$\varepsilon(\alpha)$ – коэффициент радиационной эффективности (зависит от спина ЧД),

$\mu = \cos i$ – величина косинуса угла наклона луча зрения к поверхности аккреционного диска,

$M_8 = M_{SMBH}/10^8 M_\odot$ [2]

Одним из лучших инструментов для получения наблюдательных данных, необходимых для расчета параметров вращения СМЧД, является зеркальный телескоп им. академика Шайна (ЗТШ) - второй по величине телескоп России и первый в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО). Построен в 1964 г по кассегренновской схеме с экваториальной вилочной монтировкой. Главное зеркало имеет габариты 2.6м и несколько фокусов, что позволяет устанавливать сразу целый ряд приборов и проводить всесторонние исследования космических объектов [3]. На ЗТШ ведется постоянный многолетний спектральный мониторинг избранного ряда АЯГ, что дает возможность получать исходные данные для расчетов параметров вращения СМЧД.

Список публикаций:

[1] V.L. Afanasiev, et al, *Determination of supermassive black hole spins based on the Standard Shakura-Sunyaev accretion disk model and polarimetric observations* // *Astron. Lett.* 44, 362 (2018)

[2] Ю.Н. Гнедин, *Определение основных параметров вращения сверхмассивных черных дыр* // *Земля и Вселенная №1*, 2018

[3] B. K. Ioannisiiani, G. A. Gambovskii, V. M. Konshin. *The 2.6-meter Shain reflecting telescope* // *Izvestiya Krymskoj Astrofizicheskoy Observatorii — 1976 — T. 55. — С. 208–223*

Проект восстановления телескопа «Синтез» (АСТ-1200) в КрАО

Назаров Сергей Валентинович

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

astrotourist@gmail.com

В 1978-м году в Крымской астрофизической обсерватории был введён в строй передовой по тем временам телескоп "Синтез" (он же "АСТ-1200"). Установлен он в павильоне с откатной крышей, на экваториальной монтировке вилочного типа [1]. Оптика выполнена по кассегренновской схеме с тонким ситалловым сегментированным главным зеркалом. Оно состоит из шести одинаковых подвижных шестиугольных сегментов и одного центрального неподвижного диаметрами по 40см [2].

Эксперимент ставился, чтобы выяснить принципиальную возможность создания более крупных зеркал, чем зеркало крупнейшего в мире (на момент начала разработки «Синтеза») телескопа БТА в САО [3]. Целью была отработка технологий создания сегментированной оптики, а также системы контроля пространственного положения зеркал, в том числе и с возможностью компенсации турбулентности земной атмосферы благодаря быстрым подвижкам каждого зеркала по двум осям [4].

С середины 1980-х до 2018-го телескоп находился на консервации. В начале 2018-го года было принято решение о его восстановлении с созданием новой оптики и системы управления. На протяжении 2018-го года шел процесс создания управляющей электроники. В 2019-м году через длиннофокусный гид с угловым разрешением около 0.4 – 0.5"/рх получены первые тестовые снимки, с экспозициями 10-20 минут, продемонстрировавшие высокое качество системы часового ведения телескопа, отличную точность выставления полярной оси и его пригодность к дальнейшему введению в строй в качестве полноценного научного инструмента.

В этой работе мы представляем подробное описание проекта восстановления телескопа, первые результаты, текущее состояние, планы работ и возможные варианты применения телескопа для научных исследований.

Список публикаций:

1. Basov N.G. e.a. "The MMT and future of ground". - *Based Astronomy*. 1980. №385, p. 185.

2. Н.Д. Устинов и др. "Астрономический телескоп АСТ 1200 с составным главным зеркалом" - *ОМП*, 1985, №11

3. В.В. Сычев "Технологические аспекты создания крупногабаритных оптических телескопов". - *Наука и образование*, 2015, №2 с. 269-285

4. Basov N.G. "New astronomical telescope AST-1200 with a segmented, actively controlled segmented primary mirror" - *SAOSR*, 1979. p 185-189

Многоволновые исследования поведения блазаров на примере СТА 102

Назаров Сергей Валентинович

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

astrotourist@gmail.com

Блазары - это активные ядра галактик, которые являются мощными источниками излучения. В суммарном излучении доминирует нетепловое излучение струи, которая движется с релятивистской скоростью по направлению к наблюдателю и поэтому подвергается доплеровскому усилению. Оно вызывает увеличение потока и сокращение периодов переменности блеска, поэтому большинство таких объектов характеризуются быстрыми изменениями яркости на всех частотах с заметной амплитудой. В качестве объяснения вспышек и некоторых свойств излучения, таких как внутриночная переменность, квазипериодичность и задержка изменений радиоизлучения относительно оптического, предлагается изменение угла, под которым наблюдаются узлы или участки струй. Однако такая геометрическая интерпретация не является общепринятой, поскольку существуют альтернативные объяснения спектрального поведения блазаров, основанные на изменениях физических условий, таких как размер и скорость излучающей зоны, магнитное поле, количество излучающих частиц и их распределение энергии.

В этой работе мы представляем многоволновое исследование поведения объекта СТА 102 в 2013-2017 годах [1]. Для анализа переменности потока и спектра использовались данные целого ряда инструментов: WEBT, OVRO (15ГГц), ALMA (91-103ГГц), REM (NIR), SWIFT (UV-Xray), FERMI. Огромный массив данных на разных длинах волн позволил изучить корреляцию между потоками в нескольких диапазонах.

Поток в гамма-диапазоне показал отличную корреляцию с потоком в видимой области без значимых временных задержек в пределах ошибок наблюдений. Такое поведение диапазонов хорошо согласуется с геометрической моделью, успешно объясняющей поток в области низких энергий и спектральное поведение в предположении, что долговременные колебания потока вызываются изменением Доплер-фактора, связанного с движением излучающих областей джета под разными углами к лучу зрения [2].

Список публикаций:

[1] D'Ammando, F.; Raiteri, C. M.; Villata, M. et al. "Investigating the multiwavelength behaviour of the flat spectrum radio quasar STA 102 during 2013-2017". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 490, Issue 4, p.5300-5316. 2020*

[2] Abdo, A. A., et al. "Fermi Gamma-ray Space Telescope Observations of the Gamma-ray Outburst from 3C454.3 in November 2010". 2011, *ApJ*, 733, L26

[1] Матвеев В. И. // ЖЭТФ. 2003. Т. 124. № 5(11). С. 1023.

[2] Есеев М. К., Матвеев В. И. // Физический вестник Поморского университета. Архангельск: Изд-во Поморского ун-та. 2006. № 4. С.35.

Обзор методов исследования сверхмассивных черных дыр

Назаров Сергей Валентинович

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

astrotourist@gmail.com

Сверхмассивные черные дыры - это объекты, ответственные за генерацию основного потока излучения от активных ядер галактик (АЯГ). В излучении АЯГ наблюдается нетепловая составляющая от мощного выброса - джета, тепловая компонента с профилем близким к излучению абсолютно черного тела - аккреционный диск и излучение в отдельных спектральных линиях от так называемых областей широких и узких спектральных линий [1].

Существование сверхмассивных черных дыр в центре АЯГ надежно установлено множеством методов: прямые наблюдения за динамикой звезд, прямое фотографирование системой радиоинтерферометров ЕНТ (галактика М87), спектральные наблюдения облаков газа в АЯГ, наблюдения рентгеновских линий в спектре АЯГ, моделирование мощности излучения АЯГ для разных источников энергии и другие.

В этой работе представляется обзор, границы применимости и сравнительный анализ вышеперечисленных методов.

Список публикаций:

[1] Schmidt, M. 1963, *Natur*, 197, 1040

Установка Ковер-3 для исследования ШАЛ сверхвысоких энергий

Романенко Виктор Сергеевич

Институт ядерных исследований РАН

Баксанская нейтринная обсерватория

Петков Валерий Борисович

vsrom94@gmail.com

Установка Ковер-3 [1, 2] для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) с энергией более 10^{13} эВ, расположена в Баксанской нейтринной обсерватории, на высоте 1700 метров над уровнем моря. На рисунке 1 показано текущее состояние установки, которая включает в себя 400 жидких сцинтилляционных счетчиков общей площадью 200 м^2 , разделенных на 25 модулей. Они предназначены для определения положения оси ливня и измерения энергосодержания в релятивистских частицах (1 р.ч. - наиболее вероятное энергосодержание в детекторе при прохождении одиночного мюона). 6 выносных пунктов (ВП) по 9 м^2 каждый, на рис. 1 обозначены номерами 1 – 6, используются для восстановления направления прихода ливня и измерения энергосодержания. 33 ВП нового образца, каждый площадью 9 м^2 , на основе пластиковых сцинтилляционных счетчиков, на рис. 1 обозначены номерами 7 - 39, причем ВП 8, 14, 18, 19, 20, 24, 28 готовы к работе, остальные будут установлены в течение 2020 года. Их использование позволит улучшить энергетическое и угловое разрешение установки. Подземный мюонный детектор общей площадью 410 м^2 используется для регистрации мюонов в ливнях с энергетическим порогом 1 ГэВ. По соотношению числа мюонов к полному числу релятивистских частиц определяется тип первичной частицы (фотон, протон или ядро более тяжелого элемента).

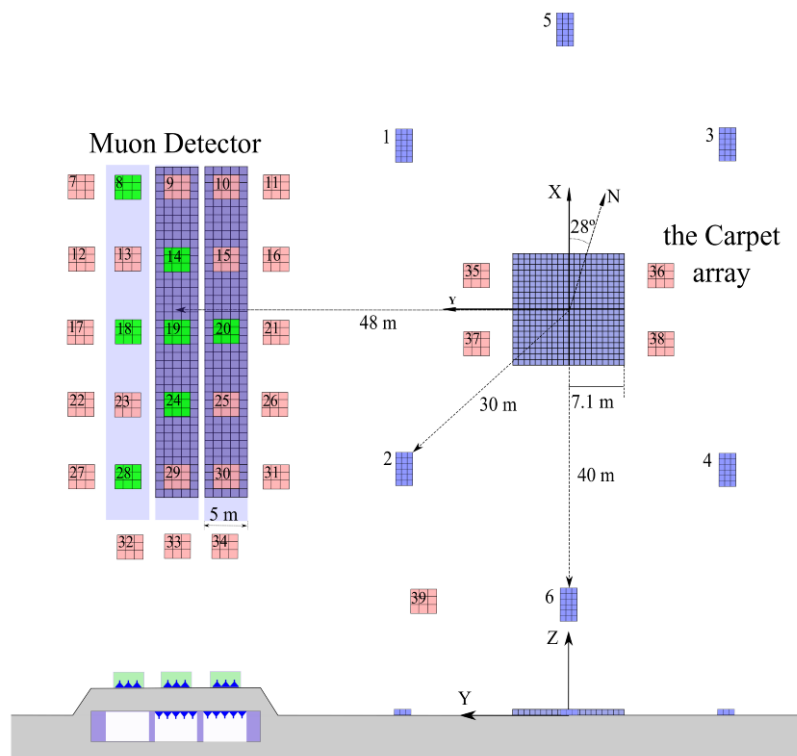


рис.1. Схема установки Ковер-3 по состоянию на март 2020 года.

Основной задачей установки Ковер-3 является гамма-астрономия в области энергий более 10^{13} эВ, включающая поиск диффузного гамма-излучения, выполняемого еще на установке Ковер-2 [3]. Интерес, к которому был усилен результатами нейтринной обсерватории IceCube [4], зарегистрировавшей нейтрино астрофизического происхождения с энергиями более 100 ТэВ. Эти нейтрино рождаются в результате распада заряженных π^+ мезонов, которые сопровождаются π^0 мезонами, распадающимися на два фотона с энергиями, близкими к энергиям нейтрино. Однако, до сих пор были представлены только верхние пределы на потоки таких фотонов и их поиск является актуальной задачей. На установке продолжится поиск точечных источников гамма-излучения сверхвысокой энергии, который осуществлялся на предшествующих конфигурациях установки [5, 6]. Помимо этого, планируется проводить исследования химического состава первичного космического излучения.

Работа выполнена в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН (Центр коллективного пользования) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: номер договора 075-15-2019-1640, уникальный идентификатор проект RFMEFI62119X0025. Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект 19-29-11027.

Список публикаций:

- [4] *Dzhappuev D. D. et al. The Carpet-3 experiment to search for diffuse gamma rays with energies of more than 100 TeV // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2017. – Т. 81. – №. 4. – С. 424-427.*
- [5] *Lidvansky A. S. Baksan Air Shower Array: new prospects for old facility // EPJ Web of Conferences. – EDP Sciences, 2019. – Т. 208. – С. 15003.*
- [6] *Petkov V. B. et al. The Upper Limit on Isotropic Flux of Diffuse Gamma Rays with Energy Above 700 TeV as Measured by the Carpet-2 Air Shower Array // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2019. – Т. 83. – №. 8. – С. 941-944.*
- [7] *Aartsen M. et al. Evidence for high-energy extraterrestrial neutrinos at the IceCube detector // Science. – 2013. – Т. 342. – №. 6161. – С. 1242856.*
- [8] *Alexeenko V. V. et al. The ultra-high energy gamma-ray burst from the Crab Nebula observed by the Baksan EAS array // Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics. – 1992. – Т. 18. – №. 4. – С. L83.*
- [9] *Lidvansky A. S. On the burst activity of the Crab Nebula and pulsar at high and ultra-high energies // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2013. – Т. 409. – №. 1. – С. 012114.*

Исследование параметров межзвездной среды в галактиках с недавним звездообразованием

Смирнова Ксения Ильдаровна¹

Вибе Дмитрий Зигфридович², Моисеев Алексей Валерьевич³

¹Уральский федеральный университет

²Институт астрономии РАН, ³Специальная астрофизическая обсерватории РАН

Arashu@rambler.ru

Ранее мы исследовали галактику с полярным кольцом (ГПК) NGC 660 в различных диапазонах, и нашли различие в инфракрасном (ИК) диапазоне для областей звездообразования кольца и диска галактики. А именно, потоки областей кольца в ближнем и дальнем ИК диапазоне были значительно меньше, чем потоки у областей диска. Это различие мы связали с различным возрастом данных объектов, области кольца формировались позже, соответственно они могут быть более молодые, сем области диска галактики.

Эту интересную зависимость, хотелось бы проверить у других галактик подобного типа, но, к сожалению, не смотря на наличие нескольких каталогов [1-3] ГПК (суммарное количество объектов около 400 штук), никто из них больше не располагал нужным набором наблюдательных данных. В связи с этих нам пришлось обратиться к другим объектам, в процессе эволюции которых могут возникать условия, способствующие образованию новых областей звездообразования.

Подходящими кандидатами оказались галактики со смещенными барами, в которых наблюдается смещение центральной перемычки относительно фотометрического и/или кинематического центров диска, которое может быть вызвано сильным приливным воздействием или столкновением двух галактик с последующим слиянием, а также взаимодействующие галактики, где само взаимодействие галактик может вызвать волну ЗО в одной из них.

Таким образом, нам удалось найти еще три галактики для нашего исследования. Для сопоставления полученных результатов мы использовали галактику сравнения NGC 628. Хочется отметить, что одна галактика, из нашей выборки имела данные в дальнем ИК диапазоне, что позволило нам проследить выделенную зависимость (ту, что мы нашли в NGC 660) во всех трех диапазонах ИК спектра.

Список публикаций:

- [1] *Whitmore B.C. et al. // The Astronomical Journal. 1990. Vol. 100, p. 1489.*
- [2] *Moiseev, A.V., Smirnova, K.I., Smirnova, A.A., Reshetnikov, V.P // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2011. V. 418, № 1, pp. 244-257.*
- [3] *Reshetnikov V.P., Mosenkov A.V. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2019. Vol. 483, № 2, pp. 1470-1480.*

Поиск на БПСТ мюонных нейтрино от гравитационно-волновых событий

Унатлоков Ислам Бесланович

Петков Валерий Борисович, Болиев Мусаби Мухарбиевич, Буткевич Анатолий Викторович,
Дзанарова Ирина Майрамовна, Кочкаров Махти Масхутович, Куреня Александр Николаевич,
Лидванский Александр Сергеевич, Новосельцев Юрий Федорович, Новосельцева Рита Викторовна,
Стриганов Петр Семенович, Янин Алексей Федорович

Институт ядерных исследований РАН, Баксанская нейтринная обсерватория

Петков Валерий Борисович, д.ф.-м.н.

unatlakov@mail.ru

В настоящее время на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе (БПСТ) проводится эксперимент по поиску нейтрино от астрофизических источников. БПСТ расположен на Северном Кавказе (Россия) в подземной лаборатории на эффективной глубине 850 м.в.э. Телескоп представляет собой многоцелевой детектор размерами $17 \times 17 \times 11$ м³ и состоит из 4-х вертикальных и 4-х горизонтальных сцинтилляционных плоскостей [1, 2]. Плоскости состоят из стандартных сцинтилляционных счетчиков. Стандартный счетчик представляет собой алюминиевый контейнер размером $0.7 \times 0.7 \times 0.3$ м³, заполненный жидким органическим сцинтиллятором на основе уайт-спирита C_nH_{2n+2} (n ≈ 9). Объем сцинтиллятора просматривается одним фотоэлектронным умножителем ФЭУ-49 с диаметром фотоатода 15 см. Общее количество счетчиков 3184. Запуск системы регистрации осуществляется при наличии сигнала с импульсного канала любого счетчика. Темп счета телескопа 17 с⁻¹. Угловое разрешение составляет ≈ 1.6°.

Представлены результаты поиска мюонных нейтрино и антинейтрино с энергией выше 1 ГэВ от областей локализации гравитационно-волновых событий на БПСТ. Поиск основывается на экспериментальных данных гравитационно-волновых обсерваторий Advanced LIGO и Advanced Virgo [3, 4]. Поиск мюонных нейтрино от локального источника проводится с помощью регистрации мюонов из нижней полусферы (с зенитными углами > 100°), а также с направлений с достаточно большими толщинами вещества. С данных направлений можно исключить фон от проникающих под землю мюонов – регистрируемые мюоны являются продуктами взаимодействия мюонных нейтрино с окружающим установку веществом. Просматривается область (круг) радиусом 5.0°. Для поиска нейтринных событий на телескопе выбирается временной интервал ± 500 с, а также 14 суток от момента регистрации гравитационно-волнового события [5, 6]. В случае отсутствия нейтринных событий от источника ставится верхний предел на интегральные потоки мюонных нейтрино и антинейтрино, на 90% доверительном уровне:

$$F(E_\nu) = \frac{N_{90}}{\varepsilon S(E_\nu)} \quad (1)$$

где $S(E_\nu)$ – эффективная площадь регистрации мюонного нейтрино/антинейтрино с энергией E_ν , $N_{90} = 2.3$, ε – доля нейтринных событий от точечного источника в круге радиусом 5.0°. Верхние пределы на интегральные потоки для мюонных нейтрино и антинейтрино получаются в предположении степенного спектра с показателем –2:

$$F_\nu = \frac{N_{90}}{\varepsilon \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} dE_\nu S(E_\nu) I(E_\nu)} \quad (2)$$

где E_{\min} – пороговая энергия регистрируемых установкой мюонных нейтрино, E_{\max} зависит от толщины вещества (грунта) в направлении источника, $I(E_\nu) = E_\nu^{-2}$.

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Баксанский Подземный Сцинтилляционный Телескоп» (ЦКП Баксанская нейтринная обсерватория) при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ «Поддержка и развитие Центра коллективного пользования Баксанская нейтринная обсерватория научным оборудованием для обеспечения реализации исследовательских программ и проектов по перспективным научным направлениям», уникальный идентификатор проекта RFMEFI62119X0025.

Список публикаций:

- [1] E.N. Alekseev et al. (BUST Collaboration), *Proceedings of 16th International Cosmic Ray Conference (Kyoto, Japan, August 6 - 18), 10, 276, 1979.*
- [2] E.N. Alekseev et al. (BUST Collaboration), *Phys. Part. Nucl.* 29, 254, 1998.
- [3] B.P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration), *Phys. Rev. X* 9, 031040 (2019); arXiv:1811.12907.
- [4] B.P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration), arXiv:2001.01761.
- [5] B. Baret, I. Bartos, B. Bouhou et al., *Astropart. Phys.*, 35, 1, 2011; arXiv:1101.4669.
- [6] H. Gao, B. Zhang, X. Wu and Zi. Dai, *Phys. Rev. D* 88, 043010, 2013; arXiv:1306.3006.

11 - Биофизика, медицинская физика

Акинина Мария Дмитриевна, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Биотехническая система вестибулярного органа
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: maakin1993@yandex.ru стр. 247

Амангулова Илюза Тагировна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
АСМ- и СТМ-исследования синтетических однопочечных ДНК с гомонуклеотидной последовательностью, осажженных на подложке из серебра
Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.
e-mail: amangulovai@mail.ru стр. 248

Балашова Валентина Николаевна, аспирант
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование вращательной динамики ДНК с учетом потенциала Морзе
Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.
e-mail: vnbalashona@mail.ru стр. 250

Брожик Дарья Сергеевна, инженер-дозиметрист
Гатчина, Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра `Курчатовский институт`, отделение перспективных разработок
Комплекс протонной терапии на базе синхроциклотрона СЦ-1000.
e-mail: daschunya-94@mail.ru стр. 251

Вахрушева Екатерина Вениаминовна, магистрант 1 года обучения
Ижевск, Удмуртский государственный университет, институт естественных наук
Импедансометрические характеристики планарных графитовых электродов, модифицированных рутением и платиной при адсорбции микробных клеток
Черенков Иван Анатольевич, к.б.н.
e-mail: ekaterina.vakhrusheva@bk.ru стр. 252

Евтина Анастасия Алексеевна, 4 курс
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, биологический институт
Оценка токсического действия наночастиц на основе железа
Большаков Михаил Алексеевич, д.б.н.
e-mail: anastasiya10152@gmail.com стр. 253

Зайцев Василий Андреевич, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Экспериментальная проверка возможности применения метода электронистагмографии для проведения теста импульса головы
Демкин Владимир Петрович; Плешков Максим Олегович, д.ф.-м.н.
e-mail: vasilysushi@gmail.com стр. 255

Красняков Иван Васильевич, аспирант 2 года обучения
Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, прикладной математики и механики
Математическое моделирование структур инвазивной карциномы, состоящих из небольшого числа клеток
Брацун Дмитрий Анатольевич, д.ф.-м.н.
e-mail: krasnyakov_ivan@mail.ru стр. 256

Низямова Алина Рамилевна, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование динамики ДНК с учётом вязкой среды
Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.
e-mail: alya.nizyamova.96@mail.ru стр. 257

Салимова Ильзина Хамидулловна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Изучение и сравнение электропроводности коротких олигонуклеотидов типа dA, dT и dC методом сканирующей туннельной спектроскопии
Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.
e-mail: ilzina.salimova@mail.ru стр. 258

Семерикова Мария Андреевна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование взаимодействия конформационных возмущений с носителями заряда в молекуле ДНК
Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.
e-mail: semerikova.mary@yandex.ru стр. 260

Суюндукова Алмагуль Туктаровна, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Влияние токов утечки на изменение электрического импульса при стимуляции вестибулярных нервов
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: almagul.suyundukova@mail.ru стр. 260

Фатихова Фидалия Гайнетдиновна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Конформационная динамика ДНК с учетом взаимодействия с белками
Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.
e-mail: fatihova_1997@mail.ru стр. 262

Биотехническая система вестибулярного органа

Акинина Мария Дмитриевна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

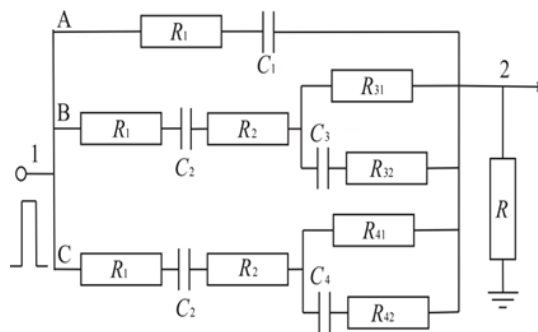
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

maakin1993@yandex.ru

Вестибулярный имплант выполняет функцию естественного вестибулярного лабиринта человека для управления положением тела в пространстве и сохранением равновесия. Генерируемые имплантом электрические импульсы от электродов распространяются по тканям внутреннего уха к окончаниям вестибулярных нервов и далее в головной мозг, вызывая соответствующие вестибулярные рефлексы для изменения положения тела. Таким образом, вестибулярная система (имплант и лабиринт) представляет собой биотехническую систему с биологической обратной связью, эффективность которой зависит от параметров стимулирующих импульсов (форма, амплитуда, частота, глубина модуляции) так и от электропроводящих свойств тканей лабиринта (удельное сопротивление и емкость). Управление такими системами осуществляется на основе теории динамических систем, важнейшей характеристикой при этом является передаточная функция [1,3].

Динамика таких биотехнических систем описывается линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами на основе физических законов, определяющих процесс преобразования входного сигнала, генерируемого имплантом, в выходной сигнал, как результат отклика (рефлекса) сенсорной системы. Тогда функциональную эффективность импланта можно описать передаточной функцией, которую определяют как отношение преобразований Лапласа выходного сигнала и входного сигналов.

Для вычисления передаточной функции биотехнической системы вестибулярного органа нами предложена электрическая модель распространения тока через ткани вестибулярного лабиринта человека на основе пятиэлементной схемы замещения Максвелла (рис. 1) [4].



1 – стимулирующий электрод; 2 – окончание вестибулярного нерва; R1 – сопротивление перилимфы; C1 – емкость изоляции нерва; R2 – сопротивление эндолимфы; R31 – сопротивление мембраны волосковых клеток; R32 – сопротивление цитоплазмы волосковых клеток; R41 – сопротивление мембраны базиллярных клеток; R42 – сопротивление цитоплазмы базиллярных клеток; C2 – емкость мембраны, разделяющей перилимфу и эндолимфу; C3 – емкость мембраны волосковых клеток; C4 – емкость мембраны базиллярных клеток; R – сопротивление нагрузки.

рис.1. Электрическая схема замещения вестибулярного лабиринта

Передаточную функцию от всех звеньев данной электрической схемы замещения можно представить в виде следующей структурной схемы (рис. 2).

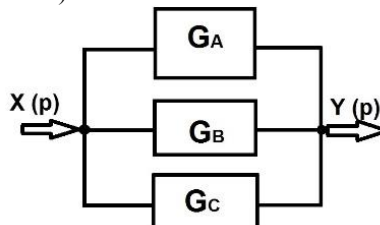


рис. 2. Структурная схема электрической цепи

Результирующая передаточная функция $G(p)$ для данной схемы будет равна сумме передаточных функций для каждого участка цепи:

$$G(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = G_A + G_B + G_C \quad (1)$$

где G_A, G_B, G_C – передаточные функции, соответствующие путям прохождения электрического тока в электрической схеме замещения, $X(p), Y(p)$ – Лапласово изображение входного и выходного сигнала.

В качестве примера для расчета передаточной функции взяты значения электрических параметров схемы замещения вестибулярного лабиринта для морской свинки.

Передаточная функция (1) зависит от параметров электрической цепи. Вариация этих параметров позволяет оптимизировать передаточную функцию, соответствующую максимальному значению амплитуды выходного сигнала. Численный анализ трех слагаемых G_A, G_B, G_C в передаточной функции в формуле (1) от параметров электрической цепи показал, что увеличение передаточной функции при любых значениях других электрических параметров происходит при увеличении R_1, R_2, C_1, C_2 и уменьшении параметров $R_{31}, R_{32}, R_{41}, R_{42}$. Величина передаточной функции слабо зависит от C_3 и C_4 .

Проведенные расчеты показали, что при оптимальных электрических параметрах электрической схемы замещения вестибулярного лабиринта значение передаточной функции (1) увеличивается в 1.5 раза.

Список публикаций:

[1] Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И. // *Вычислительные технологии*. 2012. Т. 17. №4. С.29–55.

[2] Марчук Г.И. // *Медицина высокие технологии*. 2012. №2. С. 3-6.

[3] Антоненко С. В., Белянская Е. С., Индюхин., Лебедево И. С. // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2013. №1.

[4] Демкин В.П., Мельничук С.В., Щетинин П.П., Кингма Г., Ван Де Берг Р. // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2018. Т.61. № 11. С.68 -75.

Результаты исследования получены при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

АСМ- и СТМ-исследования синтетических одноцепочечных ДНК с гомонуклеотидной последовательностью, осажденных на подложке из серебра

Амангулова Илюза Тагировна

Башкирский государственный университет

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

amangulovai@mail.ru

Появление сканирующего зондового микроскопа открыло новые возможности для исследования объектов в самых разных областях науки. Атомно-силовая (АСМ) и сканирующая туннельная микроскопии (СТМ) [1] благодаря сверхвысокому разрешению позволяют исследовать различные объекты на молекулярном и субмолекулярном уровне, в том числе молекулы ДНК различной природы [2-3]. Особый интерес представляют синтетические одноцепочечные ДНК с гомонуклеотидной последовательностью, то есть состоящие из нуклеотидов одного типа [4]. В таких структурах предполагается особый характер распределения электронной плотности и переноса заряда, поэтому интерес к ним стабильно высок, что связано с перспективами использования данных молекул в наноэлектронике.

В данной работе методами АСМ и СТМ были визуализированы и исследована проводимость коротких одноцепочечных ДНК, состоящих из нуклеотидов $d(C)_{12}$.

В экспериментах в качестве подложек применяли серебро, термически напыленное в вакууме на поверхность слюды. На серебряную подложку наносили раствор олигонуклеотида $d(C)_{12}$ в концентрации 5 нг/мкл. Причем раствор олигонуклеотида предварительно прогревали при температуре 75-80 °С в течение 6-7 минут для деглобулизации. Через 30-40 мин капля высыхала полностью.

В докладе будут представлены результаты исследования проводимости олигонуклеотидов, состоящих из повторяющихся нуклеотидных последовательностей. Все этапы эксперимента контролировались методами СТМ (*рис. 1*) и АСМ. Поскольку наибольший интерес представляли наименьшие из наблюдаемых на изображении объектов, которые по нашему мнению являются единичными молекулами, для них получали профили сечения (*рис. 1б*), по которым определяли геометрические параметры. После получения СТМ-изображений и визуализации олигонуклеотидов на поверхности подложки в режиме сканирующей туннельной спектроскопии измеряли их вольт-амперные характеристики (ВАХ) на тех участках, где предположительно находились единичные молекулы олигонуклеотидов. Для этого молекулу располагают между двумя электрическими контактами, одним из которых является проводящий зонд микроскопа, а другим – фрагмент поверхности подложки из электропроводящего материала.

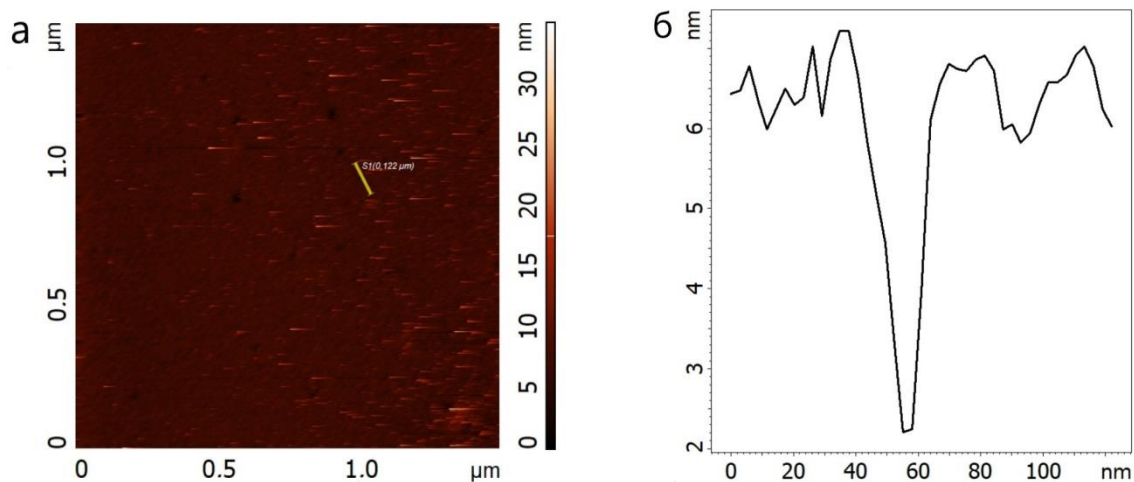


рис. 1. а) СТМ–изображение поверхности серебра с нанесенными на нее олигонуклеотидами $d(C)_{12}$. б) профиль сечения олигонуклеотида $d(C)_{12}$, выполненный по линии, указанной на рисунке 1а.

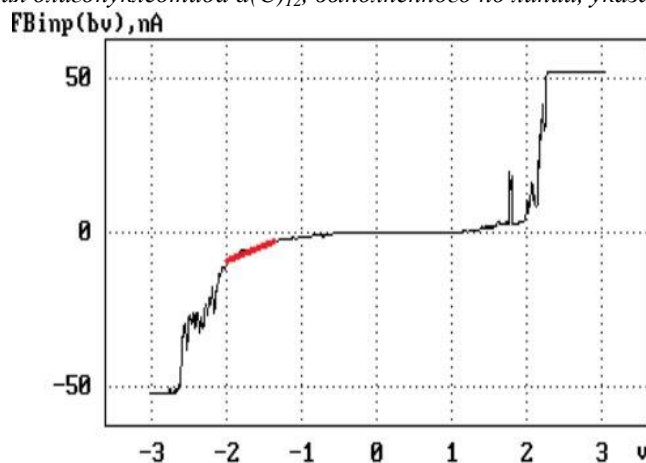


рис. 2. Вольт-амперная характеристика олигонуклеотида $d(C)_{12}$.

Вид кривой зависимости тока от напряжения оказался нелинейным. Используя ВАХ, можно вычислить дифференциальное сопротивление олигонуклеотидов $d(C)_{12}$. Для этого на ВАХ мы выбрали участок, на котором нет нулевых значений тока и в то же время нет значительных флуктуаций тока. На рисунке 2 он выделен утолщенной красной линией. Оценочно рассчитали, что дифференциальное электрическое сопротивление отдельной молекулы примерно равно $R_{\text{диф}} = 0.85 \cdot 10^8$ Ом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Республики Башкортостан для молодых ученых на 2019 год, договор № 29- ГР.

Список публикаций:

- [1] Быков В.А., Лазарев М.И., Саунин С.А. // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2008. – № 5. – сс. 7 – 14.
- [2] Амангулова И.Т., Шарипов Т.И., Муллагалиев И.Н. // *Проблемы современного физического образования: сборник материалов V Всероссийской научно- методической конференции / отв. ред. Балапанов. М. Х. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – с. 87-89.*
- [3] Шарипов Т. И., Бахтизин Р. З. // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико- математические науки.* 2019. № 1 (49). С. 133-141.
- [4] Sharipov T. I., Garafutdinov R. R., Amangulova I.T., Bakhtizin R.Z. // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019. V. 699. №1. 012045.

Моделирование вращательной динамики ДНК с учетом потенциала Морзе

Балашова Валентина Николаевна

Баширский государственный университет

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

felizija2010@mail.ru

При моделировании функциональных движений ДНК наиболее эффективным оказался поиск подходящего механического аналога, то есть хорошо изученной в механике модельной системы с аналогичным набором структурных элементов, движений и взаимодействий.

Разработано множество различных моделей, описывающих движения ДНК: континуальные и дискретные, спиральные, и игнорирующие спиральную структуру, имитирующие движение каждого или почти каждого атома фрагмента, и имитирующие движения только основных субъединиц, однородные модели, и модели, учитывающие наличие последовательности оснований. Наиболее оптимально структуру и движения ДНК передают мезоскопические модели. Существует два наиболее обширных класса таких моделей: поперечные и угловые [1].

Поперечные модели прекрасно зарекомендовали себя для описания процессов денатурации молекулы ДНК. Параметры этих моделей получили надёжное экспериментальное обоснование и хорошо известны. В то же время именно угловые модели более адекватно описывают конформационные изменения в процессе функционирования ДНК. Вместе с тем, экспериментальное определение параметров моделей этой группы затруднено. В данной работе мы предлагаем объединить два подхода – совместить «геометрию» угловых моделей с хорошо изученным потенциалом Морзе, описывающим динамику поперечных моделей.

$$I_k \ddot{\theta}_k = \theta'' - 2a^2 D r_1 \varepsilon (- (r_0 + r_1 + r_2) \sin \theta_2 - r_2 \sin 2\theta_2), \text{ где } k = 1, 2 \quad (1)$$

Здесь I_k - момент инерции k -го основания, θ_k – угол поворота k -го основания вокруг сахаро-фосфатного остова в первой и второй цепочках соответственно; r_k – расстояния от сахаро-фосфатных цепочек до азотистого основания; a и r_0 – расстояния между азотистыми основаниями внутри и между цепочками, D – параметр потенциала Морзе, определяемый экспериментально.

Это уравнение имеет солитонные решения, параметры которых (ширина, импульс и энергия) уже можно сравнить с экспериментальными результатами.

Проведя аналогию между уравнением (1) и модельным уравнением Y-модели [2], делаем вывод, что учет поперечной динамики молекулы ДНК приводит к изменению значения коэффициента V в уравнении Y-модели:

$$V = 2\mu^2 D r_1 \varepsilon h \sin \theta_k.$$

Также нами были рассчитаны числовые значения физических характеристик кинков (таких как масса, размер, энергия активации и т.д.) и построены графики их профилей (рис.1) и траектории движения.

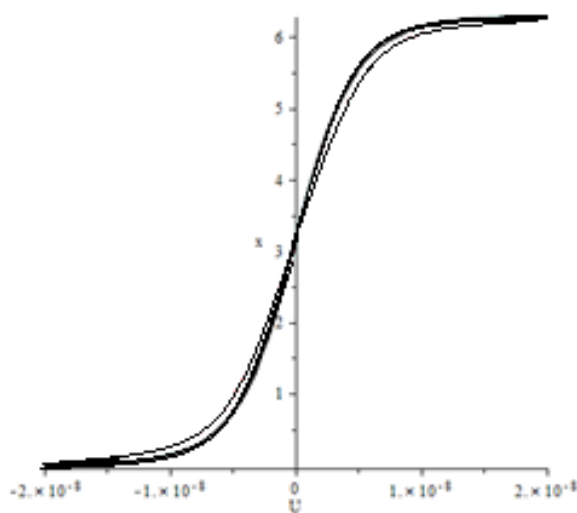


рис. 1. Солитонное решение MY-модели (жирная линия) по сравнению со стандартным решением Y-модели (тонкая линия).

Таким образом, можно сделать вывод, что комбинирование «геометрии» угловых и потенциала поперечных моделей позволяет сохранить качественное поведение моделей типа Y-модели и, в то же время, уточнить численные значения параметров и количественные характеристики получаемых решений.

Список публикаций:

[1] Якушевич Л.В. *Нелинейная физика ДНК* // М.: Ижевск: НИЦ «РХД». 2007. 252с.

[2] Якушевич Л.В., Балашова В.Н., Закирьянов Ф.К. *О движении кинка ДНК под действием постоянного торсионного момента* // Математическая биология и биоинформатика. – 2016. – Т. 11, №1. – С. 81-90.

Комплекс протонной терапии на базе синхроциклотрона СЦ-1000

Брожик Дарья Сергеевна

*Кузора Наталья Александровна, Мамедова Наталья Игоревна, Пак Федор Александрович,
Халиков Александр Ифратович*

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова

НИЦ «Курчатовский институт»

daschunya-94@mail.ru

Работа посвящена Комплексу протонной терапии (Комплекс) Петербургского института ядерной физики. Совместно с Российским научным центром радиологии и хирургических технологий им. ак. А.М. Гранова был разработан и внедрен метод облучения “напролет” на базе синхроциклотрона СЦ-1000. Метод основан на облучении внутричерепных мишеней горизонтальным пучком протонов с энергией 1000 МэВ в комбинации с подвижной техникой облучения [1,2]. Особенностью данной методики является возможность формирования пространственных распределений поглощённой дозы малого размера в мишени с высоким пространственным градиентом. Разработанный метод оказался эффективным как при лечении различных заболеваний головного мозга (аденома гипофиза, артериовенозные мальформации), так и при паллиативном облучении аденогипофиза при гормонозависимых формах рака.

Во время облучения пациент находится на установке для протонной стереотаксической терапии (УПСТ), состоящей из лечебного стола, прибора-фиксатора головы и рентгеновского центратора. Подвижная техника облучения осуществляется за счет вращения лечебного стола вокруг вертикальной оси и маятниковых движений прибора-фиксатора головы вокруг горизонтальной оси. Рентгеновский центратор используется для правильной укладки головы пациента [1,2].

В связи с износом некоторых частей оборудования, а также введением более жестких, в том числе и международных[3], требований для лучевой терапии в настоящее время проводится модернизация Комплекса для приведения к стандартам высокотехнологической медицинской помощи (ВМП) и дальнейшего возобновления лечения.

Особое внимание обращается на модернизацию частей УПСТ, в частности рентгеновского центратора. Организованное автоматизированное рабочее место врача позволило дистанционно задавать все необходимые параметры для правильной укладки пациента с помощью рентгена. Преимущества заключены в высоком качестве изображений, возможности обработки информации, и работы с результатами диагностических исследований пациента на КТ и МРТ.

Рассмотрены особенности разработанной программы управления установкой и контроля параметров протонного пучка, позволяющей точно выполнять позиционирование и обрабатывать динамическое перемещение составных частей Комплекса для исполнения планов облучения.

Одним из направлений модернизации является обновление системы клинической дозиметрии, которая занимается экспериментальным описанием распределений поглощенной дозы. Так как синхроциклотрон СЦ-1000 не является специализированной медицинской установкой, в отделении протонной терапии разработана собственная дозиметрическая система и методика привязки к дозе, основанная на измерении поглощенной дозы с помощью метода термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) и ионизационных камер и тканеэквивалентного фантома. Экспериментальные результаты тестирования новой системы клинической дозиметрии, а также верификация с имеющимся оборудованием при использовании твердотельного фантома и капсул с ТЛД на пучке протонов с энергией 1 ГэВ не превышает 5%, что рекомендовано международными стандартами.

Финальным этапом модернизации Комплекса является необходимость в разработке системы трехмерного планирования протонной лучевой терапии для выбора плана облучения с учетом рисков для здоровых тканей, в соответствии с международными стандартами [3]. Главными особенностями разрабатываемой системы планирования являются: реконструкция трехмерной модели тела пациента;

оконтуривание объемов (мишень, органы риска); рассчитанное трехмерное дозовое распределение с помощью компьютерного моделирования.

Список публикаций:

[1] Гранов А.М., Тютин Л.А., Шалек Р.А., Виноградов В.М., Карлин Д.Л. // Сорокалетний опыт клинического применения пучка протонов с энергией 1000 МэВ на базе синхроциклотрона Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова // Мед. физика. – 2016. - №.2 (70). – С. 10-17.

[2] Абросимов Н.К., Воробьев А.А., Жербин Е.А., Коннонов Е.А. Протонная терапия на синхроциклотроне в Гатчине // Первый международный семинар по использованию протонных пучков в лучевой терапии. - 1977.

[3] Design and implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects // International Atomic Energy Agency. - 2015. - P. 97.

Импедансометрические характеристики планарных графитовых электродов, модифицированных рутением и платиной при адсорбции микробных клеток

Вахрушева Екатерина Вениаминовна

Удмуртский государственный университет

Черенков Иван Анатольевич, к.б.н.

ekaterina.vakhrusheva@bk.ru

В последние годы, в прикладной микробиологии, широкое применение нашли импедансометрические сенсоры для обнаружения и количественной оценки патогенных бактерий [1]. Измерение импеданса является электрохимическим методом, по данным которого можно определить не только количество клеток, но и их состояние и размеры. Благодаря этим преимуществам метод используется для длительных экспериментов с живыми клетками в реальном масштабе времени [2]. На наш взгляд, перспективным является использование для импедансометрии электродных материалов полученных, методом высокоскоростного лазерного синтеза (ВЛС). После обработки методом ВЛС, на электроде формируется развитая поверхность, и возникают каталитически активные соединения, реагирующие на метаболиты, продуцируемые клетками [3]. Однако, импедансометрические характеристики таких материалов и их изменения при адгезии клеток малоизучены.

Целью нашей работы стало исследование импедансометрических характеристик графитовых электродов, модифицированных рутением и платиной при адсорбции клеток родококков.

Для изготовления электродов использовали планарную электродную систему (ООО «Автоком», Россия, Москва) с графитовым рабочим электродом. На его поверхность наносили спиртовые растворы солей рутения и платины. После высушивания электроды обрабатывали оптоволоконным лазером на воздухе в импульсном режиме. Взвесь клеток *Rhodococcus* sp. в фосфатно-солевом буферном растворе (ФСБ) наносили на поверхность рабочего электрода непосредственно перед измерением. Часть измерений проводили после обработки клеток гентамицином. Измерения импеданса проводились с использованием потенциостата-микроамперметра «Эколаб-2А-100» с функцией импедансометрии (ООО «Эковектор», Россия, Ижевск) на частотах 10-100 Гц.

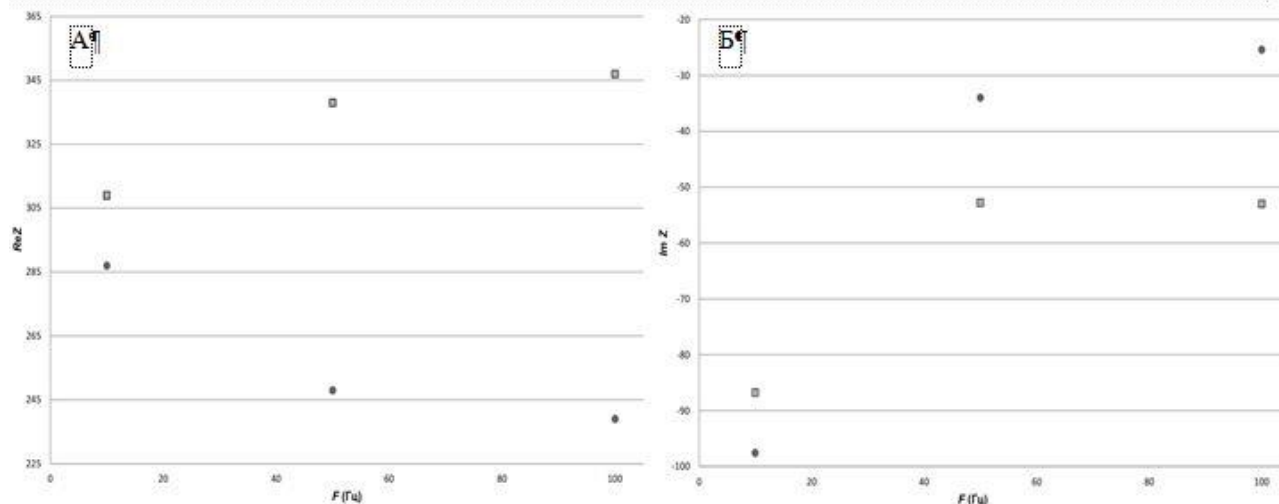


рис.1. Изменения показателей омического ($ReZ(A)$) и емкостного ($ImZ(B)$) сопротивления графитовых электродов, модифицированных рутением и платиной при адсорбции клеток родококков. (● – интактные клетки; □ – при воздействии гентамицина).

При измерении импеданса после нанесения на поверхность электрода клеточной взвеси в ФСБ наблюдается снижение показателей омического сопротивления (ReZ) по мере увеличения частоты (рис. 1А). При адсорбции родококков, обработанных антибиотиком этот показатель оказывается выше, чем для интактных клеток, а при росте частоты повышается. Значения мнимого сопротивления (ImZ) изменяются однонаправленно – показатель растет с увеличением частоты, как для интактной системы, так и при воздействии антибиотика (рис. 1Б).

Использованные частоты, согласно данным литературы [2], могут характеризовать изменения двойного электрического слоя, вызванные адсорбцией клеток. Наблюдаемые сдвиги показателей импеданса при воздействии гентамицина позволяют предполагать его влияние на адсорбционную способность клеток родококков. Полученные данные можно использовать для разработки импедансометрических сенсоров.

Выражаем благодарность лаборатории физики и химии материалов УдГУ и лично заведующему лабораторией д.т.н., профессору Е.В. Харанжевскому.

Список публикаций:

[1] Yang L., Bashir R. // *Biotechnology Advances*. 2008. Vol. 26. N 2. P. 135-150.

[2] Xu Y., Xie X., Duan Y., Wang L., Cheng Z., Cheng J. // *Biosensors and Bioelectronics*. 2016. Vol. 77. P. 824-836

[3] Черенков И.А., Харанжевский Е.В., Костенкова И.С. // *Медицинская техника*. 2019. № 6 (318). С. 33-35.

Оценка токсического действия наночастиц на основе железа

Евтина Анастасия Алексеевна

Томский государственный университет

Большаков Михаил Алексеевич

anastasiva10152@gmail.com

Различные наноразмерные частицы (НЧ) обладают рядом преимуществ в качестве фармацевтических систем доставки и как фактора улучшения средств диагностики [1]. Малый размер частиц, варьирующий от 1 до 1000 нм, обуславливает возникновение различных физических, химических, оптических и магнитных свойств [2]. Эти специфические характеристики наночастиц открывают новые и интересные возможности применения таких материалов в различных отраслях медицины, в частности в наномедицине, одной из задач которой является лечение онкологических заболеваний [3]. Однако в настоящее время существует проблема применения НЧ, заключающаяся в элиминации их из организма, возникновении различных токсических эффектов, связанных с поступлением НЧ в кровь и лимфу. Без выведения из организма металлические НЧ способны накапливаться в тканях с последующим их разрушением [4].

В последнее время большое внимание уделяется биологически значимому синтезу железосодержащих НЧ для применения в онкологической наномедицине. Это обусловлено их биологической совместимостью, а следовательно, их биоразлагаемостью, а также физико-химической стабильностью и относительно низкой токсичностью, что в совокупности снижает побочные эффекты различных терапий [5].

В данной работе проводилась оценка токсического действия НЧ на основе железа *in vivo* и *in vitro*. НЧ были получены в лаборатории инновационных технологий Томского политехнического университета (НИ ТПУ) методом электрического взрыва проводника, а затем помещались в реактор с рабочей атмосферой определенного состава для создания новых соединений железа – образец №5; образец № 115. В качестве клеточных линий использовали опухолевые клетки – рака шейки матки (HeLa – Российская коллекция клеточных культур позвоночных, ИНЦ РАН, Санкт-Петербург) и нормальные клетки – фибробласты крысы (3Т3 – Российская коллекция клеточных культур позвоночных, ИНЦ РАН, Санкт-Петербург). Пролиферативная активность клеток оценивалась в режиме реального времени с помощью системы многопараметрического анализа клеточных культур – RTCA iCELLigence (США).

По результатам проведенных экспериментов *in vitro* было показано, что при использовании низких концентраций реакция опухолевых клеток отсутствует (до 70 мкг/мл). Увеличение концентрации до 107 и 140 мкг/мл приводит к торможению роста клеток в среднем на 50-60% (рис.1).

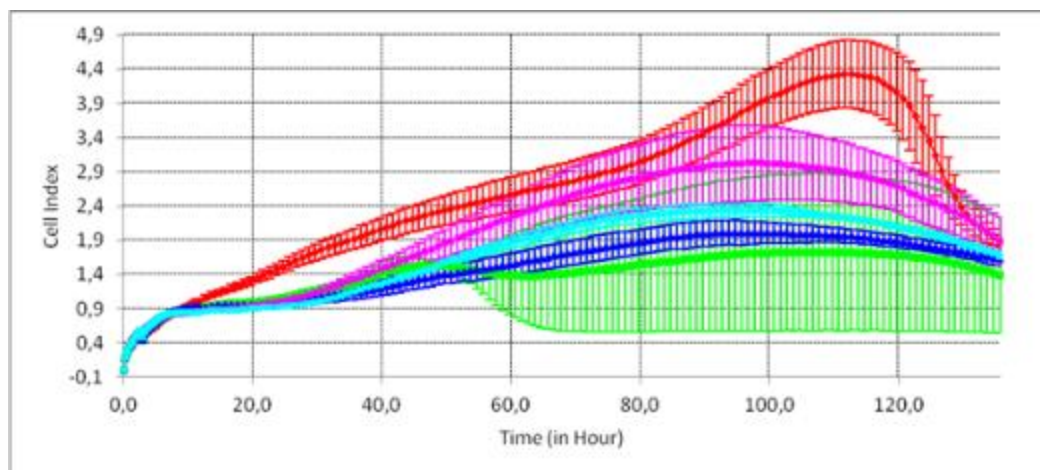


рис.1. Клеточный индекс в клетках HeLa после добавления наночастиц № 5 и 115

Примечание: красная линия – группа контроля; зеленая – наночастицы №5, 107 мкг/мл; синяя – наночастицы №5, 140 мкг/мл; розовая – наночастицы № 115, 107 мкг/мл; голубая - наночастицы № 115, 140 мкг/мл.

Для оценки токсического действия НЧ *in vivo* были проведены эксперименты на мышах линии С57ВL/6. Раствор НЧ вводился внутривенно и внутримышечно в максимальных концентрациях (750 мг/кг) 10-кратно, каждые вторые сутки. За весь период наблюдения не было отмечено случаев гибели экспериментальных животных, кроме того, у мышей данных групп отсутствовали признаки интоксикации железом. После окраски гистологических образцов на гемосидерин по Перлсу в опытных группах не было обнаружено накопления железа в исследуемых органах по прошествии 60 суток от последней инъекции.

Оценка токсичности производилась по подсчету окрашенных точек в программном обеспечении ImageJ, затем производилась статистическая обработка данных (рис.2), по результатам которой было показано выраженное снижение исследуемого показателя.

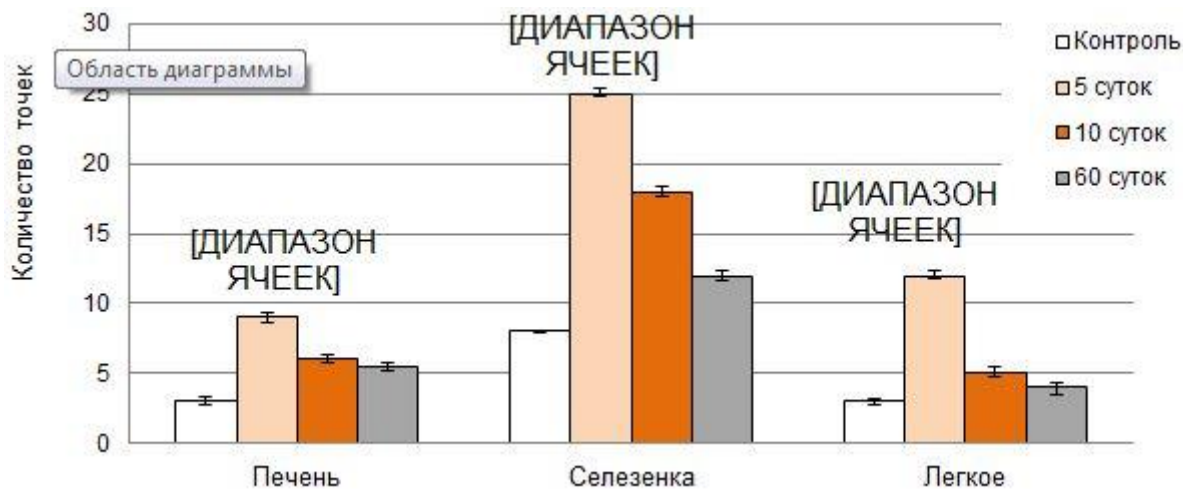


рис.2. Усредненное количество вкраплений на всей поверхности изображения.

Примечание: * – статистически значимые различия при $p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой

Таким образом, данные НЧ не оказывают токсического эффекта в использованных экспериментальных моделях *in vivo*. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования НЧ на основе железа в биомедицинских целях, а также требуют большего количества исследований.

Список публикаций:

- [1] Khan I., Saeed K., Khan I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities // *Arabian Journal of Chemistry*. 2017. Vol. 12. № 7. pp. 908-931.
- [2] Laurent S., Forge D., Port M. & etc Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications // *Chemical Reviews*. 2010. Vol. 110. №4. pp. 2574-2574.
- [3] Su K. P., Liu Z. W., Zeng D. C. & etc Structure and size-dependent properties of NdFeB nanoparticles and textured nano-flakes prepared from nanocrystalline ribbons // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2013. Vol. 46. № 24. pp.1-5.
- [4] Михайлов Г. А., Васильева О. С. Технология будущего: использование магнитных наночастиц в онкологии // *Бюллетень СО РАМН*. 2008. 131. №3. С. 18-22.

Экспериментальная проверка возможности применения метода электронистагмографии для проведения теста импульса головы

Зайцев Василий Андреевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н., Плешков Максим Олегович

vasilysushi@gmail.com

Вестибулярная система человека представляет собой сложную биологическую систему, которая находится во внутреннем ухе и состоит из трех полукружных каналов и двух отолитовых органов с каждой стороны. Вестибулярный аппарат позволяет человеку ориентироваться в пространстве, поддерживать равновесие и стабилизировать взгляд во время движения. Последняя функция реализуется посредством вестибуло-окулярного рефлекса – поворота глаз в сторону, противоположную повороту головы, с одинаковой по величине угловой скоростью, детектируемой при помощи каналов. Различные повреждения и патологии органов внутреннего уха вызывают недостаточность или, порой, полную дисфункцию вестибулярной системы.

Тест импульса головы – один из наиболее распространенных методов диагностики полукружных каналов, а также единственный метод диагностики, который может оценить функциональность всех полукружных каналов. Во время клинического теста происходит быстрый с небольшой амплитудой поворот головы в плоскости одного из каналов, что в свою очередь вызывает вестибуло-окулярный рефлекс. Одновременно с поворотом специалист наблюдает за движением глаз, и при наличии дисфункции каналов и вестибуло-окулярного рефлекса, соответственно, наблюдаются одно или несколько скачкообразных движений глаз, т.н. корректирующих саккад, необходимых для возвращения глаз пациента к точке фиксации.

В настоящее время тест выполняется с применением метода видеоокулографии (ВОГ). Оборудование для ВОГ представляет собой очки с камерой, которая определяет ориентацию оптической оси глазного яблока в пространстве, а также детектирует угловую скорость головы при помощи встроенных гироскопов, например, айтрекер – Otometrics ICS Impulse, Denmark, использованный в данной работе. Несмотря на то, что ВОГ является самым современным и технологичным решением, оборудование для ВОГ имеет очень высокую стоимость, и не каждая медицинская организация может его себе позволить. Кроме того, одной из главных проблем оценки вестибуло-окулярного рефлекса с помощью системы айтрекинга является то, что трудно оценить небольшие, но крайне быстрые и иногда хаотичные движения глаз, связанные с воздействием источника шума внутри самого механизма систем айтрекинга.

Существует другой метод фиксации движений глаз – электронистагмография (ЭНГ). Суть метода заключается в снятии миогенных потенциалов с глазных мышц (разработчики ЭНГ-устройства – MPAQ, IDEE, Maastricht University, the Netherlands). Для детектирования горизонтальных движений глаз к лицу пациента прикрепляются три электрода: два крепятся на глазные мышцы, третий выполняет роль нулевого электрода и крепится в области лба. ЭНГ используют для оценки вестибуло-окулярного рефлекса, но в рамках других тестов, таких, как калорический и тест на поворотном кресле.

Преимущества ЭНГ перед ВОГ заключаются не только в более низкой стоимости оборудования, но и возможности регистрации движения закрытых глаз, то есть прибор обладает меньшей чувствительностью к морганиям, отсутствием чувствительности к артефактам освещения и большей частотой регистрации сигнала: 1000 Гц у ЭНГ, против 200 Гц у ВОГ.

В настоящей работе был осуществлен тест импульса головы с помощью ЭНГ. Исследование и запись сигналов проводились одновременно на двух приборах – MPAQ (ЭНГ) и ICS Impulse (ВОГ), для первичного сравнения. На лицо добровольца были прикреплены электроды для ЭНГ, а также были надеты очки ВОГ поверх электродов. Для лучшего контакта электродов с кожей, места их крепления были промыты петролейным эфиром. Калибровка миогенных потенциалов, записанных ЭНГ, на угловое положение глаз была проведена с использованием системы лазерной калибровки ВОГ (15 град.).

Тест импульса головы был проведен опытным врачом экспертом в области вестибулологии на добровольце возрастом 22 года без симптомов вестибулярной дисфункции и дисбаланса. Было проведено 4 поворота головы. Анализ сигналов заключался в сравнении отношения пиковых скоростей движения глаз, полученных с помощью ЭНГ и с помощью ВОГ, к пиковым скоростям движения головы, полученным с помощью ВОГ. Далее, была рассчитана относительная ошибка измерений.

Таким образом, в данной работе продемонстрирована возможность применения ЭНГ для оценки вестибуло-окулярного рефлекса с помощью теста импульса головы.

Результаты исследования послужат основой для разработки методики проведения теста импульса головы с помощью ЭНГ.

Список публикаций:

- [1] Baloh R.W., Kerber K.A. // *Oxford University Press*. 2011. P. 4th ed. 5-20.
[2] Khan S., Chang R. // *Neurorehabilitation*. 2013. Vol. 32. 437-443.
[3] Halmagyi G.M. // *Front. Neurol.* 2017. Vol. 8. № 258. P. 1-23.
[4] Aalto H., Hirvonen T., Juhola M. // *J. Med. Eng. Technol.* 2002. Vol. 26. № 5. P. 217–222.
[5] SIMMONS F. B., PERKINS R. C. // *Calif. Med.* 1964. Vol. 101. № 1. P. 15–18.
[6] Farkashidy J. *Electronystagmography: Its Clinical Application*. 1966. Vol. 94. №8. P. 368–372.

Математическое моделирование структур инвазивной карциномы, состоящих из небольшого числа клеток

Красняков Иван Васильевич

Брацун Дмитрий Анатольевич, Писмен Лен Михайлович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Брацун Дмитрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

krasnyakov_ivan@mail.ru

Одни из недавних работ, посвящённые исследованию рака, говорят о том, что опухоль не является однородным скоплением перерождённых клеток, которые претерпевают неконтролируемую пролиферацию. Опухоль представляет собой своеобразный орган (или даже организм), который живёт по своим собственным законам. В обзорной статье [1], которая является программной в этом смысле, подчёркивается гетерогенный характер опухоли. Происходит внутриопухолевая дифференциация клеток по группам, которые выполняют определённые специфические функции. Более того, даже клетки одного типа могут образовывать структуры (пространственные конфигурации), которые помогают опухоли коллективно защищаться от различного рода терапий, а также повышают потенциал к метастазированию. Таким образом, при разработке лекарственных препаратов необходимо учитывать, что рак представляет собой сложную самоорганизующуюся систему, которая может адаптироваться к изменению внешних условий и менять свою линию поведения.

Важную роль в переключении карциномы на различные структурные типы инвазии играет эпителиально-мезенхимальный (ЭМ) переход. ЭМ–переход – это процесс, в ходе которого эпителиальные клетки постепенно трансформируются в мезенхимоподобные клетки и теряют свою эпителиальную функциональность и характеристики. Сам по себе ЭМ–переход является стандартным процессом, который происходит каждый раз, когда клеточной ткани требуется какое-то интенсивное движение. Например, переход наблюдается при заживлении ран, морфогенезе органов или фиброзе [2]. В этом случае клетки эпителиальной ткани должны сменить фенотип с эпителиального на мезенхимальный, т.е. фенотип ещё не дифференцировавшейся клетки, не встроенной в определённую ткань. Такой переход позволяет эпителию приобрести необходимую подвижность и гибкость в решении поставленной перед ним организмом задачи (заживление раны). После окончания процесса клетки совершают обратный МЭ–переход и ткань восстанавливает своё равновесное состояние. Известно, что ЭМ–переход сопровождает развитие опухоли, так как способствует её быстрому росту. В процессе ЭМ–перехода у злокачественных клеток, которые располагаются на инвазивном фронте опухоли, происходит разрушение десмосомы (десмосомы обеспечивают прочное соединение клеток). В результате, клетки становятся способными к перемещению, что приводит к последующему метастазированию.

В работе [3] было исследовано образование опухолевых структур, состоящих из большого числа клеток. Данная работа посвящена построению математической модели гетерогенной инвазивной карциномы, которая состоит из клеток разного фенотипа. Предполагается, что фенотип любой клетки при определённых условиях может динамически изменяться в ходе ЭМ–перехода и обратного к нему. Целью данной работы является исследование морфологических структур, которые возникают в ходе коллективной инвазии малых групп клеток карциномы (трабекулярная, тубулярная структуры и дискретные группы клеток). Сравнение этих структур с данными гистологических исследований, а также возможна классификация структур с помощью Шварц–преобразования.

Список публикаций:

- [1] Tabassum D. P., Polyak K. *Tumorigenesis: it takes a village*. // *Nat. Rev. Cancer.*, 2015. Vol. 8. P. 473–483. – DOI: 10.1038/nrc3971
[2] Stone, R. C., Pastar, I., Ojeh, N. et al. *Epithelial-mesenchymal transition in tissue repair and fibrosis* // *Cell and Tissue Research*, 2016, P. 495–506. – <https://doi.org/10.1007/s00441-016-2464-0>
[3] Bratsun D.A., Krasnyakov I.V., Pismen L.M. *Biomechanical modeling of invasive breast carcinoma under a dynamic change in cell phenotype: collective migration of large groups of cells* // *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 2019. – <https://doi.org/10.1007/s10237-019-01244-z>

Динамика молекулы ДНК в среде с большой вязкостью

Низямова Алина Рамилевна

Башкирский государственный университет

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

alya.nizyamova.96@mail.ru

Исследование динамики ДНК представляет собой важную фундаментальную и прикладную задачу. Особенно актуальным является моделирование нелинейной динамики внутренних движений большой амплитуды – так называемого «открытого состояния» (open state), возникающего в процессе функционирования молекулы ДНК. Одной из наиболее удачных моделей, описывающих возникновение и эволюцию открытого состояния, является модель, в которой основной вклад в динамику дают вращения азотистых оснований вокруг сахаро-фосфатного остова [1]. Такие модели приводят к уравнениям типа синус-Гордон, их модификациям и системам таких уравнений. В случае однородной асимметричной двухцепочечной модели молекулы ДНК уравнения движения имеют следующий вид:

$$I_1 u_{tt} - k_1 a^2 u_{zz} + V_1 \sin u + \gamma_1 u_t - \beta_1 \sin(u - v) = 0$$

$$I_2 v_{tt} - k_2 a^2 v_{zz} + V_2 \sin v + \gamma_2 v_t - \beta_2 \sin(v - u) = 0$$

Здесь u и v – углы поворота оснований вокруг сахаро-фосфатного остова в первой и второй цепочках соответственно; I_1 и I_2 – моменты инерции оснований; k_1 и k_2 – коэффициенты жёсткости сахаро-фосфатных цепочек; V_1 и V_2 – коэффициенты, описывающие взаимодействие комплементарных пар оснований; γ_1 и γ_2 – коэффициенты трения для 1-й и 2-й цепочек соответственно; β_1 и β_2 – константы связи цепочек. Поскольку рассматриваемая система является нелинейной, то нахождение её решений осуществляется, как правило, численно, а коэффициенты трения γ_1 и γ_2 обычно считаются малыми. Решения эти хорошо известны в литературе и имеют вид нелинейных уединённых волн – солитонов и кинков. В то же время в нативных условиях функционирование ДНК происходит в вязкой клеточной среде, что должно накладывать определённые условия на рассматриваемую систему и приводить к изменениям в её динамике. Посмотрим, как могут измениться рассматриваемые уравнения в случае, когда γ_1 и γ_2 соответствуют условиям, достигаемым во внутриклеточной вязкой среде.

Сделаем замену переменных $z = \xi x$, $t = \eta \tau$. Поскольку ξ и η введены нами произвольно, потребуем, чтобы коэффициенты при u_{xx} и $\sin u$ равнялись единице. После несложных преобразований получим, что $\eta = \gamma_1/V_1$, $\xi = a(k_1/V_1)^{1/2}$. Тогда система уравнений предстанет в виде:

$$I_1 V_1 / \gamma_1^2 \cdot u_{\tau\tau} - u_{xx} + \sin u + u_\tau - \beta_1 / V_1 \cdot \sin(u - v) = 0$$

$$I_2 V_1 / \gamma_1 \gamma_2 \cdot v_{\tau\tau} - k_2 \gamma_1 / k_1 \gamma_2 \cdot v_{xx} + \gamma_1 V_2 / \gamma_2 V_1 \cdot \sin v + v_\tau - \beta_2 \gamma_1 / V_1 \gamma_2 \cdot \sin(v - u) = 0$$

Оценим коэффициенты уравнений, используя следующие параметры [2]:

1) для пары C-G $I_1 \sim 4 \cdot 10^{-44}$ кг·м², $I_2 \sim 8 \cdot 10^{-44}$ кг·м²,

$$V_1 \sim 2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}, \quad V_2 \sim 3 \cdot 10^{-20} \text{ Дж},$$

$$k_1 \sim 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ н·м}, \quad k_2 \sim 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ н·м},$$

2) для пары A-T $I_1 \sim 7,6 \cdot 10^{-44}$ кг·м², $I_2 \sim 5 \cdot 10^{-44}$ кг·м²,

$$V_1 \sim 2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}, \quad V_2 \sim 1,4 \cdot 10^{-20} \text{ Дж},$$

$$k_1 \sim 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ н·м}, \quad k_2 \sim 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ н·м}.$$

Для оценки коэффициентов диссипации воспользуемся уравнением Стокса: $\gamma = 6\pi\nu r l^2$, где $\nu \sim 10^{-3}$ Па·с для воды, а r и l даны в таблице 1 (по данным [3]).

Таблица 1

в системе СИ	A	T	G	C	среднее
$r, 10^{-10}$ м	2,3	2,0	2,8	2,0	2,3
$l, 10^{-10}$ м	6,4	6,1	6,9	6,1	6,4
$\gamma, 10^{-30}$	1,8	1,4	2,5	1,4	1,8

Получается, что перед второй производной по времени стоит коэффициент, по порядку величины равный $(1...5) \cdot 10^{-4}$ (во всяком случае, не превышает 10^{-3}). Все остальные коэффициенты системы уравнений находятся в пределах 0.5...1. Если пренебречь этим слагаемым по сравнению с другими, то можно перейти к системе типа «реакция-диффузия» вида:

$$u_{\tau} - u_{xx} + \sin u - \beta_1/V_1 \cdot \sin(u - v) = 0$$

$$v_{\tau} - k_2 \gamma_1/k_1 \gamma_2 \cdot v_{xx} + \gamma_1 V_2/\gamma_2 V_1 \cdot \sin v - \beta_2 \gamma_1/V_1 \gamma_2 \cdot \sin(v - u) = 0.$$

Единица времени для этой системы уравнений $\sim 10^{-10}$ с, единица пространственного масштаба $\sim 10^{-9} \dots 10^{-8}$ м. При «традиционном» же обезразмеривании единица времени $\sim 10^{-12}$ с, единица пространственного масштаба такая же, т.е. $\sim 10^{-9} \dots 10^{-8}$ м. Таким образом, учёт трения в рассматриваемой модели позволяет моделировать процессы на временах, на два порядка больших, чем в модели без трения.

Система типа «реакция-диффузия» допускает решения в виде «бегущего фронта» (кинка). Нами была разработана и отлажена программа численных расчётов и по ней получены графики движения кинка в зависимости от начальных данных.

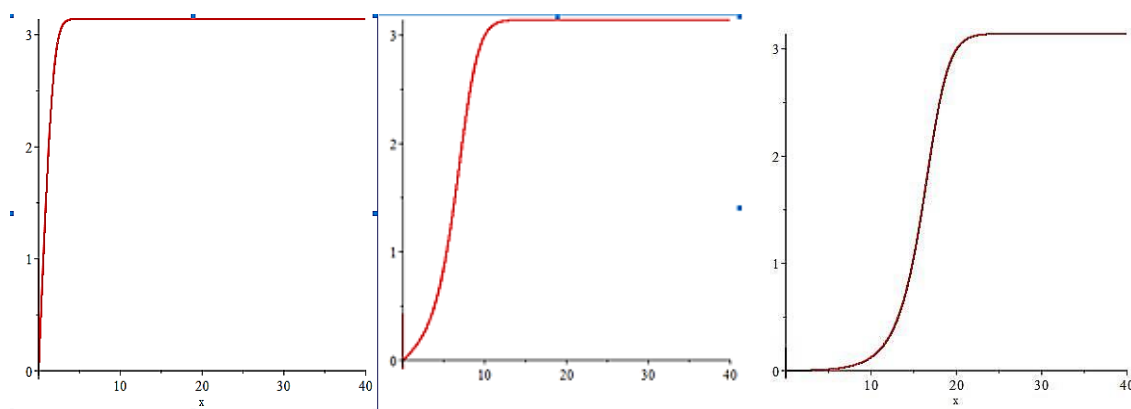


рис. 1. Динамика движения кинка в модели ДНК в вязкой среде

Список публикаций:

- [1] S.W. Englander, N.R.Kallenbach, A.J. Heeger, A. Litwin *Nature of the open state in long polynucleotide double helices possibility of soliton excitations* // PNAS USA 77, 1990-P. 7222- 7220
 [2] Якушевич Л.В. *Нелинейная физика ДНК*. // М.: Издательство ИИЦ «РХД» 2007. 252с.
 [3] Watson J.D. et al. *Molecular Biology of the Gene*. – Pearson. 2004. 755 pp.

Изучение и сравнение электропроводности коротких олигонуклеотидов типа dA, dT и dC методом сканирующей туннельной спектроскопии

Салимова Ильзина Хамидуловна

Башкирский государственный университет

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

ilzina.salimova@mail.ru

В настоящее время внимание ученых привлекают исследования различных объектов методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Например, принцип работы одного из этих методов СЗМ - сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) - основан на явлении туннелирования электронов через узкий потенциальный барьер между металлическим зондом и проводящим образцом, который используется при изучении электропроводности различных материалов.

Одним из наиболее интересных с научной точки зрения объектов, связанных с электрической проводимостью, являются молекулы ДНК и олигонуклеотиды в частности [1]. Олигонуклеотиды – природные или синтетические олигомерные соединения, состоящие из немногих остатков нуклеотидов (мононуклеотидов), соединённых фосфодиэфирной связью [2]. Объектом исследования были олигонуклеотиды d(T)₁₂, d(C)₁₂, d(A)₁₂, состоящие из двенадцати одинаковых звеньев тимина, цитозина и аденина соответственно. Некоторые результаты по олигонуклеотиду d(C)₁₂ были получены ранее [3].

В докладе будут представлены результаты исследования олигонуклеотидов d(T)₁₂, d(C)₁₂ и d(A)₁₂. В качестве проводящей поверхности использовалась подложка из высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ). На нее наносился рабочий раствор с концентрацией молекул олигонуклеотида в нем равной 2 нг/мкл. На *рисунке 1а* приведено СТМ-изображение поверхности ВОПГ с нанесенными на нее олигонуклеотидами d(T)₁₂; площадь сканирования 250x250 нм².

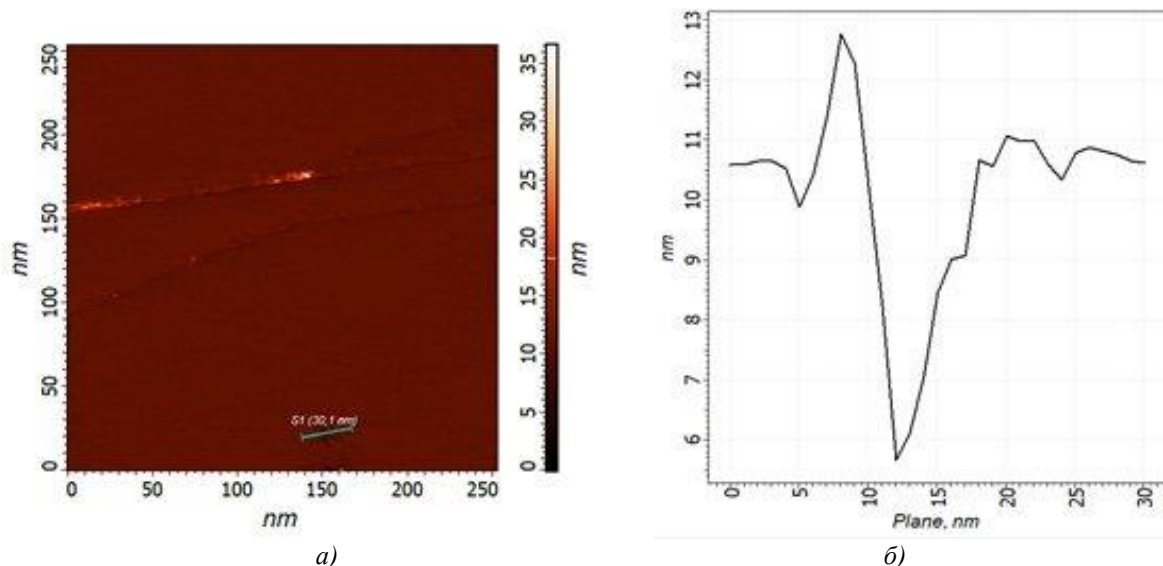


рис. 1. STM-изображение поверхности ВОПГ с нанесенными олигонуклеотидами $d(T)_{12}$ (а) и профиль сечения кластера олигонуклеотида (б).

На STM-изображении наблюдаются кластеры олигонуклеотидов. Выполнили сечение кластера по линии, указанной на рисунке 1б. Как видно из профиля сечения, размеры кластера составляют в ширину около 4 нм, в высоту - около 4,5 нм.

После получения ряда STM-изображений мы измеряли вольт-амперные характеристики, которые представляли собой зависимости силы туннельного тока через олигонуклеотиды от величины приложенного напряжения между подложкой и острием зонда STM. Кривая ВАХ представлена на рисунке 2.

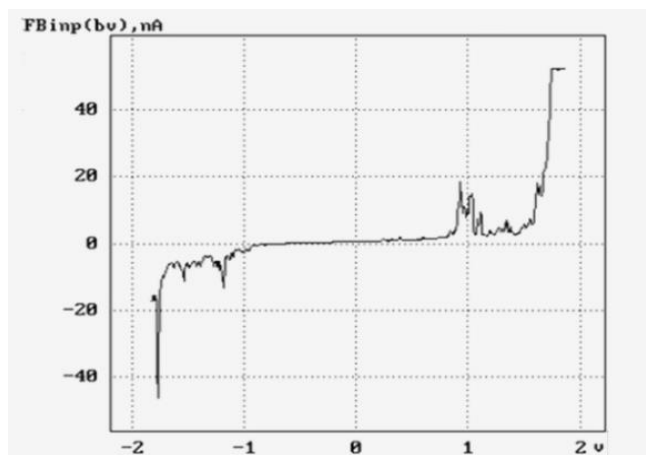


рис. 2. Вольтамперная характеристика олигонуклеотида $d(T)_{12}$.

Измерение ВАХ происходило на темных участках STM-изображения, где предположительно и находятся олигонуклеотиды либо образованные ими кластеры.

Список публикаций:

- [1] Салимова И.Х., Шарипов Т.И. // Проблемы современного физического образования: сборник материалов V Всероссийской научно- методической конференции / отв. ред. Балапанов. М. Х. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – с. 72-73.
- [2] Баев А.А. Молекулярная биология. СПб.: Наука, 1967. - 503 с.
- [3] Sharipov T.I., Garafutdinov R.R., Amangulova I.T., Bakhtizin R.Z. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 699 №1. 012045.

Моделирование взаимодействия конформационных возмущений с носителями заряда в молекуле ДНК

Семерикова Мария Андреевна

Мельников Владислав Юрьевич

Башкирский государственный университет

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

semerikova.mary@yandex.ru

Проблема переноса заряда в молекуле ДНК является чрезвычайно актуальной. Интерес к этой проблеме связан прежде всего с возможностью использования цепочек ДНК в перспективных устройствах нанобиоэлектроники. Экспериментальное исследование динамики переноса заряда в ДНК началось лишь в начале 90-х годов XX в. В настоящее время проведено много различных экспериментов по переносу, интерпретации которых посвящено большое число теоретических работ.

В работе [1] теоретически показано, что при локальном внешнем интенсивном возбуждении решетки ДНК возможно образование бризеров на движущихся фронтах возникшего вследствие нелинейности решетки баббля. Эти бризеры в состоянии захватывать внешний электрон и перемещать его вдоль решетки. Характерное время существования связанного состояния «бризер-электрон» порядка 20–30 периодов осцилляций сайтов решетки. Характерная длина смещения ~ 20 сайтов. Максимальная вероятность обнаружить электрон в движущемся бризере ~ 0.2 .

В данной работе нами рассмотрена динамика переноса заряда в модели молекулы ДНК с учетом трения [2]. Движение описывается уравнениями:

$$\begin{cases} \ddot{U}_n = S(U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1}) - \gamma \dot{U}_n (e^{-\beta U_n} - 1) e^{-\beta U_n} - b_n^2 A \\ \dot{b}_n = r_{n+1} + q_{n-1} b_{n-1} - (r_n + q_n) b_n \end{cases}$$

Начальное конформационное возмущение задавалось в виде солитонной пары «кинк-антикинк», центр которого приходился на 50-й сайт (Рис. 1).

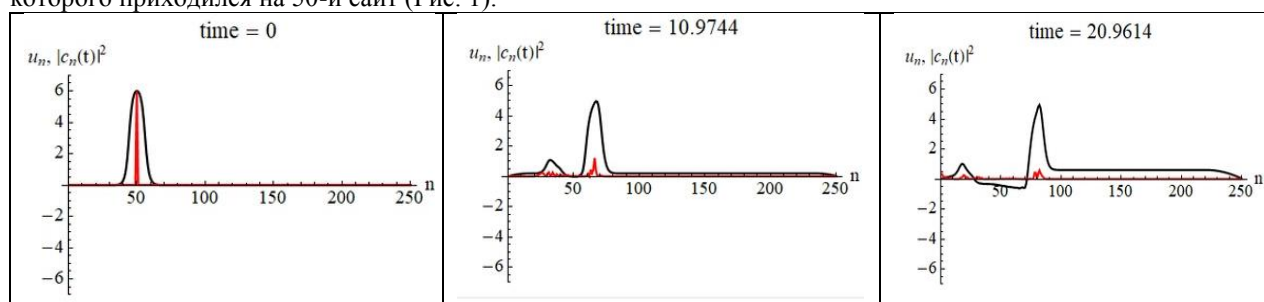


рис. 1. Прохождение заряда в различных моменты времени.

Устанавливая различные значения параметра связности решетки S , а так же коэффициента трения γ , мы наблюдали различные картины прохождения заряда из которых можно сделать вывод, что движение заряда коррелирует с движением конформационного возмущения.

Список публикаций:

[1]. Лахно В.Д., Четвериков А.П. Возбуждение бабблов и бризеров в ДНК и их взаимодействие с носителями заряда. Математическая биология и биоинформатика. 2014. Т. 9. № 1. С. 4–19.

[2]. Закирьянов Ф.К., Мельников В.Ю. Моделирование процесса переноса заряда в молекуле ДНК. Тезисы 26-й международной конференции «Математика. Компьютер. Образование». Пуцино, 28.01.–02.02. 2019. Изд. «Институт компьютерных исследований». Москва, Ижевск, 2019. – с. 36.

Влияние токов утечки на изменение электрического импульса при стимуляции вестибулярных нервов

Суюндукова Алмагуль Туктаровна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

almagul.suyundukova@mail.ru

Вестибулярная система человека является важной сенсорной системой, отвечающей за обработку и передачу в головной мозг информации о положении тела и его перемещении в пространстве. Сенсорные устройства – волосковые клетки вестибулярной системы генерируют последовательность электрических импульсов, частота и амплитуда которых зависят от величины линейных и угловых ускорений головы. Эти

импульсы, через синаптическую связь по нервам поступают в вестибулярные ядра продолговатого мозга и обрабатываются для формирования сигналов, обеспечивающих стабилизацию глаз и тела. Таким образом, рецепторы волосковых клеток конвертируют энергию механических стимулов в серию потенциалов действия, поступающих в центральную нервную систему [1].

В случае, когда заболевания и патологические процессы в органах внутреннего уха [2] приводят к потере сенсорной функции вестибулярного органа, возникает необходимость его замещения биотехнической системой – вестибулярным имплантом (ВИ).

В настоящее время эффективных способов лечения вестибулярной дисфункции не существует, имеется только ряд методик снижающих симптомы заболевания, персональные комплексы активных реабилитационных упражнений, отказ от применения лекарств, негативно влияющих на вестибулярную систему. В свою очередь клинические испытания на животных показали возможность восстановления функциональности вестибулярной системы посредством прямой электрической стимуляции вестибулярного нерва. В этом случае актуальным является нахождение оптимального режима электрической стимуляции вестибулярного нерва, то есть задание формы и амплитудно-частотных параметров импульса тока для улучшения передаточной функции, что рассматривается как актуальная задача, так как ее решение позволяет совершенствовать вестибулярный имплант, а значит и качество жизни имплантированного пациента.

Стимулирующий электрический импульс от электрода, проходя через ткани вестибулярного органа, испытывает влияние импеданса биологической ткани, что приводит к изменению его фазовых характеристик. Следует отметить, что расположение стимулирующих электродов, передающих импульсы тока в афферентный нерв, является одной из важных причин, влияющих на качество импланта, поскольку ткани вестибулярного лабиринта представляют собой сложную по химическому составу проводящую многокомпонентную гетерогенную среду, различающуюся по электропроводным и диэлектрическим свойствам. Кроме того, при подаче импульса тока от вестибулярного импланта на один из электродов, между электродами и вестибулярными нервами возникают токи утечки, которые могут ухудшать качество прямого стимулирующего сигнала.

В связи с этим, целью данного исследования является определение влияния межэлектродных токов утечки на изменение амплитудно-частотных характеристик прямых стимулирующих импульсов от электрода при прохождении их через ткани вестибулярного органа.

Для изучения механизмов распространения токовых импульсов вестибулярного импланта в работе [3] была разработана электрическая схема замещения биологических тканей с учетом анатомической структуры внутреннего уха.

В работе [4] нами показано, что суммарный сигнал, приходящий в ганглию Скарпы на вестибулярный нерв зависит от сигналов, исходящих от всех стимулирующих электродов, амплитудно-фазовые характеристики этого сигнала определяются их векторной суммой. Причиной этого эффекта является наличие токов утечки, которые возникают в электропроводящей ткани вестибулярного лабиринта.

Проведенные нами численные и лабораторные эксперименты на лабораторных животных показали, что между электродами возникают токи утечки при прохождении прямого стимулирующего сигнала от ампул вестибулярного аппарата до окончания вестибулярного нерва. Получены межэлектродные сдвиги фаз для импульсов от трех электродов. Показано, что формирование компенсирующих импульсов тока на соседние электроды с учетом межэлектродных сдвигов фаз дает возможность исключить влияние токов утечки на прямой стимулирующий импульс и улучшить работу вестибулярного импланта.

Результаты исследования получены при поддержке программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

Список публикаций:

- [1] Демкин В. П., Щетинин П. П., Мельничук С. В., Кингма Г., Р. Ван Де Берг, Плешков М. О., Старков Д. Н. // *Известия высших учебных заведений. Физика.* 2017. Т.60. №11. С.152 – 157.
- [2] Lloret-Villas A., Varusai T.M., Juty N., Laibe C., Le Novere N., Hermjakob H., Chelliah V. // *Pharmacol.* 2017. Vol. 6. P. 73 – 86.
- [3] Зуев А. Л., Судаков А. И., Шакиров Н.В. // *Российский журнал биомеханики.* 2014. Т.18. №4. С.491-497.
- [4] Суюндукова А. Т., Демкин В. П., Мельничук С. В. // *III Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (CTS'2019). Сборник докладов. Санкт-Петербург. 30 октября – 1 ноября 2019 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 213 – 215.*

Конформационная динамика ДНК с учетом взаимодействия с белками

Фатихова Фидалия Гайнетдиновна

Башкирский государственный университет

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

fatihova_1997@mail.ru

Изучение динамики ДНК является одним из важных направлений в современной биофизике и биохимии. Это доказывается экспериментальными и теоретическими работами, выполненными в последние несколько десятков лет, прошедших после открытия структуры ДНК.

Молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) представляет собой линейный вытянутый эластичный полимер, составленный из поворачивающихся нуклеотидов. Механическим аналогом такой системы является цепочка связанных маятников. Двойная спираль ДНК моделируется двумя линейными цепочками маятников (азотистые основания), связанных пружинными подвесками (сахарно-фосфатный остов – СФО). Динамика таких систем, и следовательно, динамика модели ДНК описывается уравнениями типа синус-Гордон, их модификациями и системами таких уравнений.

В нашей работе уравнение движения имеет вид модифицированного уравнения синус-Гордона:

$$\psi_{tt} - \psi_{xx} + [1 - k_r R(\xi, x)] \sin\psi = 0$$

где $\psi(x, t)$ – угол поворота основания вокруг СФО, k_r – коэффициент взаимодействия белка с ДНК, $R(\xi, x) = \theta[d^2 - (\xi - x)^2]$ – фактор сопряжения белка с ДНК, θ – функция Хевисайда.

Так как рассматриваемое уравнение является нелинейным, то нахождение его решений осуществлялось численно. Решения эти при $k_r = 0$ хорошо известны в литературе и имеют вид нелинейных уединённых волн – солитонов и кинков. При $k_r \neq 0$ эти решения выглядят более сложно:

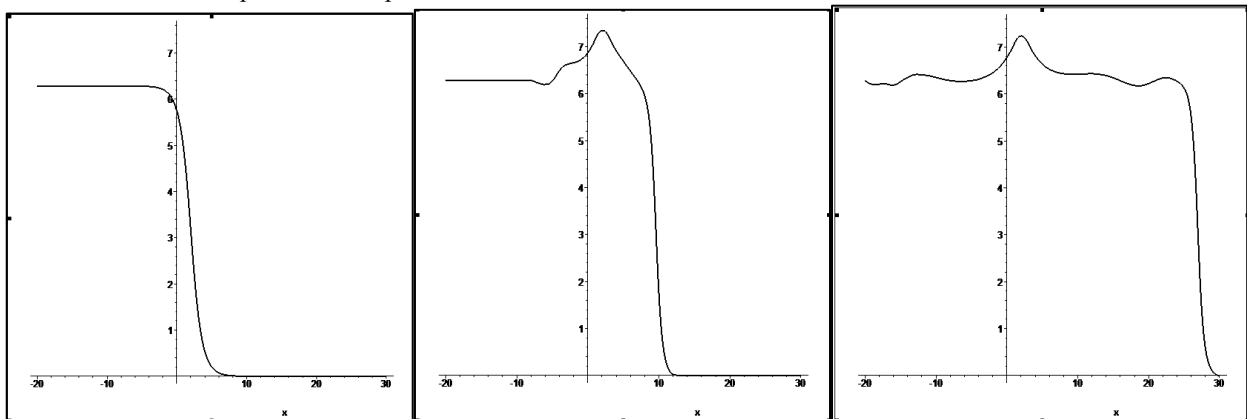


рис.1 Динамика движения кинка в ДНК в различные моменты времени

Таким образом, можно сделать вывод, что учёт взаимодействия ДНК с белком сохраняет качественный вид решения классического уравнения син-Гордона, но вносит небольшие возмущения в профиль решения.

Список публикаций:

[1] Derks, G and Gaeta, G (2011) A minimal model of DNA dynamics in interaction with RNA-Polymerase //Physica D: -2011 //Nonlinear Phenomena, 240 (22), pp. 1805-1817

12 - Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

Бикметова Альфина Рафисовна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Определение элементного состава горных пород по результатам ИНГК-С
Вахитова Гузель Ринатовна, к.т.н.
e-mail: alfina.bikmetova.98@mail.ru стр. 265

Болдырева Виктория Александровна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Вертикальное распределение градиента электрического потенциала в приземной атмосфере в зависимости от значимых факторов: аэрозоли и влажность
Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.
e-mail: georgpu@rambler.ru стр. 266

Габышев Дмитрий Николаевич, н.с.
Тюмень, Тюменский государственный университет, институт экологической и сельскохозяйственной биологии
Конденсация микрокапель воды в электрическом поле при различной температуре
e-mail: gabyshhev-dmitrij@rambler.ru стр. 268

Давлетшин Филюс Фанизович, аспирант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Исследование термогидродинамических процессов при диагностике параметров трещины гидроразрыва нефтяного пласта
Шарафутдинов Рамиль Файзырович, д.ф.-м.н.
e-mail: Felix8047@mail.ru стр. 269

Зотов Леонид Валентинович, доцент
Москва, Московский институт электроники и математики им. А. Н. Тихонова, прикладной математики и физики
Колебания длительности суток LOD: от 6-летних до декадных
e-mail: wolftempus@gmail.com стр. 271

Зотов Леонид Валентинович
Москва, Государственный астрономический институт имени Штернберга МГУ, лаб.гравиметрии
Вращение Земли и геофизические процессы
e-mail: wolftempus@gmail.com стр. 272

Ибрагимова Эвелина Ирековна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Определение интенсивности работы пластов по данным термометрии
Мухутдинов Вадим Касымович, к.т.н.
e-mail: evelina-ibragimova@mail.ru стр. 273

Купинская Анна Игоревна, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Вариации электропроводности приземной атмосферы по результатам измерений на степной и высокогорной станциях ИФА им. А.М.Обухова РАН
Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.
e-mail: georgpu@rambler.ru стр. 274

Нугаева Нурия Мазитовна, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Анализ петроупругих свойств пласта по данным керна и геофизических исследований
Привалова Ольга Разимовна,
e-mail: nurianugaeva2@gmail.com стр. 275

Поповская Татьяна Сергеевна, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Экспериментальные исследования закономерностей трансформации аэрозольного спектра в приземной атмосфере

Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.
e-mail: tanya14011@mail.ru стр. 277

Самарбаева Зульфия Талгатовна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Построение петрофизической модели залежей с трудноизвлекаемыми запасами

Вахитова Гузель Ринатовна, к.т.н.
e-mail: samarbaeva99@mail.ru стр. 278

Шевченко Анастасия Викторовна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Перенос заряда в приземном слое атмосферы в степной зоне и в условиях высокогорья

Панчишкина Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.
e-mail: georgpu@rambler.ru стр. 279

Определение элементного состава горных пород по результатам ИНГК-С

Бикметова Альфина Рафисовна
Бакирский государственный университет
Вахитова Гузель Ринатовна, к.т.н.
alfina.bikmetova.98@mail.ru

Основным методом определения состава горных пород является изучение керна. Однако не всегда в скважинах отбирается керн, и, следовательно, не всегда есть информация о строении пласта, поэтому необходимо изучение и внедрение других способов, таких как импульсный спектрометрический гамма-каротаж.

ИНГК-С является специальным методом исследования скважин. Он реализован в аппаратуре АИНК-ПЛ. Данный вид каротажа позволяет детально описать сложные коллекторы, обеспечивает более высокую точность анализа основных элементов горных пород и предлагает количественное определение органического углерода.

Цель работы – разработка алгоритма обработки данных АИНК-ПЛ и оценка минералогического состава горных пород.

Импульсный спектрометрический нейтронный гамма-каротаж основывается на регистрации гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) и радиационного захвата (ГИРЗ) нейтронов, которые генерируются высокочастотным излучателем. Записанные спектры анализируются, вводятся поправки за наложения и мертвое время, получаются «чистые» спектры ГИНР и ГИРЗ, которые разлагаются на спектры отдельных элементов. Полученные в результате данные (отклики) интерпретируются с учетом данных по керну, определяются весовые концентрации отдельных элементов и подбирается минералогический состав исходя из модельных значений.

Для правильной интерпретации данных ИНГК-С необходимо знать спектры элементов моделей горных пород. Для этого на моделях в первую очередь необходимо выполнить измерения с помощью аппаратуры АИНК-ПЛ. Далее, зарегистрированные в скважине значения спектров отдельных элементов горных пород приводятся к модельным значениям соответствующих элементов.

В работе анализируются данные ИНГК-С, зарегистрированные в скважине X Сорочинского месторождения. Для выполнения исследования был предложен специальный алгоритм интерпретации, с помощью которого в изучаемой скважине были определены весовые концентрации отдельных элементов горных пород (Al, Ca, Fe, Mg, S, Si) по разрезу скважины, после чего результаты были сопоставлены с данными, полученными на керне. Как видно из рисунка (рис.1), результаты интерпретации (кривые, указанные стрелками), хорошо коррелируют с данными, полученными путем рентгенофлуоресцентного анализа керна.

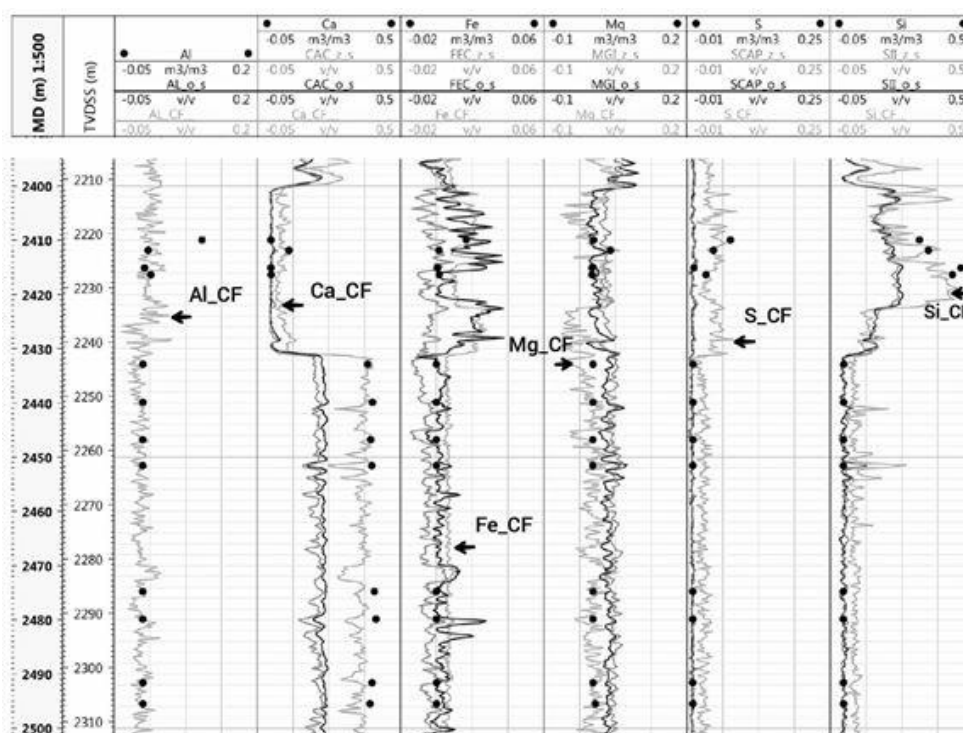


рис.1 Сравнение результатов интерпретации ИНГК-С и РФА керна

Список публикаций:

- [1] James Galford, SPE, John Quirein, SPE, Scott Shannon, SPE, Jerome Truax, SPE, and James Witkowski, SPE, Halliburton - Field Test Results of a New Neutron-Induced Gamma-Ray Spectroscopy Geochemical Logging Tool, SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in New Orleans, Louisiana, USA, 4-7 October 2009.
[2] Стогов Ю.В. Основы нейтронной физики: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 2008. - 204 с.

Вертикальное распределение градиента электрического потенциала в приземной атмосфере в зависимости от значимых факторов: аэрозоли и влажность

Болдырева Виктория Александровна

Поповская Татьяна Сергеевна

Южный федеральный университет

Петрова Галина Григорьевна

georgpu@rambler.ru

В настоящее время в рамках общепринятой в атмосферном электричестве модели глобальной электрической цепи (ГЭЦ) вариации атмосферного электрического поля в любом пункте наблюдений определяются совокупным действием генераторов различного масштаба: глобального, мезомасштабного, локального. Для совершенствования модели ГЭЦ с целью интерпретации результатов измерений параметров электрического поля важен поиск генераторов объёмных зарядов в атмосфере.

Как показывают исследования, выявить процессы, способствующие разделению зарядов в приземном слое, и оценить роль факторов, определяющих формирование объёмных зарядов, помогает типизация вертикальных профилей градиента электрического потенциала вблизи земной поверхности. Целью данного исследования является обнаружение наиболее часто встречающихся типов профилей градиента электрического потенциала вблизи земной поверхности и установление роли различных факторов в формировании структуры электродного слоя.

В настоящей работе продолжены исследования, начатые ранее в условиях засушливых донских степей в рамках летних экспедиций, проводимых Южным федеральным университетом совместно с Институтом физики атмосферы им. А.М.Обухова (ИФА РАН) на Цимлянкой научной станции ИФА. В июле-августе 2018-2019 г.г. аналогичные экспедиции были проведены на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) ИФА, расположенной на плато Шаджатмаз на высоте 2100 метров над уровнем моря. Это позволило осуществить прежний комплекс измерений в принципиально иных физико-географических условиях. В высокогорных экспедициях измерения проводились круглосуточно в течение 7 – 10 дней, исключая дождливую погоду, на обширном ровном поле со скошенным травостоем. При измерениях использовались традиционные для физики атмосферы методы и известные приборы. Градиент потенциала на уровне земли измерялся флюксметрами «Поле-2» системы ГГО им. А.И.Воейкова. Методом радиоактивного коллектора были получены данные о вертикальном распределении электрического потенциала в нижнем 4-метровом слое. Значения градиента потенциала для каждого слоя рассчитывались на основании разностей потенциалов между соответствующими уровнями и расстояний между ними.

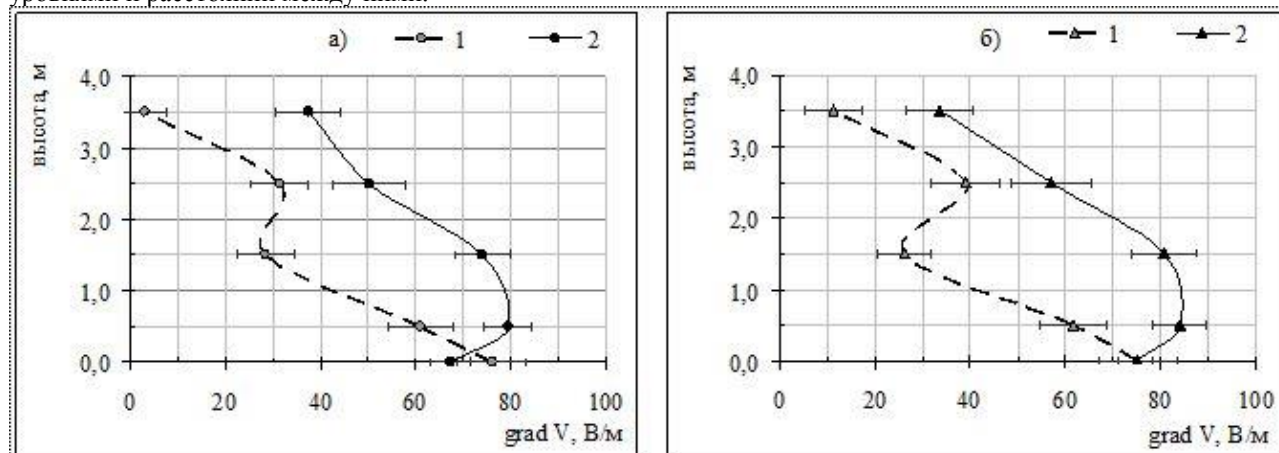


рис. 1. Вертикальные профили градиента потенциала атмосферы, полученные путём осреднения данных, сгруппированных для условий: а) различной влажности воздуха: 1 - более 80%; 2 - менее 65%; б) различного содержания аэрозолей в атмосфере ($d > 0,1$ мкм): 1 – более 500 см^{-3} ; 2 - менее 350 см^{-3} ; (август 2018, Кисловодская высокогорная научная станция ИФА им.А.М.Обухова РАН)

Измерение концентрации аэрозолей в размерных диапазонах 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4-0,5; 0,5-0,7; >0,7 мкм осуществлялось лазерным аэрозольным спектрометром ЛАС-П системы НИФХИ им. Л.Я.Карпова. Ежечасно проводились градиентные измерения метеорологических параметров атмосферы: температуры, влажности воздуха, скорости и направления ветра. Коэффициент турбулентности рассчитывался по методу Л.Р.Орленко. В почвенном газе и атмосферном воздухе измерялась объёмная активность ^{222}Rn , для чего использовался радон-монитор «AlphaGUARD PQ2000 PRO». Полярные удельные электропроводности измерялись приборами «Электропроводность-2» (ГГО им. А.И.Воейкова), а также датчиком Литвинова, сконструированным по методу Гердиена.

При анализе материала экспедиций 2018-2019 г.г. обнаружена закономерная суточная трансформация вертикального профиля градиента потенциала. Корреляционный анализ показал, что значимым фактором в данном случае является относительная влажность атмосферы. Поэтому для совокупности данных 2018 г. были сформированы две группы замеров с различной влажностью. Полученные при осреднении для каждой из групп профили градиента потенциала представлены на рис.1а. На рис.1б показаны вертикальные профили поля при различном содержании в атмосфере аэрозолей. Обращает на себя внимание тот факт, что вид профиля при повышенной влажности аналогичен таковому для высокой концентрации аэрозоля (кривая 1), а профиль при низкой влажности подобен профилю в условиях малой концентрации аэрозольных частиц (2).

Обнаруженная по экспериментальным данным тесная корреляция между концентрацией аэрозолей и влажностью атмосферы свидетельствует о преимущественно конденсационной природе аэрозолей на плато Шаджатмаз, для которого характерна высокая относительная влажность воздуха, частое прохождение через площадку наблюдений на уровне земной поверхности облачных элементов. Коэффициент корреляции с влажностью для аэрозолей всех диапазонов составляет по данным 2018 г. 0,68, а для аэрозолей с диаметром 0,3-0,4 мкм достигает 0,80. В свою очередь, обнаружена тесная регрессионная связь с аэрозолями градиента потенциала на уровне земной поверхности, полученная по сгруппированным данным: $G_0 = 49 + 0,05N$ при $R^2 = 0,93$ (размерность для G_0 В/м, для N - см⁻³). В соответствии с уравнением регрессии, имеет место увеличение градиента потенциала на уровне земли с ростом концентрации аэрозолей в атмосфере, что косвенно свидетельствует о положительном объёмном заряде, дислоцированном на аэрозольных частицах. Следует отметить, что рассчитанное по данным измерений в засушливых условиях Цимлянска в августе 2017 года уравнение регрессии $G_0 = 56 - 0,04N$ (диаметр частиц >0,1мкм) свидетельствует об отрицательном заряде аэрозолей, образованных в результате процессов диспергации (пыль, дым) [1].

При анализе графиков рис.1 можно заметить, что, в целом, для всего исследуемого слоя, наклон профиля поля для ситуации высокой влажности и значительной концентрации аэрозолей больше, чем в ином случае. В соответствии с уравнением Пуассона, этот наклон характеризует плотность объёмного заряда ρ в слое в случае горизонтально однородной атмосферы: $\rho = -\varepsilon_0 \frac{dG_z}{dz}$. Оценка плотности объёмного заряда в слое атмосферы 0-4 метра по вертикальному профилю градиента потенциала даёт для пониженной и повышенной влажности соответственно значения 66 и 162 пКл/м³, для низкой и высокой концентрации аэрозолей соответственно 91 и 142 пКл/м³.

Смирнов [2] на основании экспериментальных данных, полученных в адиабатической камере, обнаружил, что на гигроскопических ядрах могут накапливаться объёмные заряды порядка и более 10^3 элементарных зарядов в см³. При этом знак заряда зависит от химического состава ядер: для нерастворимых ядер (типа пористых кремнезёмов и др.) характерны преимущественно отрицательные заряды (пыль в Цимлянске), для растворимых ядер – положительные (продукты конденсации влаги на высокогорном плато Шаджатмаз). Таким образом, можно предполагать, что фазовые переходы воды, зависящие от температуры, имеют влияние на формирование вариаций электрического поля атмосферы вблизи земной поверхности через аэрозольную компоненту, которая при обводнении частиц заряжена, главным образом, положительно.

Список публикаций:

- [1] Болдырева В.А., Поповская Т.С., Петрова Г.Г. Исследование роли аэрозолей в формировании вариаций электрического поля в приземном слое // Сборник тезисов, материалы Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым): материалы конференции, тезисы докладов: Екатеринбург – Ростов-на-Дону – Крым: издательство АСФ России, 2019. С.338-339
- [2] Смирнов В.В. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 3. С. 321-331.

Конденсация микрокапель воды в электрическом поле при различной температуре

Габышев Дмитрий Николаевич

Тюменский государственный университет

gabyshev-dmitrij@rambler.ru

Связь атмосферного электричества и осадков друг с другом привлекает внимание исследователей уже много лет. Первые лабораторные попытки исследовать капли воды в электрическом поле относятся к началу XX века. Среди прочих вопросов, можно обособить проблему конденсационного роста в электрическом поле и смежные с ней темы, которые интересуют учёных в последние десятилетия всё больше [1, 2]. Такого рода условия складываются в облаках, где напряжённость электрического поля составляет порядка 10^5 В/м, а наиболее интенсивный конденсационный рост происходит в нижней зоне облаков.

Есть много работ, подробно рассматривающих как испарение, так и конденсационный рост капель. Однако, несмотря на всё, прямое наблюдение единичных левитирующих капель в реальном времени как в природных условиях, так и в лаборатории, всё ещё представляет большую методическую трудность. Любые достижения в этом деле вызывают существенный интерес. Для экспериментальной работы с отдельными каплями воды мы использовали технологию капельных кластеров, свободно левитирующих над плоской поверхностью испаряющейся воды из-за давления восходящего паровоздушного течения [3]. Капли самоорганизуются в упорядоченную структуру, близкую к гексагональной и существующую десятки секунд (рис. 1а). Маломобильные капли кластера удобны для визуального наблюдения. Они преодолевают многометровую дистанцию относительно потока, в котором левитируют, и это роднит их с каплями природных осадков, преодолевающими большое расстояние от облака по направлению к земле в ходе гравитационной седиментации. В системе отсчёта, движущейся с терминальной скоростью, капля осадков почти неподвижна, как и капля кластера. В обоих случаях капля немного возмущает набегающий встречный поток, создавая микроскопические завихрения, толкающие её случайным образом. Такого рода случайное колебательное движение было совсем недавно изучено с помощью капельного кластера [4]. Однако наиболее интенсивно сейчас развиваются те микрометеорологические приложения технологии, которые связаны с воздействием электрического поля [5–8].

Экспериментальная установка с конфигурацией электродов, используемых для создания практически однородного электрического поля в области левитации кластера, подробно описана в работе [7]. Нижний электрод, расположенный под подложкой с водой, над которой кластер левитирует, заземлялся, а на верхний подавался потенциал U . Расчёт поля в [5] показал, что напряжённость в районе кластера связана с потенциалом на верхнем электроде формулой:

$$E = \left(\frac{U}{U_0}\right) \cdot 220 \frac{\text{В}}{\text{м}}, \quad (1)$$

где $U_0 = 1$ В. Ранее уже было показано [7], что электрическое поле кратно усиливает конденсационный рост микрокапель, причём скорость роста линейно зависит от приложенного электрического поля E . В текущем исследовании была поставлена задача изучить температурную зависимость скорости конденсационного роста на фиксированном интервале температур. В качестве единицы измерения скорости роста капли по обыкновению принимают величину, равную приращению единицы площади поверхности капли за единицу времени:

$$\dot{S} = \frac{dS}{dt}. \quad (2)$$

Кроме того, удобно использовать относительную скорость $\dot{S}_r = \dot{S} / \dot{S}_0$, где \dot{S}_0 — значение \dot{S} при $E = 0$.

Изображения капельных кластеров снимались при температурах от 50 до 70 °С с шагом 5 °С [8]. Данные были получены в отсутствие электрического поля, а также при $U = 300$ В и $U = 400$ В, что соответствует значениям $0.66 \cdot 10^5$ и $0.88 \cdot 10^5$ В/м, согласно (1). С помощью специально написанной компьютерной программы автоматически распознавалось положение капель и их размер. Далее рассчитывалась скорость роста капель по формуле (2) и это значение усреднялось по центральной группе капель, которая на рис. 1а выделена пунктиром. Экспериментальные точки собраны на рис. 1б и 1в, где они соединены сплошными линиями.

Для теоретического расчета скорости конденсационного роста (пунктирные кривые на рис. 1б и 1в) использовалась кинетическая модель, разработанная в работе [7] на основе подхода, предложенного в [1]. Согласно этому подходу, молекулы водяного пара, попадающие в приповерхностный слой Кнудсена, окружающий каплю, ускоряются в локальном электрическом поле этого слоя. В нашем случае напряжённость локального поля равна векторной сумме напряженностей поля внешнего, поля поляризации капли и поля её собственных электрических зарядов. Одним из источников температурной зависимости в этой модели является наличие такой зависимости для ориентационной поляризации молекул водяного пара в воздухе [2], что не было

учтено в статье [7], где учитывалась только деформационная поляризация. Из-за отсутствия возможности напрямую измерить влажность воздуха в области капельного кластера расчёт начальной скорости при $E = 0$ калибруется по экспериментальным значениям. Подробнее детали расчёта приведены в работе [8].

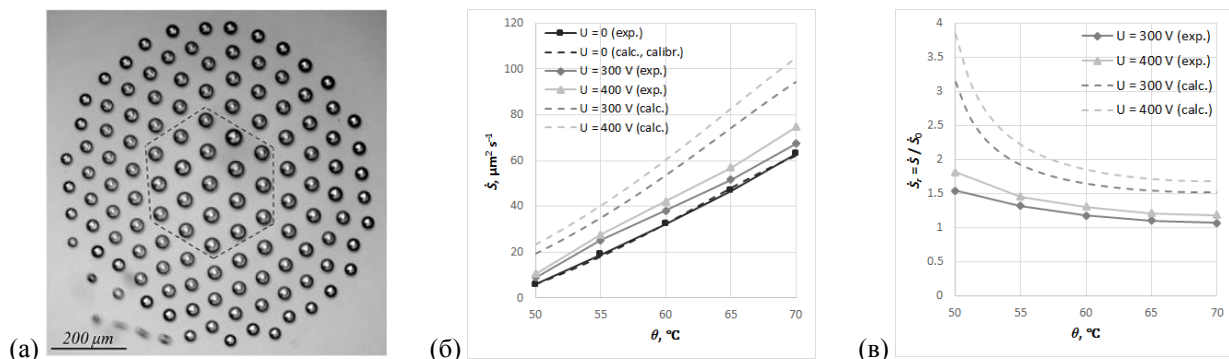


рис.1. (а) Капельный кластер сверху (пунктиром выделена группа, по которой усреднялись измерения) [7]; (б) Абсолютная скорость роста капель \dot{S} , $\mu\text{m}^2/\text{с}$ (точки — из эксперимента, пунктир — из расчета) [8]; (v) Относительная скорость роста капель \dot{S}_r [8]

Расчёт продемонстрировал качественное согласие с экспериментом: совпадает порядок и взаимное расположение кривых. С ростом температуры растёт абсолютная влажность воздуха вблизи кластера, поэтому повышается абсолютная скорость роста его капель (рис. 1б). Однако из-за повышения температуры усиливается хаотичность движения молекул водяного пара, приводящая к уменьшению ориентационной поляризации молекул. Как следствие, уменьшается вклад электро-индуцированной конденсации, который можно вычислить как $\dot{S}_r - 1$ из рис. 1в. На рассматриваемом интервале температур снижение температуры, напротив, повышает значимость электро-индуцированной конденсации в процессе роста капли. В связи с этим мы предполагаем, что электро-индуцированная конденсация играет существенную роль при более низких температурах, в частности, при тех, которые имеют место в облаках. Пролить свет на эту гипотезу в будущем поможет развитие технологии «холодного» капельного кластера, который позволяет генерировать левитирующие капли при температурах ниже 30°C [9], однако на данном этапе определённые технические ограничения пока не позволили применить её напрямую к задаче о конденсации в электрическом поле.

Исследование было выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (МК-819.2020.2) и Госзадания Минобрнауки РФ (FEWZ-2020-0004).

Список публикаций:

- [1] Guerrini A., Murino G. // *Il Nuovo Cimento C*. 1990. V. 13. No. 3. P. 663.
- [2] Singh N., Singh D. // *Indian J. Radio & Space Phys.* 2004. V. 33. No. 1. P. 43.
- [3] Федорец А. А. // *Письма в ЖЭТФ*. 2004. Т. 79. №8. С. 457.
- [4] Fedorets A. A. et al. // *J. Phys. Chem. C*. 2019. V. 123. P. 23572.
- [5] Fedorets A. A. et al. // *Int. J. Heat Mass Transf.* 2019. V. 133. P. 712.
- [6] Fedorets A. A. et al. // *14th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mech. and Thermodyn. (HEFAT-2019)*, Wicklow, Ireland, 2019.
- [7] Gabyshev D. N. et al. // *J. Aerosol Sci.* 2019. V. 135. P. 103.
- [8] Gabyshev D. N. et al. // *Atmos. Res.* 2020 (на рецензировании).
- [9] Fedorets A. A. et al. // *Int. J. Heat Mass Transf.* 2017. V. 113. P. 1054.

Исследование термогидродинамических процессов при диагностике параметров трещины гидроразрыва нефтяного пласта

Давлетишин Филюс Фанизович

Шарафутдинов Рамиль Файзырович

Башкирский государственный университет

Шарафутдинов Рамиль Файзырович д.ф.-м.н.

Felix8047@mail.ru

На сегодняшний день в связи со снижением темпов добычи нефти, ростом осложненного фонда скважин ключевыми задачами нефтедобывающих предприятий являются повышение рентабельности и технико-экономической эффективности эксплуатации скважин. Решение этих задач может быть достигнуто путем своевременного и достоверного геофизического контроля разработки нефтегазовых месторождений.

Одним из наиболее информативных методов, применяемых при контроле за разработкой добывающих и нагнетательных скважин, является термометрия. На сегодняшний день термометрия действующих скважин позволяет решать ряд задач, включающих определение интервалов притока, диагностику продуктивных пластов и технического состояния скважин. Термогидродинамические исследования, базирующиеся на измерении давления, объемного расхода и температуры в стволе скважины, занимают важное место в комплексе геофизических исследований. Применительно к диагностике нефтяных пластов температурные исследования позволяют определять такие параметры пластов, как проницаемость, геометрия нарушенной зоны и др. [1].

В данной работе на основе результатов математического моделирования исследуется формирование полей давления и температуры при неизотермической фильтрации флюида в пласте с трещиной гидроразрыва. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является широко распространенным в настоящее время методом увеличения нефтеотдачи. Для исследования формирования температурного поля в пласте с трещиной ГРП разработана математическая модель, базирующаяся на уравнениях неразрывности, законе фильтрации Дарси и законе сохранения энергии с учетом термодинамических эффектов. Закон сохранения массы при движении флюида в пористой среде записывается в форме уравнения неразрывности, закон сохранения энергии записывается с учетом конвективной и кондуктивной теплопередачи, а также эффектов Джоуля-Томсона, адиабатического расширения и теплоты фазовых переходов.

Проанализировано влияние геометрических и фильтрационно-емкостных параметров трещины на характер изменения во времени температуры жидкости, притекающей в скважину. Показано, что наличие трещины приводит к немонокотному изменению во времени температуры притекающей в скважину жидкости после создания депрессии на пласт. При небольшой длине трещины (до 5 м) ее увеличение приводит к снижению температуры жидкости, поступающей в скважину, поскольку жидкость поступает в скважину через трещину гидроразрыва, градиент давления в которой ниже, чем в пласте. При дальнейшем увеличении длины трещины градиент давления в ней возрастает, поскольку увеличивается приток жидкости из пласта в трещину и скорость фильтрации жидкости в трещине. В результате увеличение длины трещины приводит к росту вклада эффекта Джоуля-Томсона, который определяется градиентом давления, и закономерному росту температуры жидкости, притекающей в скважину.

Показано, что при малой ширине трещины (порядка 1 мм) после кратковременного снижения температуры вследствие адиабатического эффекта наблюдается дальнейший разогрев жидкости благодаря эффекту Джоуля-Томсона, в результате чего притекающая в скважину жидкость со временем нагревается. С увеличением ширины трещины до 5-10 мм после первоначального охлаждения притекающая в скважину жидкость нагревается, после чего вклад эффекта Джоуля-Томсона снижается, обуславливая охлаждение жидкости с течением времени.

Изменение проницаемости трещины приводит к немонокотному изменению температуры во времени. При малых временах с ростом проницаемости трещины температура притекающей в скважину жидкости увеличивается. При больших временах увеличение проницаемости трещины благодаря снижению гидравлических сопротивлений и градиента давления в трещине обуславливает снижение температуры притекающей жидкости вследствие снижения вклада эффекта Джоуля-Томсона, т.е. наблюдается инверсия на температурной кривой. Представленные особенности формирования температурного поля могут быть использованы при оценке параметров трещины гидроразрыва.

Работа выполнена при поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым (2020 г.).

Список публикаций:

[1] Шарипов А.М., Шарафутдинов Р.Ф., Рамазанов А.Ш., Валиуллин Р.А. Исследование восстановления температуры в скважине после прекращения закачки воды в пласт с трещиной ГРП // Вестник Башкирского университета. 2017. Том 22. №1. С. 301–306.

Колебания длительности суток LOD: от 6-летних до декадных

Зотов Леонид Валентинович

Устинов Артем Алексеевич

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ

lzotov@hse.ru

Анализ временных рядов, предоставляемых международной службой вращения Земли показывает наличие квази- 20-, 40- и 60-летних колебаний в них. Являясь откликом на процессы в океане, атмосфере и недрах Земли, будучи следствием обмена угловым моментом между этими оболочками, вариации вращения Земли несут в себе важную геофизическую информацию.

В частности, в рядах продолжительности суток (length of day, LOD) наблюдаются многолетние колебания, согласующиеся с Многолетним атлантическим колебанием АМО, некоторыми тенденциями климата Антарктиды и вариациями напряженности магнитного диполя Земли. Большой интерес привлекают 6-летние колебания LOD, обусловленные, согласно теории, собственными колебаниями ядра Земли. С 2016 года вращение Земли стало неожиданно ускоряться. Является ли это следствием наличия квази-20 летних колебаний и можно ли спрогнозировать, когда ускорение сменится замедлением, – эти и другие вопросы мы обсудим в нашем докладе.

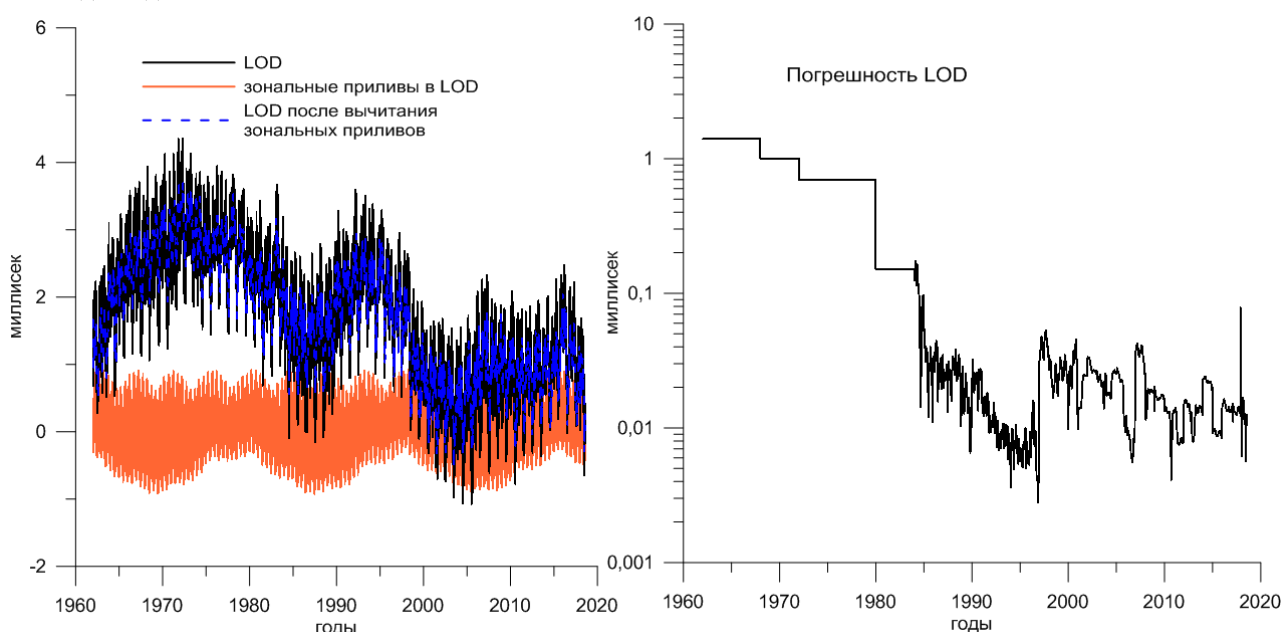


рис.1. Изменения продолжительности суток LOD с 1962 года и модель MCV3 приливных вариаций в LOD (слева); погрешность определения LOD (справа).

Финансирование: доклад сделан при поддержке НИУ ВШЭ, работа выполнялась при поддержке НУГ "Группа оперативного геомониторинга" N 20-04-033 и Китайского гранта по современной геодезии и геодинамике NSFC N. B17033.

Список публикаций:

- [1] Зотов Л.В. Исследование взаимосвязей между вращением Земли и геофизическими процессами. Докторская диссертация, М. МГУ. 2019. Глава 8, Океан как фактор климата и его угловой момент.
- [2] Zotov L., Bizouard C., Shum C.K. A possible interrelation between Earth rotation and climatic variability at decadal time-scale, *Geodesy and Geodynamics*, Vol. 7, Iss. 3, May 2016, pp. 216-222, KeAi, China, doi:10.1016/j.geog.2016.05.005, 2016
- [3] Устинов А.А. Исследование 6-летних колебаний длительности суток. ВКР, МИЭМ НИУ ВШЭ. 2019

Вращение Земли и геофизические процессы

Зотов Леонид Валентинович^{1,2}

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

МГУ им. М.В. Ломоносова

²Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ

lzotov@hse.ru

Доклад посвящен рассмотрению геофизических процессов, вызывающих движение полюса и изменения длительности суток LOD. Классическая теория вращения Земли - уравнения Эйлера-Лиувилля для реальной планеты обобщаются так, чтобы учесть трехосность Земли, ее упругие и вязкие свойства, наличие океана и полюсного прилива в нем. Возможен учет жидкого внешнего и твердого внутреннего ядер. Особенное внимание мы уделим резонансному чандлеровскому движению полюса, методике его выделения и восстановления вызывающих его геодезических возмущений. Угловые моменты атмосферы и океана, вызывая неравномерности во вращении Земли, тщательно исследуются по данным реанализов NCEP/NCAR, ECMWF. На основе измерений гравитационного поля Земли со спутников GRACE анализируются первые коэффициенты разложения гравитационного потенциала в аспекте влияния соответствующего перераспределения масс на вращение Земли. В докладе также обсуждаются методы прогнозирования параметров вращения Земли и различные аспекты связанных с вращением Земли геодинамических явлений, в том числе изменений климата.

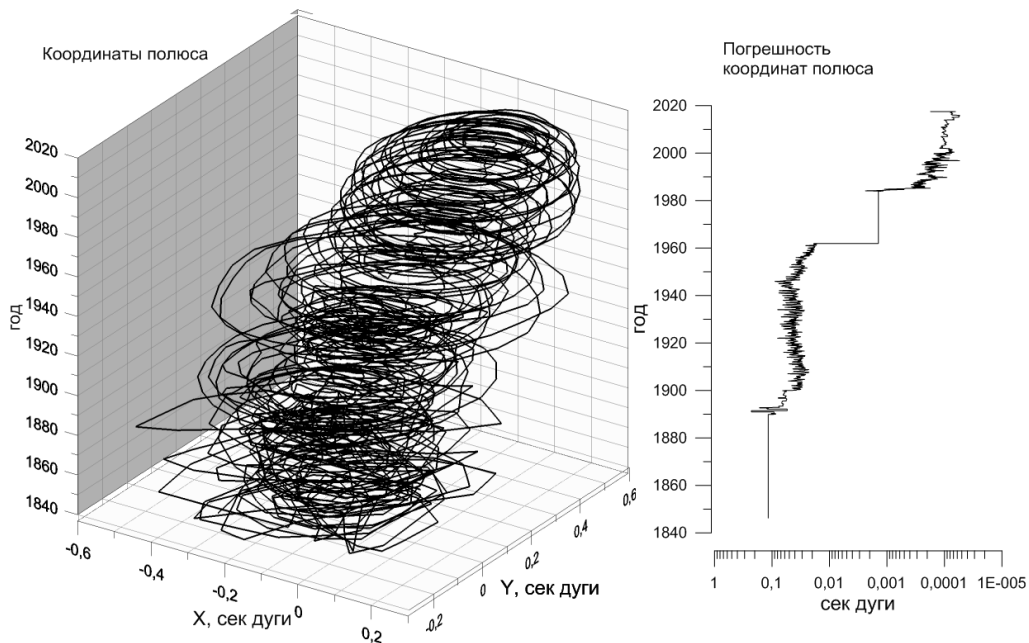


рис.1. Траектория движения полюса вращения Земли (слева) и погрешности определения координат полюса (справа) по бюллетеню IERS C01 Международной службы вращения Земли и Систем Отсчёта.

Финансирование: доклад сделан при поддержке НИУ ВШЭ, работа выполнялась при поддержке НУГ "Группа оперативного геомониторинга" N 20-04-033.

Список публикаций:

[1] Зотов Л.В. Исследование взаимосвязей между вращением Земли и геофизическими процессами. Докторская диссертация, М. МГУ. 2019.

Определение интенсивности работы пластов по данным термометрии

Ибрагимова Эвелина Ирековна

Башкирский государственный университет

Мухутдинов Вадим Касымович, к.т.н.

evelina-ibragimova@mail.ru

В настоящее время в нефтедобывающей промышленности наблюдается рост низкодебитных скважин, в частности, это касается Республики Башкортостан. Как известно, единственной возможностью оценки притока на сегодняшний день является метод РГД, но вследствие дебита ниже $30 \text{ м}^3/\text{сут.}$ вертушка просто не реагирует на поток, соответственно в таких скважинах невозможно оценить интенсивность работы перфорированных интервалов. В данной работе ставится задача по анализу данных термометрии в качестве метода количественной оценки интенсивности притока. В рамках выполнения работы была проведена интерпретация потокометрических исследований в ПО Prime и анализ данных в термосимуляторе Ginego (разработка кафедры геофизики БашГУ). Полученные результаты обработки в термосимуляторе Ginego позволяют получить количественную оценку работы пластов в виде пофазного распределения дебитов работающих интервалов.

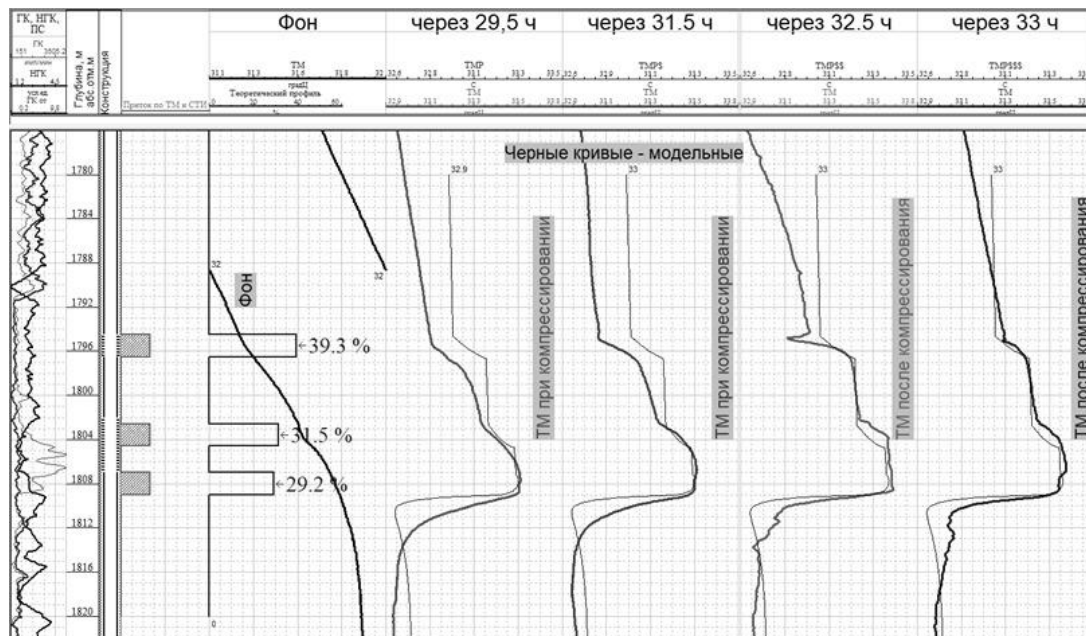


рис.1 Результат сопоставления модельных кривых с исходными термограммами

Симулятор позволяет рассчитывать дебиты для работающих интервалов и в дальнейшем сопоставлять модельные кривые распределения температуры с зарегистрированными в скважине. В используемой модели уравнение сохранения масс фаз предполагает фильтрацию слабосжимаемого флюида и учет закона Дарси. Теплоперенос в горные породы задается одномерным уравнением теплопроводности.

На рис.1 представлено сопоставление исходных термограмм, полученных при компрессировании с различным временем относительно начала притока и рассчитанными модельными кривыми. Совпадение расчётной кривой с зарегистрированной через 33 часа после начала притока свидетельствует о верном подборе параметров пласта и выборе работающих интервалов. Несовпадение кривых зарегистрированных в более ранние периоды времени, возможно, обусловлено немгновенностью регистрации температуры по стволу скважины.

Профиль притока, полученный при стандартной интерпретации данных ПГИ, не давал количественную оценку. Теоретический же профиль, полученный в результате моделирования, отражает интенсивность работы каждого интервала и дает количественную оценку притекающего флюида.

Список публикаций:

[1] Чекалюк Э. Б. Термодинамика нефтяного пласта. – М.: Недра, 1965. 238 с.

[2] Валлиулин Р.А., Рамазанов А.Ш., Хабиров Т.Р., Садретдинов А.А., Башгосуниверситет, НПФ «ГеоТек»; Шако В.В., Сидорова М.В., Котляр Л.А., Московский научный центр Шлюмберже; Федоров В.Н., Салимгареева Э.М., БашНИПИнефть. Интерпретация термогидродинамических исследований при испытании скважины на основе численного симулятора. //SPE-176589-RU

[3] Шарафутдинов Р.Ф., Хабиров Т.Р., Садретдинов А.А. Исследование неизотермического двухфазного течения в вертикальной скважине. //Прикладная механика и техническая физика. 2015. Т. 56. № 2 (330). С. 15-20.

Вариации электропроводности приземной атмосферы по результатам измерений на степной и высокогорной станциях ИФА им. А.М. Обухова РАН

Купинская Анна Игоревна
Шевченко Анастасия Викторовна
Южный федеральный университет
Петрова Галина Григорьевна
georgpu@rambler.ru

По современным представлениям система электрических токов в атмосфере формирует глобальную электрическую цепь. Прохождение тока проводимости через различные атмосферные слои определяется удельной электропроводностью этих слоёв. Кроме того, при прохождении тока проводимости в атмосфере с вертикальными неоднородностями электропроводности формируются слои объёмного заряда, которые влияют на вертикальное распределение атмосферного электрического поля. Это делает исследования закономерностей вариаций электропроводности атмосферы актуальной задачей атмосферного электричества.

В течение целого ряда лет исследования Южного федерального университета проводились в степной зоне, в частности, в период 2014-2017 г.г. на Цимлянкой научной станции Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН в рамках совместных комплексных экспедиций. В период 2018-2019 г.г. экспедиции проведены в иной физико-географической зоне на плато Шаджатмаз (2100 м), где расположена Кисловодская высокогорная научная станция (КВНС) ИФА. Изменение пункта наблюдений позволило провести полевой эксперимент с тем же измерительным комплексом в принципиально иных физических условиях, что позволило расширить пределы варьирования измеряемых параметров и дало возможность сравнительного анализа атмосферных процессов в разных зонах.

Для непрерывной регистрации полярных удельных электропроводностей как в степных экспедициях, так и в высокогорье использовались два прибора «Электропроводность-2» (ГГО им. А.И.Воейкова), сигнал с выхода которых подавался на АЦП, установленный в ПК. Приборы располагались так, что забор воздуха осуществлялся на высоте 1 м и на уровне 5 см от поверхности земли. Кроме того, с помощью гердиеновского датчика системы Литвинова ежечасно измерялся вертикальный профиль полярных электропроводностей, для чего забор воздуха в аспирационный конденсатор производился последовательно с уровней 0,05; 0,3; 0,6; 1 и 2 метра. Цикл измерений на каждой высоте выполнялся в течение 10 минут. Синхронно по времени и пространству посредством радон-монитора «AlphaGUARD PQ2000 PRO» измерялся вертикальный профиль объёмной активности радона-222. Еще один такой же радон-монитор был установлен на высоте 1 метр для непрерывной регистрации объёмной активности радона. На этой же высоте лазерным аэрозольным спектрометром ЛАС-П системы НИФХИ им. Л.Я. Карпова измерялся спектр атмосферных аэрозолей в размерных диапазонах 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4-0,5; 0,5-0,7; >0,7 мкм. Раз в час проводился цикл градиентных измерений метеорологических параметров. Для подсчета коэффициента турбулентности на основании данных о температуре воздуха и скорости ветра на высотах 0,5 и 2 метра использовался метод Л.Р.Орленко. Градиентные измерения объёмной активности радона-222 в почве с помощью радон-монитора в комплекте с почвенным датчиком к нему позволяли рассчитывать плотность потока радона в атмосферу.

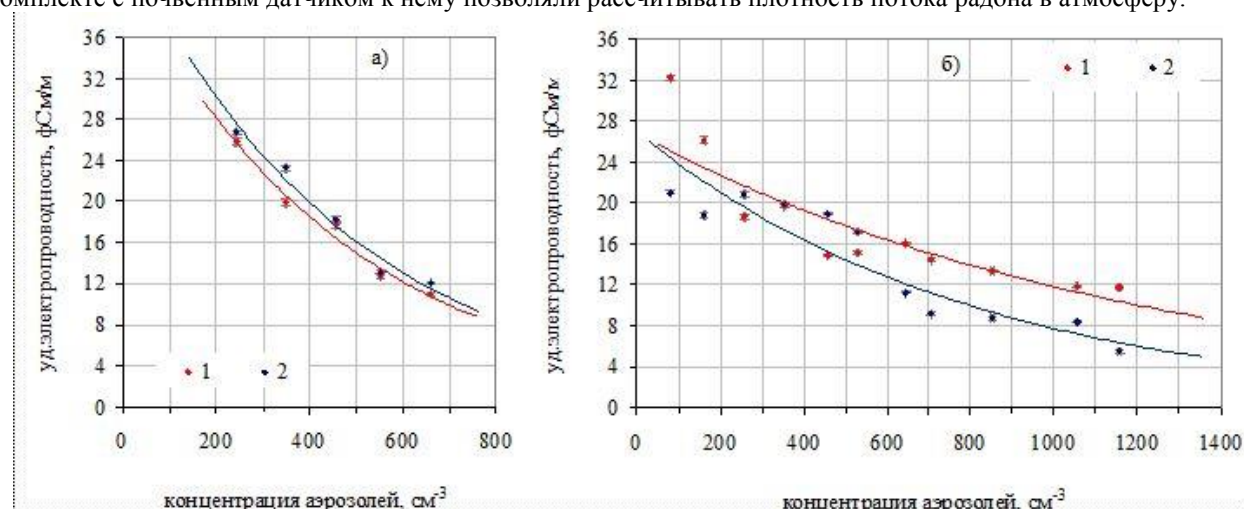


рис. 1. Ряды регрессии положительной (1) и отрицательной (2) полярных электропроводностей атмосферы по значениям концентрации аэрозолей с диаметром более 0,1 мкм на плато Шаджатмаз (2100 м): а) август 2018 - 40 часов; б) август 2019 - 180 часов. Высота расположения датчиков 1 метр.

Как известно, электропроводность атмосферы определяется совокупным действием ионизационно-рекомбинационных процессов в исследуемом слое. Анализ результатов экспедиционных измерений позволил получить регрессионные зависимости полярных электропроводностей от объёмной активности радона-222 (высота датчиков 1 метр). По сгруппированным данным, полученным в Цимлянске в августе 2016 года: $\lambda_- = 15 + 0,2A_{Rn}$, $\lambda_+ = 16 + 0,2A_{Rn}$. На плато Шаджатмаз летом 2019 года: $\lambda_- = 7 + 0,1A_{Rn}$ и $\lambda_+ = 12 + 0,1A_{Rn}$. Здесь A_{Rn} - объёмная активность радона-222, измеренная в Бк/м³, а размерность электропроводности фСм/м.

Значимым фактором для ионного режима является, как известно, содержание в атмосфере аэрозольных частиц, которые адсорбируют лёгкие атмосферные ионы и тем способствуют снижению электропроводности. На рис.1 представлены эмпирические ряды регрессии полярных электропроводностей атмосферы по значениям концентрации субмикронных аэрозолей с размером частиц более 0,1 мкм, построенные по результатам измерений на плато Шаджатмаз в летние месяцы 2018 и 2019 г.г. Экспериментальные данные хорошо аппроксимируются экспоненциальной зависимостью: $\lambda_+ = 27e^{-0,08N}$ ($R^2=0,82$) $\lambda_- = 27e^{-0,12N}$ ($R^2=0,89$). Расчет выполнен для полярных электропроводностей λ_+ и λ_- , измеряемых в фСм/м, и концентрации аэрозолей N в 10⁸ м⁻³. Ранее для Цимлянска по данным 2017 года получены теми же приборами аналогичные зависимости: $\lambda_+ = 24e^{-0,16N}$ ($R^2=0,96$) и $\lambda_- = 18e^{-0,09N}$ ($R^2=0,92$) [1]. Планками на рисунке показаны значения стандартной погрешности (ошибка репрезентативности)

Анализ вертикальных профилей полярных электропроводностей, полученных для плато Шаджатмаз впервые по результатам измерений 2019 года, показывает, что особенностью этого пункта наблюдений является следующая ситуация. В часы наблюдений со слабым ветром и низкой температурой и, как следствие, слабым перемешиванием атмосферы, когда повышается содержание радона-222 в атмосфере, имеет место интенсивное образование аэрозолей вследствие конденсации водяных паров. Итогом является то, что два значимых фактора влияют на ионный режим в противоположных направлениях, что и определяет вариации электропроводности атмосферы.

Таким образом, исследования показывают, что электрические процессы в приземной атмосфере тесно связаны с её термодинамикой и условиями перемешивания. Действие таких значимых для ионного режима атмосферы факторов, как радиоактивные эманации и аэрозоли, проявляются в разных пунктах по-разному в зависимости от особенностей физического состояния атмосферы и подстилающей поверхности. В то же время вид и параметры регрессионных уравнений, связывающих электропроводность атмосферы с факторами ионизационно-рекомбинационных процессов, для разных пунктов наблюдений идентичны.

Список публикаций:

[1]Болдырева В.А., Кутинская А.И. // *Материалы XXIV Всероссийской научной конференции студентов-физиков (ВНКСФ-24)*. г.Томск, 2018. - С.392-393

Анализ петроупругих свойств пласта по данным керна и геофизических исследований

Нугаева Нурия Мазитовна

Башкирский государственный университет

Привалова Ольга Разимовна

nurianugaeva2@gmail.com

Залежи углеводородов высокопродуктивных пластов, открытых в прошлом столетии, в основном, значительно выработаны. Успешное решение проблемы выделения коллекторов с вторичной пористостью разного происхождения стало возможным благодаря включению в комплекс ГИС широкополосного акустического каротажа (АКШ), обеспечивающего регистрацию параметров упругих волн различных типов (продольные, поперечные). Появление многоканальных акустических зондов позволяет повысить точность измерений характеристик волн разных типов [1]. Измерения динамических и кинематических характеристик волн разных типов позволяют провести расчеты упругих параметров среды, таких как коэффициент Пуассона и модуль Юнга [2].

Наличие сведений о характере и структуре порового пространства коллекторов [3], позволяет оптимально выбрать способы ввода их в эксплуатацию и поддержания уровня добычи, прогнозировать устойчивость ствола скважин при бурении и при работе в условиях необсаженного ствола.

Актуальность рассматриваемой в работе проблемы состоит в неполном комплексе геофизических исследований [4], что затрудняет провести анализ петроупругих свойств пласта, так как для моделирования петроупругих свойств необходимы каротажные данные Δt_s , Δt_p и ГГК-п.

Целью данной работы являлось проведение анализа петроупругих свойств пласта в горизонтальной части скважины при неполном комплексе геофизических исследований [5]. Для этого было необходимым провести полный анализ геофизических исследований и анализ данных керна в пилотной части данной скважины, где имеется полный комплекс геофизических исследований, рассчитать петроупругие свойства пласта по формулам для расчета модули Юнга [1] и коэффициента Пуассона [2]:

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (1)$$

$$V = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2)$$

где V_p - скорость продольной волны, м/с, V_s - скорость поперечной волны, м/с, ρ - объемная плотность пород, кг/м³.

По итогам расчета, в пилотной части модуль Юнга составил 50,1 ГПа, коэффициент Пуассона 0,295.

В работе исследовалась скважина, в горизонтальной части которой проведен неполный комплекс ГИС, поэтому было необходимо произвести перенос данных методом восстановления. Для этого были построены зависимости данных из пилотной части скважины: Δt_s от Δt_p , $\Delta t_s = f(\Delta t_p)$ и ГГК-п от Δt_p , ГГК-П = $f(\Delta t_p)$, основываясь на полученные уравнения [3],[4], были восстановлены кривые Δt_s и ГГК-п в горизонтальной части скважины. Также был использован метод экстраполяции кривых, в котором производился перенос замеров Δt_s , Δt_p и ГГК-п из пилотной части скважины в горизонтальную часть скважины вдоль напластования (рис.1), далее, по результатам двух методов, был произведен расчет петроупругих свойств пласта в горизонтальной части скважины по формулам [1], [2].

$$y = 1,743036x + 20,944683, R^2 = 0,877085 \quad (3)$$

$$y = 8,6803x^{-0,232}, R^2 = 0,5196 \quad (4)$$

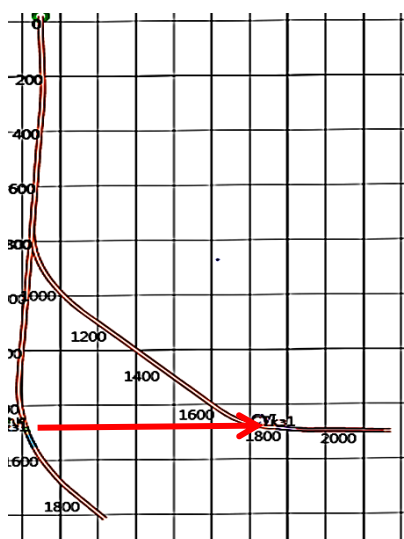


рис.2. Метод экстраполяции, как перенос каротажных данных с пилотной части на горизонтальную часть вдоль напластования

В ходе исследования были получены численные результаты модуля Юнга и коэффициента Пуассона в горизонтальной части скважины, методом восстановления кривых результат модули Юнга составил 47,85 ГПа, коэффициента Пуассона 0,294, методом экстраполяции кривых: модуль Юнга - 49,16 ГПа, коэффициент Пуассона-0,288.

Основной идеей исследования являлось выявление методов восстановления каротажных кривых для корректного моделирования петроупругих свойств пласта при неполном комплексе геофизических исследований. По результатам исследования расхождения петроупругих свойств в пилотной и горизонтальной части скважины не более 5%, что свидетельствует о возможности переноса рассчитанных петроупругих свойств из пилотной части в горизонтальную, при отсутствии полного комплекса ГИС в горизонте. Для подтверждения полученных данных, было проведено сравнение с лабораторными исследованиями над керном из соседней скважины, в котором производился отбор керна из пласта, который исследуется в данной работе, лабораторные значения модуля Юнга составляют 48,8 Гпа, коэффициента Пуассона – 0,32, что свидетельствует о корректной экстраполяции и восстановлении кривых акустического и плотностного каротажа.

Список публикаций:

- [1] Дворкин В.И., Александров С.С., Зиннуров Р.М. Методическое руководство по применению новых геофизических методов в открытом стволе бурящихся скважин - Уфа: УГНТУ, 2008.- С. 91-98.
[2] Оловянный А.Г. Механика горных пород. Моделирование разрушений. - СПб.: ООО «КОСТА», 2012. 280 с.
[3] Привалова О.Р. Создание литолого-петрофизической модели платформенной части Башкортостана для карбонатных отложений верхнего девона-нижнего карбона. Научно-исследовательская работа. - Уфа:БашНИПИнефть, 2018.
[4] Плакс Д.П., Бабец М.А. Разработка месторождений полезных ископаемых - Минск: БНТУ, 2016. 142 с.
[5] Мараев И.А. Комплексная интерпретация результатов геофизических исследований скважин. -М:МГРИ-РГГРУ,2013.95 с.

Экспериментальные исследования закономерностей трансформации аэрозольного спектра в приземной атмосфере

Поповская Татьяна Сергеевна
Болдырева Виктория Александровна
Южный федеральный университет
Петрова Галина Григорьевна
tanya14011@mail.ru

На сегодняшний день физика атмосферных аэрозолей является актуальным и востребованным направлением в комплексе атмосферных наук. Это связано с тем, что атмосферные аэрозоли играют важную роль в быстропотекающих климатических изменениях, в формировании электрического состояния атмосферы. Аэрозолем называется дисперсная система, состоящая из газообразной дисперсионной среды и твердой или жидкой дисперсной фаз, иначе говоря, это взвесь твердых или жидких частичек в газах [1]. Аэрозольные частицы по своему происхождению делятся на естественные (частицы почвы и горных пород, зола от лесных пожаров и сжигания сельскохозяйственных отходов, морская соль и т.д.) и антропогенные (техногенная пыль, образованная при сжигании угля на ТЭЦ, частички сажи в выхлопных газах автотранспорта и т.п.). Понимание механизмов образования и переноса аэрозолей необходимо при интерпретации результатов атмосферно-электрических измерений и при моделировании электрических процессов в атмосфере.

Настоящая работа посвящена исследованию спектров атмосферных аэрозолей, полученных в периоды совместных летних экспедиций Южного федерального университета и Института физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН на Цимлянкой (2017) и Кисловодской высокогорной (2018) научных станциях ИФА. Измерение концентрации аэрозолей осуществлялось в шести субмикронных размерных диапазонах (0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4-0,5; 0,5-0,7; >0,7 мкм) с помощью лазерного аэрозольного спектрометра ЛАС-П системы НИФХИ им.Л.Я.Карпова. В работе рассматриваются закономерности распределения аэрозольных частиц по размерам как в случае ясной атмосферы, так и в зависимости от помутняющих атмосферу факторов: дым, пыль, туман.

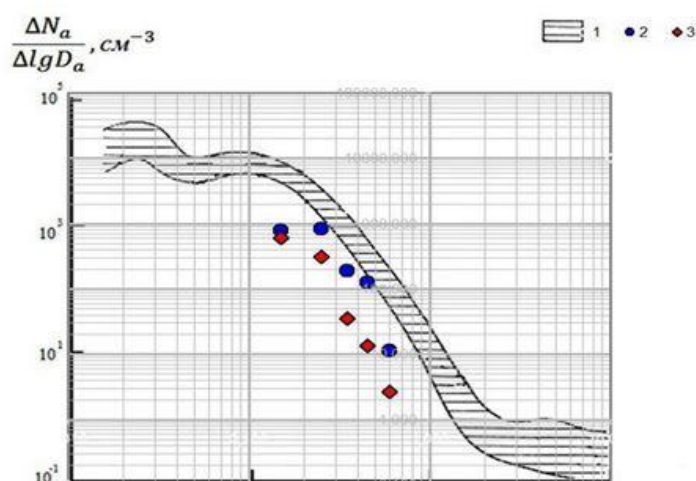


рис.1. Распределение аэрозольных частиц по размерам
1 – фоновый размерный спектр аэрозолей в приземном слое по данным В.В.Смирнова [2]
2 – размерный спектр аэрозолей на плато Шаджатмаз, 2018
3 – размерный спектр аэрозолей в Цимлянске, 2017

На рисунке 1 представлены размерные спектры аэрозольных частиц, построенные для условий ясной атмосферы по результатам экспедиционных измерений на плато Шаджатмаз в августе 2018 года (2) и в

Цимлянске Ростовской области в июле-августе 2017 года (3). Концентрация аэрозолей на плато Шаджатмаз оказалась выше, чем в Цимлянске во всех размерных диапазонах. Для сравнения приведены обобщенные данные, полученные Смирновым В.В. [2] для континентальных пунктов наблюдений (заштрихованная полоса 1). Сравнительный анализ показывает, что в отсутствие помутняющих факторов распределение аэрозольных частиц по размерам в исследуемом диапазоне для Цимлянска и плато Шаджатмаз соответствует фоновому спектру аэрозолей в приземном слое атмосферы с малым содержанием аэрозольных частиц.

В условиях Цимлянска, расположенного в засушливой зоне донских степей, естественные аэрозоли имеют преимущественно дисперсионную природу и представляют собой частицы пыли, образующейся в результате ветровой эрозии почвы, частички дыма степных пожаров и т.п. Для периодов степных пожаров в районе Цимлянска концентрация аэрозольных частиц в среднем превысила таковую для условий ясной атмосферы во всех размерных диапазонах: для самых мелких частиц в 1,5 раза, для диапазона 0,2 – 0,7 мкм в 1,7 – 1,8 раз.

На плато Шаджатмаз термодинамические условия способствуют образованию конденсационных аэрозолей: нередко туманы и ситуации, когда с воздушными потоками через измерительную площадку перемещаются объёмы воздуха с облачными элементами, о чем наблюдатель делает соответствующую пометку. По результатам измерений в 2018 году для таких периодов концентрация аэрозолей в размерном диапазоне 0,1-0,3 мкм в среднем увеличивалась в 1,1 - 1,4 раза, а для аэрозолей от 0,3 до 0,7 мкм в 1,7 - 2 раза.

Таким образом, по результатам наблюдений концентрация атмосферных аэрозолей естественного происхождения в обоих пунктах варьирует в значительных пределах, что необходимо учитывать при анализе атмосферно-электрических данных.

Список публикаций:

[1]Петрянов – Соколов И.С., Сутугин А.Г. Аэрозоли // Москва: Изд-во «Наука», 1989. 142 с.

[2]Смирнов В.В. Ионизация тропосферы. // С.-Петербург: Гидрометеиздат. – 1992. 310 с.

Построение петрофизической модели залежи с трудно извлекаемыми запасами

Самарбаева Зульфия Талгатовна

Башкирский государственный университет

Вахитова Гузель Ринатовна, к.т.н.

samarbaeva99@mail.ru

В настоящее время растет количество месторождений, находящихся в сложных геологических условиях, с трудно извлекаемыми запасами (ТРИЗ), низко проницаемыми и трещиноватыми карбонатными пластами. Вследствие этого построение петрофизической модели таких отложений с ТРИЗ является актуальным.

К трудно извлекаемым относятся запасы нефти в низко проницаемых коллекторах, высоковязкая нефть, остаточные запасы выработанных месторождений, а также подгазовые залежи. Также в список ТРИЗ включают нетрадиционные запасы, и месторождения в удаленных и труднодоступных районах.

Петрофизическая модель является математическим описанием объемного распределения проницаемости, пористости, флюидонасыщенности в пределах данного резервуара.

В данной работе для построения петрофизической модели на 52 образцах керна фаменского яруса, представленных низко проницаемыми трещиноватыми известняками, была получена связь между пористостью и проницаемостью (рис.1), где по оси у отложена проницаемость, а по оси x коэффициент пористости. Как видно, набор связей удалось превратить в математическое уравнение $K_{пр} = 0,0083e^{0,6223Kп}$ с высоким коэффициентом корреляции, которое в дальнейшем было использовано при интерпретации.

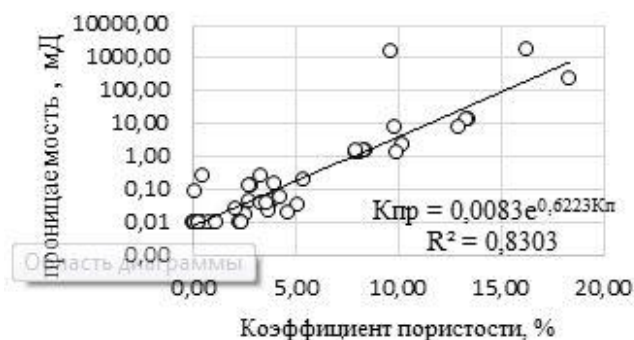


рис.1. Зависимость проницаемости $K_{пр}$ от коэффициента пористости $K_{п}$

Далее в программном комплексе PRIME были сделаны такие работы, как (рис.2):

1. Выделение пластов-коллекторов;
2. Сопоставление данных о пористости коллектора, рассчитанного по методу НК и пористости, полученной в ходе лабораторных исследований керна;
3. Сопоставление данных о проницаемости, рассчитанных по ранее полученному уравнению $K_{пр} = 0.0083e^{0.6223K_{по}}$ и проницаемости, полученной по керну.
4. Как видно из рисунка 2 формы распределений пористости, проницаемость по керну и ГИС совпадают.

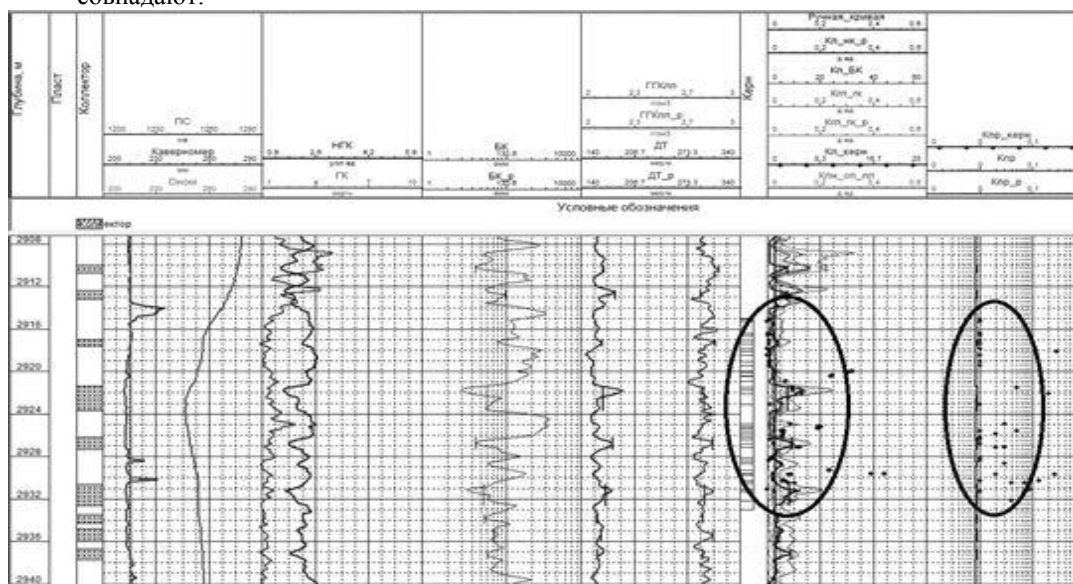


рис.2. Сопоставление данных по ГИС и по керну

Итогами данной работы являются:

- 1) Установлены связи между фильтрационными и емкостными параметрами, как пористость и проницаемость;
- 2) Выполнена интерпретация данных ГИС;
- 3) Сопоставив распределение параметров по керну и ГИС, сделан вывод о том, что формы распределений параметров совпадают

Перенос заряда в приземной атмосфере в степной зоне и в условиях высокогорья

Шевченко Анастасия Викторовна

Купинская Анна Игоревна

Южный федеральный университет

Панчишук Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.

georgpu@rambler.ru

Атмосферно-электрические характеристики (напряженность электрического поля E , удельные полярные проводимости воздуха λ_{\pm} и плотность вертикального электрического тока j) вблизи поверхности земли имеют сложное вертикальное распределение. На вертикальные профили в приземном слое оказывают влияние метеорологические явления, а также близость границы раздела двух сред, являющейся источником ионизирующих излучений и эманаций радиоактивных газов. Теоретическое исследование электрических процессов в приземном слое сопряжено с большими трудностями, связанными с определением граничных условий на уровне земной поверхности, поэтому экспериментальные исследования играют важную роль. При одновременном измерении всех основных атмосферно-электрических элементов можно получить информацию о процессах глобального или локального характера, протекающих в приземном слое.

В атмосферном электричестве выделяют условия «хорошей погоды», которые предполагают отсутствие гроз, осадков, метелей, туманов, ограничение скорости ветра, баллов облачности, а также амплитуды и частоты колебаний напряженности электрического поля. Предполагалось, что при условиях «хорошей погоды» и при отсутствии аэрозольных частиц, в приземной атмосфере отсутствуют локальные генераторы электрического поля, и электрическое состояние атмосферы определяется действием глобальных генераторов. В этих условиях плотность тока проводимости не изменяется с высотой и на поверхность земли ионы попадают только под

действием электрического поля. Однако при измерениях в условиях «хорошей погоды» в различных пунктах наблюдений было обнаружено, что плотность тока проводимости вблизи земной поверхности изменяется с высотой [1].

В настоящей работе рассматриваются профили плотности тока проводимости в пунктах с различными физико-географическими условиями. Для анализа использован экспериментальный материал, полученный в период летних экспедиций физического факультета Южного федерального университета в степной зоне (пункты Ростовской области) и условиях высокогорья (плато Шаджатмаз, высота над уровнем моря 2100 м). Измерение полярных удельных электропроводностей осуществлялось прибором Гердиена на высотах 0,05, 0,3, 0,6, 1, 2 м. Одновременно измерялись значения потенциала атмосферы в слое до 3 м, по которым рассчитывался профиль напряженности электрического поля. По ежечасным градиентным измерениям скорости ветра и температуры воздуха рассчитывались параметр стратификации атмосферы и коэффициент турбулентной диффузии для исследуемого слоя атмосферы [2].

Значения плотности тока проводимости j_λ на разных уровнях рассчитывались по результатам измерений удельной электропроводности и напряженности электрического поля.

$$j_\lambda = \lambda E = (\lambda_+ + \lambda_-)E, \quad (4)$$

где λ_+ и λ_- – положительная и отрицательная удельные электрические проводимости атмосферы; $\lambda = \lambda_+ + \lambda_-$ – суммарная электропроводность воздуха; E – напряженность электрического поля.

Обнаружено, что профили плотности тока проводимости, полученные в степной зоне, обнаруживают характерную трансформацию в зависимости от стратификации атмосферы [1]. На рисунке 1 приведены в качестве примера типичные профили тока проводимости для пунктов Ростовской области. В нижнем метровом слое атмосферы при устойчивой стратификации плотность тока по мере удаления от земной поверхности уменьшается (рис.1а, пунктирная линия), а при неустойчивой стратификации j_λ с высотой увеличивается (рис.1в, пунктирная линия). В итоге вблизи земли формируется объемный заряд легких ионов, плотность которого пропорциональна дивергенции вертикального тока проводимости. В результате этого процесса изменяется величина и распределение плотности объемного заряда ρ , существующего в этом слое. При наличии аэрозоля происходит адсорбция заряда легких ионов и появляется суммарный объемный заряд ионов различных подвижностей, который является причиной локальных вариаций электрического поля. При нейтральной стратификации плотность тока проводимости остается постоянной по высоте во всем исследуемом слое (рис.1б, пунктирная линия).

Особенностью профилей плотности тока проводимости, построенных для плато Шаджатмаз (рис. 1а, б, в, сплошные линии), является увеличение плотности тока с высотой в прилегающем к земной поверхности слое для всех типов стратификации. Следует отметить, что наклон профиля увеличивается при переходе от устойчивой к нейтральной, и далее к неустойчивой стратификации. Этот факт, по-видимому, связан с ветровым режимом: лишь в 10% часовых серий измерений на плато Шаджатмаз скорость ветра на высоте 2 м опускалась ниже 1 м/с, в то время как в с.Михайловка Ростовской области такая скорость ветра наблюдалась примерно в половине случаев.

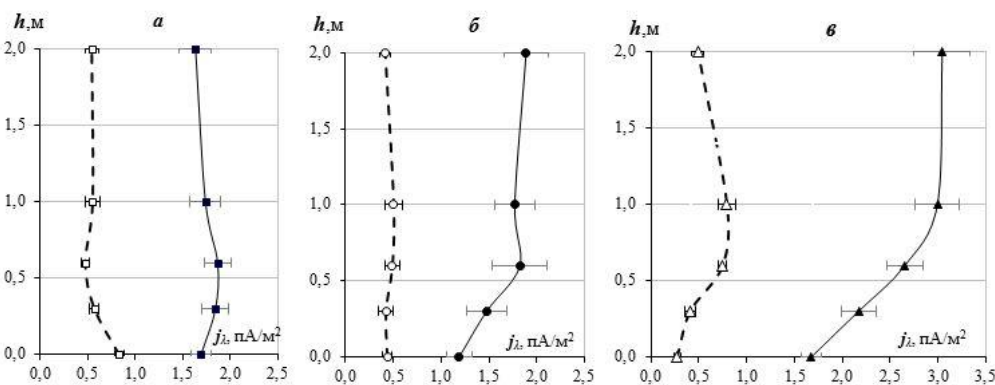


рис.1. Вертикальные профили плотности тока проводимости в степной и высокогорной зонах: с. Михайловка, Ростовской области (пунктирная линия); плато Шаджатмаз (сплошная линия) при устойчивой (а), безразличной (б) и неустойчивой (в) стратификации приземного слоя. Планками показаны значения стандартной погрешности.

Экспериментальные данные о профилях тока проводимости вблизи земной поверхности качественно согласуются с рассчитанным по численной модели профилем для неустойчивой стратификации. Однако, для нетурбулентного случая обнаруживается несоответствие экспериментальных данных о процессах переноса заряда в атмосфере с результатами теоретических расчетов для классического электродного эффекта.

Список публикаций:

- [1] Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.И. // Геомагнетизм и аэрономия, 2017, том 57, № 3, с. 376-381
 [2] Орленко Л. Р. // Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 270 с

13 - Акустика

Бодня Анастасия Андреевна, 4 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, географии, геоэкологии и туризма
Оценка акустической нагрузки на территории пгт. Массандра

Смирнов Виктор Олегович, к.г.н.
e-mail: bodnya1303@gmail.com стр. 282

Грибков Григорий Андреевич, магистрант 1 года обучения
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, естественно-научного и гуманитарного образования
Механизм излучения дополнительного звука на границе раздела сред, имеющих значения вязкости и теплопроводности

Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.
e-mail: gribkov9607@gmail.com стр. 283

Корецкий Артем Вячеславович, магистрант 1 года обучения
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, естественных наук и гуманитарного образования

Исследование процесса проникновения звуковой волны в открытый торец трубы

Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.
e-mail: koreckii1997@mail.ru стр. 285

Пялов Кирилл Николаевич, аспирант 1 года обучения
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, естественнонаучного и гуманитарного образования

Распределение плотности теплового потока, возникающего на поверхности диска, вращающегося в вязкой жидкости

Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.
e-mail: kir-pyalov@yandex.ru стр. 286

Сошин Савелий Леонидович, 4 курс
Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, институт естествознания и стандартизации

Физические основы и принципы конструирования электромагнито-акустических преобразователей

Савченко Юрий Иванович, к.ф.-м.н.
e-mail: soshin.sl129@gmail.com стр. 288

Фазлетдинов Спартак Уралович, 2 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Численный анализ акустического воздействия на фильтрацию водогазовой смеси

Питюк Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.
e-mail: spartak.fazlet@gmail.com стр. 289

Оценка акустической нагрузки на территории пгт. Массандра

Бодня Анастасия Андреевна

Дубас Виктория Викторовна, Снегур Александр Викторович

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

Смирнов Виктор Олегович, к.г.н., Алексашкин Игорь Владимирович, к.х.н.

bodnya-99@mail.ru

В настоящее время шумовое воздействие рассматривается как один из самых важных и значимых факторов формирования благоприятной городской среды. Проблема негативного воздействия от источников шума (автодороги, промышленные объекты и др.) приобретает особое значение в пределах селитебных территорий, территорий курортов, гостиниц и санаториев, объектов здравоохранения и зон тихого отдыха (парки, скверы). С каждым годом значимость этого фактора неуклонно растет, соответственно, необходим его учет при планировании и реконструкции городской территории. Районом исследования является пгт. Массандра, расположенная в Южнобережной зоне Крыма, где на протяжении длительного временного периода производилось активное строительство объектов жилой застройки, социальной инфраструктуры и курортно-санаторного комплекса. Главной проблемой в образовании акустического загрязнения на анализируемой территории является хаотичность самой застройки, обусловленной отсутствием четкого зонирования территории поселкового пространства в результате невозможности перепланировки исторически сложившегося использования земель, а также отсутствие исследований по допустимой шумовой нагрузке и учета нормативов шумового воздействия на данную территорию. Поэтому, для минимизации негативных последствий и принятия обоснованных решений по выбору мер и мероприятий снижения акустической нагрузки на той или иной территории, важно знать и учитывать уровни шума и их распределение в пространстве.

Цель – оценка и моделирование акустической нагрузки на территории пгт. Массандра в дневной промежуток времени. На основании поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. проведение и анализ замеров уровней шума, полученных в осенне-зимний период;
2. оценка соответствия сложившейся акустической обстановки нормативным уровням звука;
3. расчет и построение картографической модели зон акустического дискомфорта.

Измерения уровней шума проводились в дневное время (с 7 до 23 ч) с ноября по январь 2019-2020 гг. при положительных температурах (+7–+20°C) и влажности воздуха 40-60%. При проведении замеров применялся цифровой шумомер МЕГЕОН-92130 с диапазоном измерений 30-130 дБА. Погрешность измерений составляет до ±1,5 дБА [1].

Для проведения оценки соответствия шумового режима нормативным уровням звука использовали следующую формулу: (1).

$$Y = L_{A_{\text{экв.доп}}} - L_{A_{\text{экв}}} + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (1)$$

где $L_{A_{\text{экв.доп}}}$ – допустимый уровень звука на объекте, дБА; $L_{A_{\text{экв}}}$ – расчетный уровень шума источника на стандартном расстоянии (обычно 7,5 м), дБА; A_1 – снижение шума в воздушном приземном пространстве от $L_{A_{\text{экв}}}$ как функции расстояния и типа поверхности земли, дБА; A_2 ; A_3 ; A_4 – дополнительное снижение шума соответственно при наличии на пути распространения шума экранирующих барьеров; за защитными полосами зеленых насаждений; за счет звукоизоляции оконных проемов, дБА.

Положительное значение Y обуславливает допустимый уровень шумовой нагрузки в расчетной точке, а имеющие отрицательное значение обусловлены необходимостью снижения шумового воздействия на том или ином участке анализируемой территории [2].

На основании проведенных расчётов была построена картографическая модель зон акустического дискомфорта на территории пгт. Массандра (рис.1). В точке, расположенной на ул. Мухина негативное шумовое воздействие нивелируется за счет зеленых насаждений, состоящих из деревьев высотой не менее 5-8 м и кустарников 1,5-2 м с шириной полосы 10 м. Расчетная точка с максимальным отрицательным значением (ост. Нижняя Дружба, Южнобережное шоссе) характеризуется высокой транспортной нагрузкой и отсутствием шумозащитного экранирования жилой зоны, в связи с чем существует острая необходимость в разработке мер и мероприятий по снижению уровня шумового загрязнения. Наиболее благоприятным вариантом является установка вдоль жилых массивов прилегающих к автомагистрали экрана из сборных железобетонных элементов, высотой 4,5 м, для которых характерно снижение уровня звука на 4-14 дБА.



рис. 1. Картографическая модель зон акустического дискомфорта на территории пгт. Массандра

Список публикаций:

[1] Руководство по эксплуатации. Шумомер цифровой МЕГЕОН-92130

[2] Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума / ЦНИИП градостроительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 55 с.

Механизм излучения дополнительного звука на границе раздела сред, имеющих значения вязкости и теплопроводности

Грибков Григорий Андреевич

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.

gribkov9607@gmail.com

В работе О.А. Година [1] исследуется механизм прохождения низкочастотных звуковых волн через границу вода – воздух. При этом показано, что дополнительное излучение звука в воздух возникает за счет взаимодействия с поверхностью раздела неоднородных звуковых волн, возбужденных в воде. Эти волны возникают в том случае, когда точечный источник звука находится в воде на расстоянии $L < 0.5\lambda$, где λ – длина звуковой волны. Акустическая прозрачность границы жидкости – газ также увеличивается при взаимодействии с ней плоских бегущих волн. Это явление наблюдается в случае контакта сред, имеющих конечные значения вязкости и теплопроводности. Впервые решение этой задачи получено в работе [2]. Рассмотрим механизм увеличения акустической прозрачности границы раздела жидкость – газ, который не может быть обнаружен в акустике идеальной среды. Пусть плоская бегущая звуковая волна k_1 , распространяющаяся в жидкости, падает вдоль нормали на плоскую границу жидкость – газ (рис. 1). В связи с тем, что контактирующие среды являются вязкими и теплопроводными необходимо рассмотреть взаимодействие с поверхностью среды, колебательной скорости $u_1 = u_{m1} \cos(\omega t - kz)$, где u_{m1} – амплитуда колебательной скорости и акустической добавки к температуре среды $T_1' = T_{m1}' \cos(\omega t - kz)$, где T_{m1}' – амплитуда акустической добавки среды ω – частота, k – волновое число.

Граничные условия этой задачи имеют вид:

$$u_{m1} = u_{m2}; T_{m1}' = T_{m2}', \quad (1)$$

где u_{m2} – амплитуда колебательной скорости в газе, T'_{m2} – амплитуда акустической добавки к температуре газа.

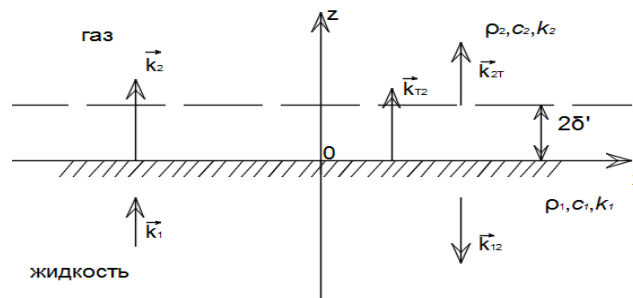


рис.1. Схема расчета: k_1 – падающая волна, k_2 – прошедшая волна, k_{12} – отраженная волна, k_{T2} – неоднородная тепловая волна, k_{2T} – волна, возникшая за счет термоакустического эффекта, $2\delta'$ – эффективная толщина пограничного слоя

Можно показать, что это граничное условие (1) будет выполняться только в том случае, если в верхней среде возбуждается неоднородная тепловая волна

$$T'_2 = T'_{m2} \exp\left(-\frac{z}{\delta'}\right) - \exp i\left(\omega t - \frac{z}{\delta'}\right) \quad (2)$$

где $\delta' = \sqrt{2a_2 / \omega}$ – толщина теплового пограничного слоя, a_2 – температуропроводность газа.

Распространение тепловой волны в газе приводит к генерации звуковой волны k_{2T} , за счет термоакустического эффекта. Амплитуда колебательной скорости генерируемой волны можно рассчитать по следующей формуле:

$$u_{2T} = \sqrt{\pi f a_2} \beta_2 T'_{m2}, \quad (3)$$

Амплитуда неоднородной тепловой волны, распространяющаяся в газе, может быть рассчитана при помощи выражения [2]:

$$T'_{m2} = \left(\frac{\Gamma - 1}{\beta_1 c_1} u_{m1} (1 - R_{pT}) - \frac{\gamma - 1}{\beta_2 c_2} B_{pT} \right) / \left(1 - \sqrt{\frac{\chi_2 \rho_2 c_{p2}}{\chi_1 \rho_1 c_{p1}}} \right), \quad (4)$$

где $\gamma = C_{p2}/C_{v2}$ – коэффициент Пуассона газа, C_{p2} – теплоемкость при постоянном давлении, C_{v2} – теплоемкость при постоянном объеме, Γ – нелинейный параметр жидкости, β – коэффициент объемного теплового расширения, c – скорость звука в среде, χ – коэффициент теплопроводности, ρ – плотность сред, R_{pT} – коэффициент отражения волны по давлению с учетом диссипации энергии в АПС, B_{pT} – коэффициент прохождения волны по давлению с учетом диссипации энергии в АПС. Частотные зависимости коэффициентов R_{pT} и B_{pT} получены в работе [3].

Численная оценка результатов. Нижняя среда – вода, а верхняя среда – воздух при статическом давлении $P_0 = 1,0$ атм и температуре $T_0 = 293$ К. При этом интенсивность звуковой волны k_1 $I_0 = 1,0$ Вт/м², амплитуда колебательной скорости $u_{m1} = 1,16 \cdot 10^{-2}$ м/с, $u_{m2} = 6,4 \cdot 10^{-7}$ м/с. Частотная зависимость амплитуды колебательной скорости $u_{2T}(f)$ волны k_{2T} , показано на рис.2.

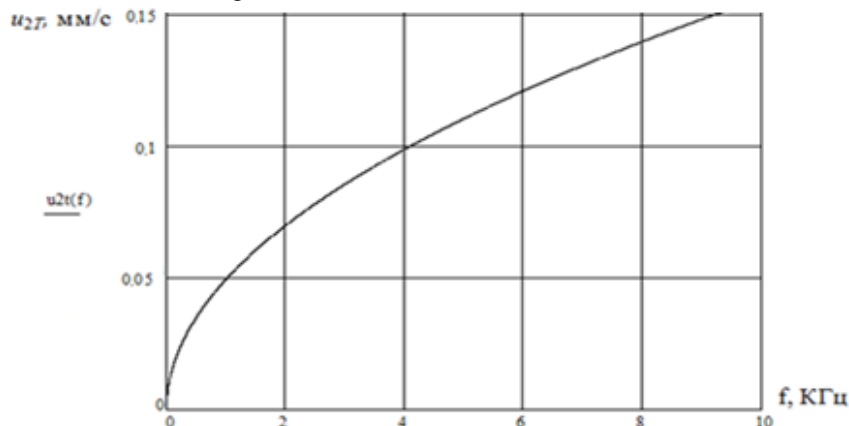


рис.2. Частотная зависимость амплитуды колебательной скорости звуковой волны, появляющейся в воздухе вследствие возбуждения на поверхности воды неоднородной тепловой волны (2)

Из рис. 2 видно, что значения в исследуемом диапазоне частот $u_{2T} > u_{m2}$. Кроме того, значение u_{2T} увеличивается с ростом частоты пропорционально \sqrt{f} . Чувствительность современных микрофонов достаточна для регистрации вторичной звуковой волны k_{2T} , следовательно, она может быть обнаружена экспериментально.

Список публикаций:

[1] Godin O.A. Anomalous Transparency of Water – Air Interface for Low-Frequency Sound // *Physical review Letters*. V.97. 2006. №16. p. 29.

[2] Ф.Ф. Лезуша, К.А. Клубина, Д.В. Никущенко, Е.Ю. Рытов Механизм дополнительного излучения звуковых волн поверхностью жидкости, контактирующей с газообразной средой // *Труды XIV Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»*. – СПб.: Изд-во ЛЕМА.2018. – 652 с.

[3] Лезуша Ф.Ф. Расчет коэффициентов отражения и прохождения плоской волны через границу раздела двух жидких сред с учетом их вязкости и теплопроводности // *Письма ЖТФ*.1982. Т. 8. № 22. С. 1390-1392.

Исследование процесса проникновения звуковой волны в открытый торец трубы

Корецкий Артем Вячеславович

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Лезуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.

koreckii1997@mail.ru

Исследование вопроса волноводного распространения звуковой волны имеет большое значение в науке и технике. Особое внимание при этих исследованиях уделяется изучению физических процессов, возникающих в акустическом поле, возбужденном внутри трубы. Задачей данного исследования является изучение условий, при которых звуковая волна попадает внутрь трубы через открытый торец. Волны распространяются нормально к плоскости отверстия трубы. Рассматриваются случаи, когда отверстие трубы закреплено в бесконечном жестком экране и в фланце конечного размера. Схема расчета (рис. 1)

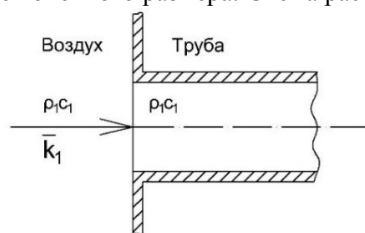


рис.1. Схема расчета

Труба помещена в безграничное пространство, заполненное газом. Звуковые волны, возбуждённые в безграничной среде, одновременно взаимодействуют с концевыми отверстиями трубы. Акустическое поле во внутреннем объёме трубы возникает в результате взаимодействия звуковых волн, проникающих через открытый торец трубы. Параметры и структура этого поля определяются свойствами входных акустических импедансов концевых отверстий. Акустическая энергия, проходящая во внутренний объём трубы, будет пропорциональна коэффициенту поглощения звука

$$D = 1 - |R_p|^2 \quad (1)$$

Коэффициент отражения звука по давлению может быть рассчитан при помощи известного выражения

$$R_p = (Z - \rho c S_f) / (Z + \rho c S_f), \quad (2)$$

где Z – импеданс излучения отверстия трубы, $Z_1 = \rho c S_f$.

Как видно из формул (1) и (2), чтобы найти акустические параметры трубы, необходимо определить входной импеданс открытого отверстия трубы. Задача о нахождении импеданса излучения круглого отверстия, находящегося в бесконечном жестком экране, решена Рэлеем, поэтому воспользуемся его формулой

$$Z = \rho c S_f \left[1 - \frac{2J_1(2\mu_1)}{2\mu_1} - i \frac{2S_1(2\mu_1)}{2\mu_1} \right], \quad (3)$$

где $S_f = \pi R_1^2$; R_1 – радиус отверстия; $J_1(2\mu_1)$ – функция Бесселя первого рода; $S_1(2\mu_1)$ – функция Струве первого рода; $\mu_1 = k_1 R_1$ – волновой размер отверстия; R_1 – радиус отверстия.

Для оценки параметров акустического импеданса открытого отверстия трубы воспользуемся результатами работ Е.Л. Шендерова. Для анализа условий прохождения звуковых волн через поперечное

сечение входного отверстия трубы воспользуемся формулой входного импеданса отверстия, находящегося в жёстком кольцевом экране конечных размеров [1]

$$Z = \rho c S_f \frac{1}{2} \left[1 - \frac{2J_1(2\mu_1)}{2\mu_1} - i \frac{2S_1(2\mu_1)}{2\mu_1} + \frac{4}{\pi\mu_1^2} \int_0^{\mu_2} g(x)G(x)dx \right], \quad (4)$$

где $\mu_2 = k_1 R_2$ – волновой размер фланца; R_2 – радиус фланца.

В случае поршневого источника звука в плоскости отверстия трубы функция $G(x) = x$, а выражение для $g(x)$ принимает вид

$$g(x) = (-ix) / \left(1 + \frac{x^2}{12} - \frac{\mu_2^2}{4} - \frac{2i\mu_2^3}{9\pi} \right). \quad (5)$$

Рассмотрены два крайних случая условий закрепления трубы (1 – труба в бесконечном жестком экране, 2 – труба без фланца, с учетом толщины ее стенок). В рассматриваемом случае $R_1 = 9,0 \cdot 10^{-3}$ м. Параметры воздуха: $c_1 = 343$ м/с, $\rho_1 = 1.205$ кг/м³. Рассматриваемые частоты в пределе от 20 Гц до 15 кГц. Результаты расчёта коэффициента поглощения звука в зависимости от волнового размера входного отверстия трубы μ_1 (рис.2)

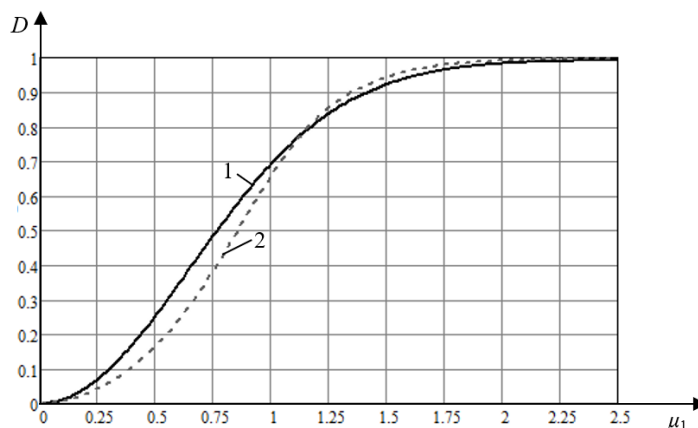


рис.2 – Зависимость от волнового размера коэффициента поглощения звука: 1 – труба в бесконечном жестком экране, 2 – труба без фланца, с учетом толщины ее стенок

На графике (рис.2) можно выделить три характерных области. Если волновой размер отверстия $\mu_1 \leq 0.3$, то звуковые волны не проникают во внутренний объём трубы и, как следствие этого, звуковые волны в трубе вообще не распространяются. В случае, когда $0.3 < \mu_1 \leq 1.4$ звуковые волны проникают внутрь трубы и в результате их взаимодействия в объёме трубы возбуждается акустическое поле, представляющее собой суперпозицию стоячих и бегущих звуковых волн. Звуковая волна входит в отверстие трубы без отражения от его поперечного сечения, если выполняется условие $\mu_1 \geq 1.4$. В этом случае отражённая от входного отверстия волна не возникает и внутри трубы существует только бегущая звуковая волна, имеющая плоский фронт. Продольные резонансные колебания в трубе конечной длины, входные отверстия которой открыты, не возбуждаются.

Список публикаций:

[1] К.В. Невеселова, Г.В. Чижов. Исследования спектра собственных колебаний в объёме цилиндрической трубы с открытыми торцами // XXVII сессия РАО (Санкт-Петербург, 16-18 апреля 2014 г.). – 9 с.

Распределение плотности теплового потока, возникающего на поверхности диска, вращающегося в вязкой жидкости

Пялов Кирилл Николаевич

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.

kir-pyalov@yandex.ru

В технике существует множество машин и механизмов, конструктивные элементы которых выполнены в виде плоских дисков. В силу специфики работы таких систем диски вращаются в вязкой жидкости. Движение дисков сопровождается выделением тепла на их поверхностях за счет сил трения. Задачей данной работы является оценка параметров распределения плотности тепловых потоков по поверхности диска. Схема, вращающегося диска приведена на рисунке 1.

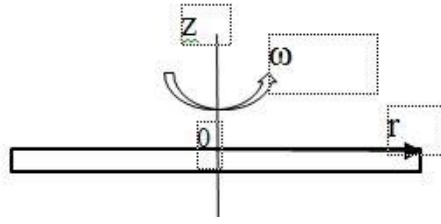


рис.1. Схема вращающегося диска, имеющего радиус R

Впервые задача о движении плоского твердого диска большого радиуса, вращающегося вокруг оси, перпендикулярной его плоскости, была рассмотрена Т. Карманом. Основные результаты решения этой задачи можно найти в книгах [1,2]. Прежде всего, отметим, что при вращении диска в вязкой жидкости вблизи его поверхности образуется пограничный слой, толщина которого может быть определена по формуле

$$\delta = k_d \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}, \quad (1)$$

где $\nu = \eta/\rho$ – коэффициент кинематической вязкости; η – коэффициент динамической вязкости; ρ – плотность жидкости; $\omega = 2\pi f$ – угловая скорость вращения; k_d – постоянный безразмерный коэффициент, имеющий величину порядка единицы.

При вращении диска жидкость, находящаяся в пограничных слоях, в силу выполнения условий прилипания к поверхности твердого тела, покоится относительно поверхности диска и, как следствие этого, вращается вместе с диском. Сила трения, действующая на единицу площади поверхности вращающегося диска по направлению, перпендикулярному его радиусу может быть найдена из выражения

$$\sigma_{z\varphi} = \eta \left. \frac{\partial v_\varphi}{\partial z} \right|_{z=0}. \quad (2)$$

Локальные значения скорости движения жидкости вблизи поверхности диска могут быть определены как

$$v_\varphi = r\omega G(z), \quad (3)$$

где r – расстояние от центра диска до точки, находящейся на поверхности; $v(z)$ – функция, определяющая распределение скорости частиц в жидкости вдоль оси $0z$; значения функции $G(z)$ приведены в [2].

Плотность теплового потока для одной поверхности в точках, находящихся на расстоянии r от центра диска, определяем следующим образом

$$q_d = \sigma_{z\varphi} \cdot v_\varphi = 0.379\rho r \sqrt{\nu\omega^3} \cdot \omega r = 0.379\rho r^2 \sqrt{\nu\omega^5} \quad (4)$$

Выражение (4) записано с учетом того, что $\left. \frac{\partial v_\varphi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0.616$.

На рисунке 2-а представлены результаты расчетов распределения плотности теплового потока q_d вдоль радиуса диска. При проведении расчётов предполагалось, что диск вращается в воде, радиус диска $R = 0,50$ м, частота вращения $\omega = 10$ с⁻¹, температура воды 293 К. Частотная зависимость $q_d(\omega)$ на кромке диска показана на рисунке 2-б. Из графика 2-а видно, что наибольшее значения плотности теплового потока наблюдается на кромке диска, а увеличение частоты вращения диска приводит к нелинейному возрастанию величины плотности теплового потока (см. рис. 2-б).

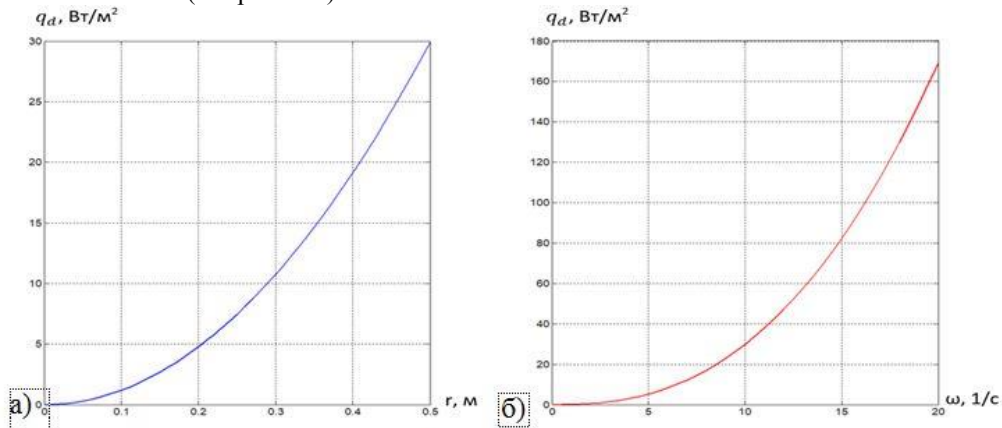


рис.2. Графики результатов расчетов

В результате взаимодействия теплового потока с поверхностью диска должен происходить его разогрев и, как следствие этого, разогрев жидкости, прилегающей к его поверхности. Особенно сильно идёт разогрев кромки диска. Появление тепла вблизи поверхности диска приводит к нагреву его поверхности и слоя жидкости, прилегающему к ней. Следствием этого разогрева должно быть изменение вязкости жидкости и увеличение интенсивности формирования пузырей за счет выделения газа, растворенного в жидкости. Пузыри образуются на поверхности диска и растут в пограничном слое жидкости. В случае, когда диаметр пузыря становится больше толщины пограничного слоя (1) происходит их отрыв от поверхности и возникает излучение звука.

Список публикаций:

[1] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, *Курс теоретической физики. Т. VI. Гидродинамика*, - М: Наука, 1988, - 736 с.

[2] Г. Шлихтинг, *Теория пограничного слоя*, - М: Наука, 1974, - 713 с.

Физические основы и принципы конструирования электромагнито-акустических преобразователей

Сошин Савелий Леонидович

Савченко Юрий Иванович

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Савченко Юрий Иванович

soshin.sl129@gmail.com

В современных технологиях акустического контроля и диагностики, помимо продольных и поперечных волн, используют также нормальные волны, возбуждаемые во всем объеме объекта контроля. Для оценки состояния труб и нахождения в них дефектов, весьма удобно использовать крутильные волны, а так же волны сжатия (может быть вызвана ударом по торцу трубы, однако затухает из-за потери своей энергии).

Возбуждение этих волн с помощью пьезоэлектрического преобразования (ПЭП) малоэффективно, поскольку большая часть энергии приходится на их трансформацию, поэтому используется технология электромагнито-акустического преобразования (ЭМАП) позволяющей значительно упростить возбуждение требуемых волн. Индукционный механизм ЭМАП заключается в возбуждении упругих колебаний (продольных или поперечных в зависимости от направления возникающих скин-токов) в объекте, находящемся в постоянной магнитном поле, при падении на его поверхность электромагнитной волны. Магнитоупругий механизм возбуждения осуществляется за счет передачи колебаний, возникающих в веществе преобразователя в переменном магнитном поле, в объект контроля. Эффективность индукционного механизма ЭМАП описывается соотношением:

$$\varepsilon = \left(\frac{s}{c}\right) \cdot \frac{H_0^2}{4\pi\rho s^2} \quad (1)$$

где s – скорость звука, H_0 – напряженность внешнего магнитного поля, ρ – модуль упругости металла, c – скорость света.

Так как эффективность зависит от напряженности внешнего поля, то необходимо решить следующие задачи:

1) Разработать конструкцию ЭМАП на постоянных магнитах, чтобы достичь максимально возможной величины напряженности магнитного поля.

2) Обеспечить высокую эффективность ε преобразователя.

Для выполнения данных условий мы проанализировали существующие подмагничивающие системы ЭМАП и разработали свой вариант (рис. 1).

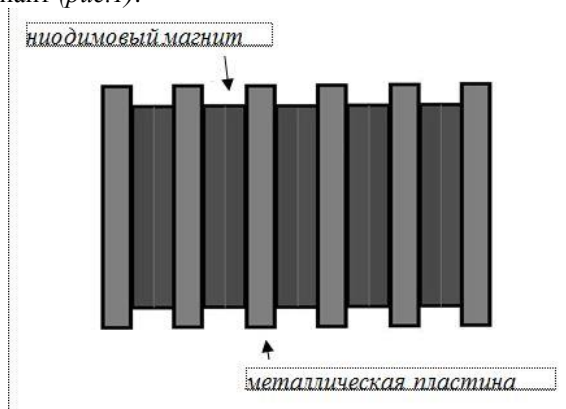


рис. 1. Конструкция подмагничивающей системы преобразователя

Он включает в себя неодимовые магниты, обращенные друг к другу одинаковыми полюсами и металлические пластины, расположенные между ними. Такой подход позволяет увеличить количество выходящих на поверхность системы силовых линий магнитного поля, а так же его индукцию. Это приводит к росту напряженности H_0 и эффективность преобразования энергии в колебания возрастает. В созданной нами системе, согласно проведенным измерениям, удалось добиться повышения эффективности преобразователя благодаря увеличению индукции поля в 4 раза.

Численный анализ акустического воздействия на фильтрацию водогазовой смеси

Фазлетдинов Спартак Уралович

Фахреева Регина Рафисовна

Башкирский государственный университет

Питюк Юлия Айратовна

spartak.fazlet@gmail.com

Одним из эффективных способов оптимизации процесса разработки является комплексное последовательное воздействие акустическим полем на скважину и продуктивный пласт [1,2]. Более того, во всем мире наблюдается устойчивый рост промыслового применения технологий водогазового воздействия (ВГВ) на пласт [3]. В работе проведен анализ фильтрационных процессов в пласте при водогазовом и акустическом воздействии одновременно.

Целью данной работы является изучение влияния акустического воздействия на эффективность нефтедобычи на основе численного анализа методом контрольного объема [4]. Рассматривается одномерная плоская математическая модель, описывающая процесс неизотермического вытеснения нефти газированной жидкостью в элементе пористой среды с пористостью 0.18. В исследуемом образце длиной $L=100$ м одновременно находятся нефть насыщенности S_o , вода насыщенности S_w с пузырьками газа насыщенности S_b и свободный газ насыщенности S_g . В начальный момент времени образец пористой среды равномерно насыщен нефтью и водой ($S_{o0} = 0.8, S_{w0} = 0.2$) при пластовых давлении ($P_0 = 200$ атм) и температуре ($T_0 = 70^\circ C$). При забойном давлении $P^{in} = 300$ атм. закачивается водогазовая смесь (ВГС) с концентрацией пузырьков $S_b^{in} = 0.1$ и температурой $T^{in} = 20^\circ C$.

Рассматривалось три случая: без акустического воздействия(0/40), периодическое акустическое воздействие в течение 10 минут с перерывом 30 минут(10/30) и в течение 20 минут с перерывом 20 минут(20/20). На рис.1 представлено изменение насыщенности в образце в зависимости от времени акустического воздействия спустя 3 часа после закачки ВГС. На рис.1(а) видно, что при длительном воздействии на образец акустическим полем, остаточная насыщенность нефти в образце меньше. Более того, выделение свободного газа (рис.1d) происходит позже. Таким образом воздействие акустическим полем на образец оказывает положительный эффект на вытеснение нефти. Так же стоит отметить, что содержание пузырьков и вязкость ВГС уменьшаются при длительном акустическом воздействии (рис.2), что так же оказывает влияние на фильтрационные свойства ВГС.

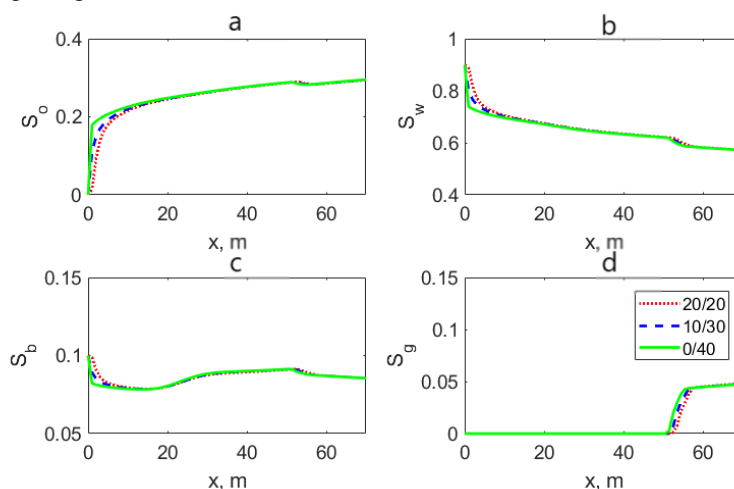


рис.1. Насыщенности нефти (а), воды (b), пузырьков газа (с) и свободного газа (d) в образце при различных периодах акустического воздействия через три часа после закачки.

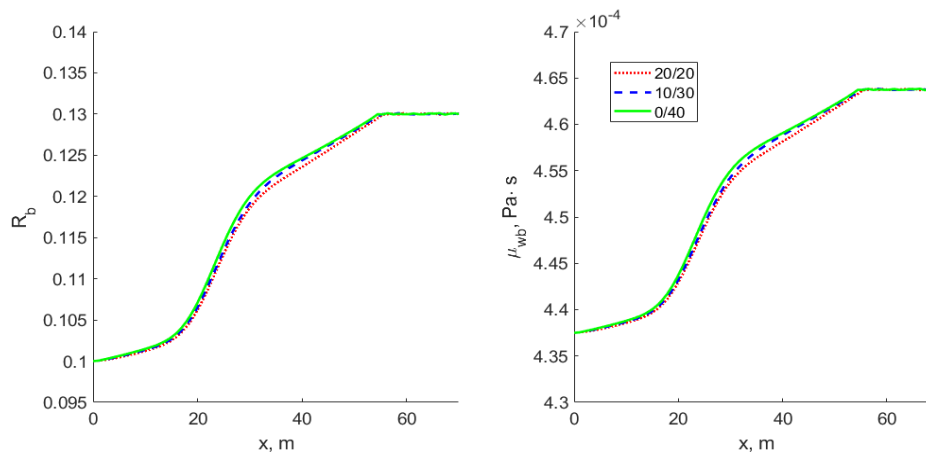


рис.2 Распределение содержания пузырьков в ВГС (а) и изменение вязкости ВГС (б) в образце при различных периодах акустического воздействия через три часа после закачки.

Численный анализ показал, что применение акустического поля при фильтрации водогазовой смеси приводит к уменьшению остаточной нефтенасыщенности в образце и тем самым увеличению объема извлекаемой нефти. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20102.

Список публикаций:

- [1] Николаевский В.Н. Нелинейные волны в пористых средах, насыщенных "живой" нефтью // *Акустический журнал*. 2005. Т.51. С. 74-79.
- [2] Максимов Г.А. Моделирование интенсификации нефтедобычи при акустическом воздействии на пласт из скважины // *Акустический журнал*. 2005. Т.51. С. 118-131.
- [3] Mikhailov D.N. Oil recovery in the presence of microbubbles in the filtration flow // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2012. Vol. 53. No. 3. pp. 366–378.
- [4] Патанкар С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости // *Пер. с англ.* – М., Энергоатомиздат, 1984, 152 с.

**15 - Механика. Теоретическая механика. Механика жидкости, газа и плазмы.
Инженерная механика.**

Адельгужина Эмилия Маратовна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование работы добывающей скважины с двумя трещинами ГРП в замкнутом пласте
Сарапулова Вероника Владимировна, к.ф.-м.н.
e-mail: emiliya.adelguznina@gmail.com стр. 293

Белоусов Роман Олегович, 1 курс
Тюмень, Тюменский государственный университет, физико-технический институт
Математическое моделирование трещины ГРП на основании геомеханических параметров для эффективной разработки месторождения
Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.
e-mail: belousov.roman012@gmail.com стр. 294

Булатова Айгузель Загировна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование трёхмерной динамики недеформируемых частиц несферических форм в сдвиговом потоке
Питюк Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.
e-mail: bulatova29@yandex.ru стр. 295

Винокурова Алина Андреевна, 4 курс
Ярославль, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, физико-математический
Форма заряженной капли в электрическом и гравитационном полях
Кузьмичев Юрий Борисович, к.т.н.
e-mail: alinka.vinokurova@list.ru стр. 296

Выдыш Иван Владимирович, 3 курс
Тюмень, Тюменский государственный университет, физико-технический институт
Моделирование обработки скважин полимер-дисперсными системами
Шевелёв Александр Павлович, к.ф.-м.н.
e-mail: vydysh3d@gmail.com стр. 298

Галиева Кадрия Фаилевна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Симулятор для гидравлического сопротивления трубопроводов
Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: galiyak.1999@mail.ru стр. 299

Деменчук Мария Александровна, 4 курс
Тюмень, Тюменский государственный университет, физико-технический институт
Определение оптимальных параметров установки с селективными мембранами
Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.
e-mail: anisimovair@mail.ru стр. 300

Ильин Владимир Алексеевич, доцент
Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, физический
Режимы электроконвекции в маломодовой модели при низких и высоких частотах электрического поля
e-mail: ilin1@psu.ru стр. 301

Кряжев Всеволод Александрович, аспирант 1 года обучения
Тюмень, Тюменский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование расформирования нефтяной оторочки в условиях первоочередной разработки газовой шапки
Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.
e-mail: kryazhev_seva@mail.ru стр. 302

Латыпов Руслан Илгизарович, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Алгоритм гидравлического расчета неизотермических нефтепроводов
Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: latypovruslan1@gmail.com стр. 304

Латыпова Резеда Рамилевна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Моделирование кривой падения давления на нагнетательной скважине с учетом пропусков
Сарапулова Вероника Владимировна
e-mail: Latypova.rezeda98@mail.ru стр. 306

Латыпова Татьяна Викторовна, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Изучение динамики образования кристаллов карбоната кальция путем экспериментального и математического моделирования
Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: tkarpev@mail.ru стр. 307

Мухарьямова Гульшат Ильдаровна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Экспериментальное исследование влияния электромагнитной обработки нефти на величину отложений парафина и АСПО на внутренних стенках нефтепроводов
Ковалева Лиана Ароновна, д.т.н.
e-mail: gulshat-karimova-1993@mail.ru стр. 308

Мухутдинова Айгуль Айратовна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Математическое моделирование процесса гравитационного осаждения суспензии
Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: muhutdinova18@gmail.com стр. 310

Соломенников Максим Николаевич, магистрант 1 года обучения
Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический
Динамика сферического тела в вертикальном цилиндре с жидкостью при модулированном вращении
Власова Ольга Андреевна, к.ф.-м.н.
e-mail: solomennikov@pspu.ru стр. 312

Фаткуллина Назгуль Байтулловна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Численное исследование динамики двух близкорасположенных деформируемых капель в сдвиговом потоке
Абрамова Ольга Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: nazgulbay1999@gmail.com стр. 313

Хисамов Артур Альфирович, аспирант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, ООО РН-БашНИПИнефть, Физико-технический институт
Моделирование неустановившейся фильтрации в системе пласт - трещина ГРП
Хабибуллин Ильдус Лутфурахманович, д.ф.-м.н.
e-mail: khisamovartur@list.ru стр. 315

Юлмухаметова Регина Рафисовна, аспирант 3 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Математическое моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости со взвешенными частицами в прямоугольном канале
Ковалева Лиана Ароновна, д.т.н.
e-mail: Regina.you@mail.ru стр. 316

Моделирование работы добывающей скважины с двумя трещинами ГРП в замкнутом пласте

Адельгужина Эмилия Маратовна
Бакирский государственный университет
Сарапулова Вероника Владимировна, к.ф.-м.н.
emiliya.adelguzhina@gmail.com

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из основных и эффективных методов увеличения нефтеотдачи пласта. В отдельных случаях, после повторного ГРП отмечается значительное увеличение продуктивности скважин. Предполагается, что данная процедура позволяет переориентировать азимут трещины первого ГРП. Авторы статьи [1] утверждают, что если изменение давления в пласте после извлечения пластового флюида велико, то новая трещина образуется перпендикулярно старой. Задача о притоке жидкости в скважину с двумя перпендикулярными трещинами была подробно рассмотрена в работе [2].

Целью работы является анализ и интерпретация динамики дебита и давления в скважине до повторного ГРП и после него методом численного моделирования. Математическая модель включает закон Дарси, описывающий фильтрацию жидкости в пласте и трещинах, уравнение пьезопроводности, условия равенства потоков и давлений на границах контакта трещин с пластом и условие симметрии по осям x и y .

Рассматривается девятиточечная система разработки в случае всех добывающих скважин (рис.1) при различных проницаемостях пласта (0.1 мД, 1 мД, 5 мД, 10 мД) при одинаковых полуширинах ($X_{f1} = X_{f2} = X_{f3} = X_{f4} = Y_{f1} = 100$ м) и проводимостях трещин ГРП. Для моделирования используются такие параметры, как радиус скважины (0.1 м), толщина пласта (20 м), пористость (0.2), объемный коэффициент пластовой жидкости (1), вязкость пластовой жидкости (0.0015 Па*с), общая сжимаемость ($3.12 \cdot 10^{-10}$ Па $^{-1}$), $L_x = L_y = 500$ м, $W_{f1} = W_{f2} = W_{f3} = W_{f4} = W'_{f1} = 0.05$ м.

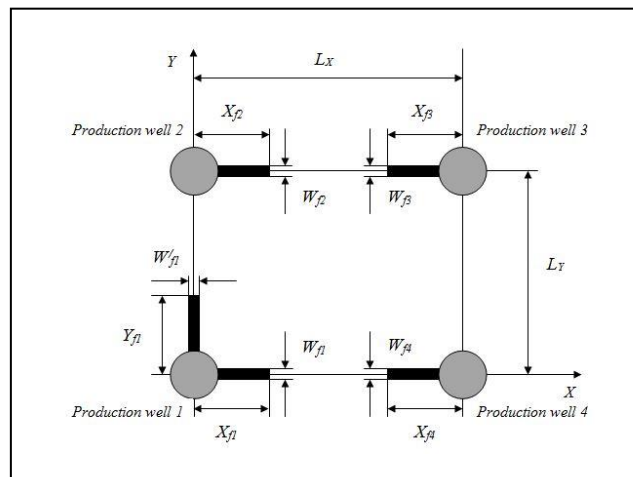


рис.1. Постановка задачи.

Среднее значение дебитов проведено на время стабилизации режима работы скважины. По результатам численного моделирования видно, что после образования второй трещины ГРП при проницаемостях 0.1 мД и 1 мД приток жидкости в скважину (дебит) увеличился в среднем на 20%, а при проницаемостях 5 мД и 10 мД приток жидкости стал значительно меньше в среднем на 40 %, чем до образования второй трещины. Такое существенное уменьшение связано с тем, что разработка участка рассматривается без поддержания пластового давления. При этом видно, что темп восстановления давления при КВД после работы скважины с двумя трещинами происходит медленнее, чем при работе с одной трещиной.

Список публикаций:

[1] Якушев В. С. // Разработка методики выбора технологий гидравлического разрыва пласта для добычи сланцевого газа Москва. 2017. С. 48.

[2] Давлетбаев А. Я., Мухаметова З. С. // Моделирования фильтрации в низкопроницаемом пласте с двумя перпендикулярными техногенными трещинами гидроразрыва // Инженерно-физический журнал. 2017. №3. С. 632-639.

Математическое моделирование трещины ГРП на основании геомеханических параметров для эффективной разработки месторождения

Белоусов Роман Олегович

Тюменский государственный университет

Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.

belousov.roman012@gmail.com

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) уже давно является одним из наиболее распространённых и эффективных методов интенсификации добычи нефти. В ходе развития технологий росло и количество операций ГРП. Технологическое совершенствование и использование новых материалов меняло подходы к моделированию процесса ГРП. Для математического моделирования процесса гидравлического разрыва пласта были разработаны различные модели Pseudo3D [1], Planar3D [2], KGD [1] и др. В дальнейшем данные модели были положены в основу современных и широко распространённых симуляторов – Kinetix, StimPlan, FracCade и др. Для того, чтобы эффективно планировать реализацию процесса ГРП необходимо в первую очередь учитывать сложившееся геомеханическое состояние пласта.

В данной работе проводилось исследование по планированию ГРП с учетом геомеханических параметров и напряженно-деформированного состояния среды, также проводился анализ внешне схожих объектов разработки, но которые в тоже время требовали кардинально различного подхода к заканчиванию скважины.

Объектом исследования являлись продуктивные пласты X и Y, которые представлены в виде изолированных песчаных тел, насыщенных нефтью с высоким показателем GOR. Объекты гидродинамически изолированные и не пересекаются. К моменту моделирования объект Y полностью разбурен, а объект X только вступает в процесс эксплуатационного бурения. Предпосылками для детального изучения стали сложности, которые возникли при бурении и заканчивании скважин. На вертикальной разведочной скважине был выполнен ГРП с массой проппанта 77 тонн, после чего был получен приток безводной нефти, а через 3 месяца обводненность быстро увеличивалась до 50-70%.

Для того, чтобы понять причину прорыва воды были смоделированы три различных сценария проведения ГРП. Первый с 15 тонн проппанта, второй с 30 и третий с 70. Для всех трех сценариев использовалась модель PLANAR3D, в рассмотрение принималось распределение напряжений по площади для того, чтобы учесть влияние работающих рядом скважин.

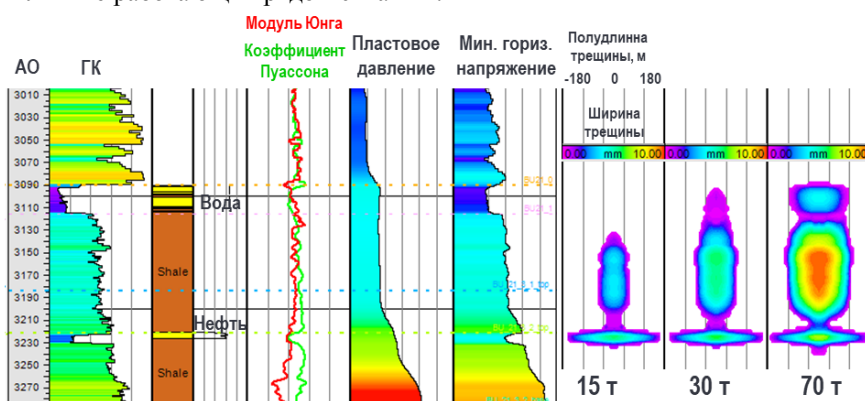


рис.1. Каротажные данные; смоделированное распространение трещины для объекта X для трех сценариев

В результате смоделировав различные сценарии проведения ГРП с учетом распределения напряжений и пластовых давлений выше и ниже продуктивного пласта, результаты показали, что при использовании высоко тоннажного ГРП (70 т) трещина прорывается через 100 м в вышележащий пласт и значительно распространяется в нем, в то время как при малотоннажном ГРП рост трещины останавливается в глиняном поропласте. На данном примере показана эффективность моделирования ГРП с учетом геомеханических параметров пласта.

Список публикаций:

- [1]. Meyer B.R. Design Formulae for 2-D and 3-D Vertical Hydraulic Fractures: Model Comparison and Parametric Studies// SPE 15240. – 1986.
- [2]. Meyer B.R., Cooper G.D., Nelson S.G. Real-Time 3-D Hydraulic Fracturing Simulation: Theory and Field Case Studies// SPE 20658. – 1990.

Трехмерное моделирование динамики недеформируемых частиц несферических форм в сдвиговом потоке

Булатова Айгузель Загировна

Абрамова Ольга Александровна, Питюк Юлия Айратовна, Фаткуллина Назгуль Байтулловна

Бакирский государственный университет

Питюк Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.

bulatova29@yandex.ru

Изучение динамики дисперсных систем представляет большой интерес исследователей многих направлений, поскольку различные потоки с дисперсными включениями встречаются не только в повседневной жизни, но и находят практическое применение в химической, биохимической, аэрокосмической, строительной и других промышленности.

Настоящая работа посвящена трехмерному исследованию динамики недеформируемых несферических частиц в сдвиговом потоке в неограниченном объеме вязкой несжимаемой жидкости. Процесс рассматривался при изотермических условиях, без учета сил инерции, число Рейнольдса меньше 1, $Re \ll 1$. В таких случаях установившееся течение описывается уравнениями Стокса с соответствующими условиями для напряжений и скорости на границе раздела фаз. Математическая и физическая постановка задачи более подробно описана в [1]. Моделирование осуществляется стандартным методом граничных элементов [3], реализованный авторами в предыдущих работах [1,2]. Данный подход очень эффективен при решении задач в бесконечных областях, так как расчеты проводятся для сетки на поверхности рассматриваемых дисперсных включений.

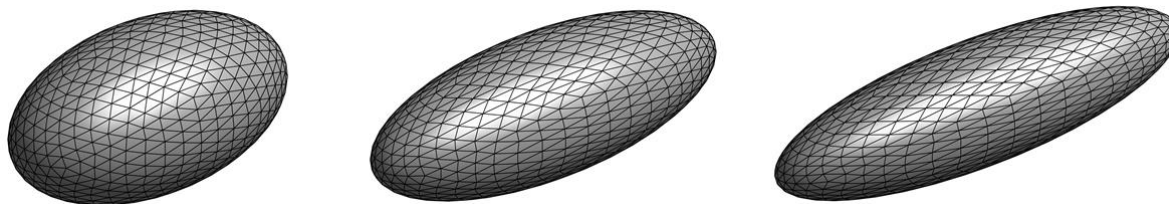


рис.1. Триангуляция двояковыпуклого диска с коэффициентами растяжения $k = 1.25$, $k = 1.5$ и $k = 1.75$, $N_{\Delta} = 1280$.

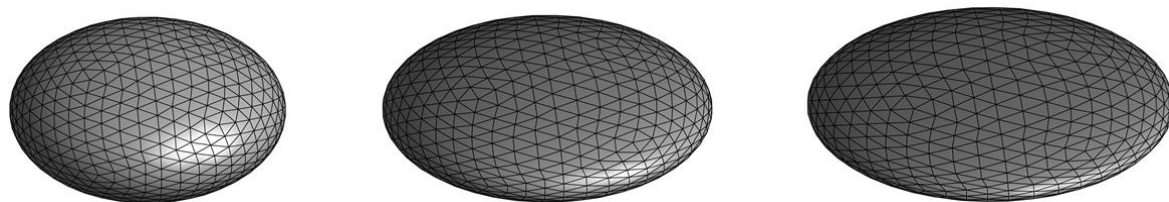


рис.2. Триангуляция эллипсоида с коэффициентами растяжения $k = 1.5$, $k = 2$ и $k = 2.5$, $N_{\Delta} = 1280$.

В рамках данной работы были проведены расчеты для одиночных недеформируемых частиц равных объемов, имеющих формы двояковыпуклого диска (рис. 1) и эллипсоида (рис. 2). Частицы указанных форм были получены из триангуляции сферы радиуса a растягиванием и сжатием по одной или двум осям. Двояковыпуклый диск был получен путем растяжения сферы по осям x и y на коэффициент k и сжатия по оси z на коэффициент $1/k^2$. Эллипсоид был получен растяжением сферы на k по оси x и сжатием на $1/k$ по осям y и z . Таким образом, полученные частицы имеют одинаковые объемы, равные объему сферы, поверхность которой дискретизировалась треугольной сеткой, состоящей из 1280 треугольных элементов.

Рассматривалась динамика дисперсных частиц под действием сдвигового потока. Прямое трехмерное моделирование движения дисперсных включений методом граничных элементов позволяет рассчитать вклад в тензор напряжений всей системы по формулам, представленным в [2]. Для таких дисперсных включений с капиллярным числом $Ca \ll 1$ и соотношением вязкостей $\lambda \gg 1$ был рассчитан вклад одиночных частиц в тензор напряжений системы в целом, а также первая и вторая разности нормальных напряжений. На рис. 3 представлены зависимости значений Σ_{12} от времени двояковыпуклого диска и эллипсоида для различных коэффициентов растяжений. Все результаты представлены для безразмерного времени $t' = \gamma t / \mu_1 a$, где γ – коэффициент поверхностного натяжения, μ_1 – вязкость окружающей жидкости. Графики показывают, что ориентация частиц, а также их форма оказывают значительное влияние на тензор напряжений системы.

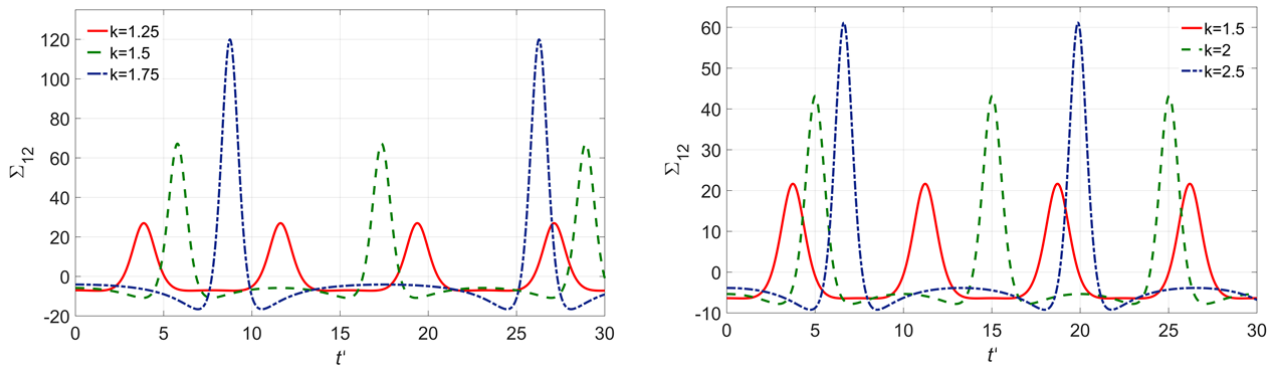


рис.3. Вклад одиночной частицы в форме двояковыпуклого диска и эллипсоида в эффективную вязкость системы для различных коэффициентов растяжения.

Таким образом, на основе реализованного подхода было рассмотрено поведение недеформируемых дисперсных микрочастиц различных форм в сдвиговом потоке, а также изучено их влияние на реологические свойства дисперсных систем в целом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-71-00068.

Список публикаций:

- [1] O A Abramova, A Z Bulatova, N B Fatkullina and Yu A Pityuk Numerical simulation of the dynamics and calculation of the rheological characteristics of the dispersed systems using BEM // *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*. – 2019 – Ser. 1359 012025
- [2] Pityuk Yu. A., Abramova O.A., Fatkullina N.B., Bulatova A.Z. BEM Based Numerical Approach for the Study of the Dispersed Systems Rheological Properties // *Studies in Systems, Decision and Control*. – 2018 – P. 338-352.
- [3] Pozrikidis C. *Boundary Integral and Singularity Methods for Linearized Viscous Flow*. – 1992 (Cambridge University Press, Cambridge, MA).

Форма заряженной капли в электрическом и гравитационном полях

Винокурова Алина Андреевна

Кокора Дарья Валерьевна

Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского

Кузьмичев Юрий Борисович, к.т.н.

alinka.vinokurova@list.ru

Исследование равновесных форм и устойчивости заряженных капель во внешних силовых полях представляет значительный интерес в связи с многочисленными геофизическими, техническими и технологическими приложениями. С поднятой проблемой тесно связаны вопросы электро-аэрозольных технологий, задачи очистки жидких металлов от шлаков и окислов, задачи, возникающие при разработке электро-капле-струйных печатающих устройств, жидкометаллических источников ионов и устройств для масс-спектрометрии органических и термически нестабильных жидкостей. На основе явления неустойчивости заряженной поверхности жидкости созданы устройства для получения порошков тугоплавких металлов, жидкометаллической эпитаксии и литографии, получения капель жидкого водорода для установок термоядерного синтеза.

Неустойчивость заряженной капли, была известна еще в XIX веке. Основы теории этого явления были разработаны английским ученым Дж. Рэлеем и до настоящего времени уточняются и развиваются. Также классические результаты в этой области получены Дж. Тейлором [1]. Его предположения о том, что капля в электростатическом поле принимает форму сфероида, вытянутого вдоль поля, послужило основой для многих работ, посвященных стационарным формам капель и их устойчивости.

Для теоретического исследования неустойчивости была построена математическая модель невязкой несжимаемой жидкости, описываемой уравнением Эйлера:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \vec{g} + \vec{P}_E \quad (1)$$

где ρ - плотность жидкости, P - давление в жидкости, \vec{v} - вектор скорости жидкости, \vec{g} - вектор напряженности силового поля, ∇ - оператор набла, P_E - давление электростатического поля на поверхность жидкости.

Для решения используем разложение по полиномам Лежандра:

$$r(\theta) = 1 + f(\theta) = 1 + \sum_{n=0}^{\infty} a_n P_n(\mu) \quad (2)$$

Исследования проводились в системе MATCAD. Выводы, полученные в результате вычислений, представлены на рис. 1.

При нелинейных осцилляциях заряженных капель, подвешенных в электростатическом и гравитационном полях, с вершины капли с большой кривизной может начаться сброс избыточного заряда, что приведет к искажению получаемых в экспериментах данных.

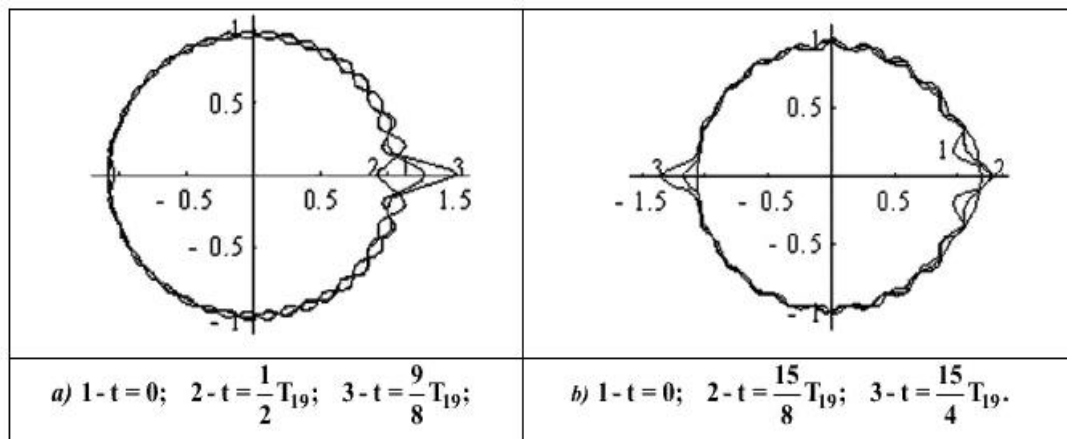


рис. 1. Образующая формы нелинейно осциллирующей капли, когда начальная деформация определена суперпозицией 19-ой и 20-ой мод, в различные моменты времени, измеренные в долях периода 19-ой моды, рассчитанная при $\epsilon = 0.2$, $W = 3.7$, где ϵ -эксцентриситет капли, W безразмерный зарядовый параметр Тейлора.

Исследование действительно показало, что в электрическом и гравитационном полях равновесная форма заряженной капли может считаться вытянутой сфероидальной. При достижении некоторой виртуальной деформации капля начнет самопроизвольно вытягиваться до тех пор, пока не произойдет распад капли либо на несколько частей сравнимых размеров, либо путем эмиссии большого числа сильно заряженных капелек. Таким образом при достижении критического значения на вершинах капли формируются заостренные выступы, с вершин которых начинается сброс избыточного заряда в виде струек капелек. Свойства реальных жидкостей на самом деле могут существенно отличаться от модельных представлений, поэтому полностью объяснить форму заряженной капли в различных внешних полях достаточно трудно.

Трудность состоит в том, что исследования проводятся в линейном приближении по каждому из параметров, а в реальности они являются далеко нелинейным. То есть существует расхождение теоретических данных с экспериментальными. Возможно, стоит рассмотреть приближения не в сферической системе, а в эллиптической. Этим можно добиться меньшего расхождения экспериментальных и теоретических данных [2,3].

Список публикаций:

- [1] Wilson C.T.R., Taylor G.T. The bursting of soap-bubbles in a uniform electric field// Proc. Cambridge Phil. Soc. –1925.–V.22.– P. 720-730.
- [2] S. Mhatre, R. Thaokar, Pin-plate electrode system for emulsification of a higher conductivity leaky dielectric liquid into a low conductivity medium, //Ind. Eng. Chem. Res. 53 (2014) 13488–13496.
- [3] Deshmukh, S. D., Thaokar, R. M. Deformation, breakup and motion of a perfect dielectric drop in a quadrupole electric field. //Phys. Fluids 2012 24, 032105.

Моделирование обработки скважин полимер-дисперсными системами

Выдыш Иван Владимирович

Гильманов Александр Янович, Шевелев Александр Павлович

Тюменский государственный университет

Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.

vydysh3d@gmail.com

Одним из направлений решения задачи селективного воздействия на неоднородный нефтяной пласт является применение так называемых полимер-дисперсных систем. В качестве «наполнителя» в этих системах применяются тонкодисперсные частицы от коллоидных глинистых частиц до суспензий мела и древесной муки [1]. Глубина проникновения таких частиц определяется соотношением их среднего радиуса к среднему радиусу пор. Таким образом, частицы проникают в высокопроницаемые пропластки гораздо глубже, способствуя более полному перераспределению потоков в продуктивном интервале неоднородного пласта. Особенностью полимер-дисперсной системы является то, что формируемый гель удерживает осаждающиеся частицы и не дает потоку вновь вовлекать их в движение. Расчёт фильтрационных параметров позволяет правильно подобрать технологию полимер-дисперсной обработки. Однако подробного расчёта параметров фильтрации полимер-дисперсных систем проведено не было, за исключением определения концентрации полимера. Такой расчёт и является целью настоящей работы.

Композиционные или многокомпонентные и многофазные модели фильтрации являются достаточно распространенным инструментом решения задач подземной гидромеханики для процессов снижения приемистости нагнетательных скважин при закачке воды низкого качества, продуктивности добывающих скважин для добычи нефтей с высоким содержанием смол и асфальтенов, высоковязких нефтей в плохо консолидированных пластах, закачки пресных вод и т.д. В этих моделях используются стандартное задание приведенной плотности фазы через массовые концентрации компонентов [2]. Под компонентом в гомогенной смеси понимается также вещество в дисперсном состоянии, когда скорости несущей фазы и дисперсных частиц совпадают. Сложившийся подход к описанию миграции суспензий в пористой среде также апеллирует с определением суспензии как гомогенной смеси, однако концентрация частиц определяется через объемное содержание.

Основной задачей фильтрации рассматриваемой суспензии (полимер дисперсной системы) является изменение профиля приемистости или продуктивности в скважине после ее обработки. Для этого был рассмотрен продуктивный пласт, вскрытый вертикальной скважиной, и состоящий из N пропластков разной проницаемостью и мощностью (толщиной). Ввиду того, что объемы закачки полимер дисперсной системы относительно небольшие, вертикальными перетоками между пропластками можно пренебречь и считать их изолированными друг от друга. Вводится коэффициент фильтрации λ , характеризующий течение полимера в присутствии его удержанной концентрации. Если коэффициент фильтрации λ и соотношение размеров частиц к размерам пор в пропластках с различной проницаемостью отличаются, то коэффициент повреждения β в первом приближении можно считать постоянным. В этом приближении получена система (1) в радиальной одномерной системе координат с расстоянием r :

$$\begin{aligned} h_i \left(\frac{\partial(\theta_i c_i + \sigma_i)}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r U_i c_i)}{\partial r} \right) &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_i}{\partial t} &= \lambda_i U_i c_i, \\ U_i &= - \frac{k_i}{\mu(1 + \beta \sigma_i)} \frac{\partial p_i}{\partial r} \end{aligned} \quad (1)$$

где θ – пористость, c – объемная концентрация частиц в потоке, σ – объемная концентрация в единице объема всей породы захваченных в пористой среде частиц, U – фильтрационный поток, k – коэффициент абсолютной проницаемости без захваченных частиц, μ – эффективная вязкость суспензии, p – поровое давление, t – время.

Данная система была обезразмерена. С использованием численных методов была решена система для двух пропластков относительно неизвестных коэффициента фильтрации λ и коэффициента повреждения β . Также попутно было проверено, нужно ли вообще обезразмеривать систему уравнений, нежели просто решать размерную систему.

В работе впервые получено решение системы уравнений, описывающей фильтрацию полимер-дисперсной системы в радиальном случае. Поскольку в реальном нефтяном пласте наблюдается именно

плоскорадиальная фильтрация, то полученное решение для фильтрационных параметров оказывается пригодным к даче практических рекомендаций для применения полимер-дисперсных систем при разработке реального нефтяного месторождения для выбора оптимальных технологических параметров и оценки успешности заводнения. Проанализирована зависимость коэффициента фильтрации λ и коэффициента повреждения β от начальной концентрации полимера, проницаемости породы. В итоге, можно сделать вывод о том, что полученное решение является устойчивым при различных известных параметрах процесса. Из решения можно получить фильтрационные параметры для заданных технологических параметров разработки. Расчётные значения сходятся с реально наблюдаемыми на практике.

Список публикаций:

- [1] Хисамов Р.С., Газизов А.А., Газизов А.Ш. Научно-технологические основы применения полимер-дисперсных систем для увеличения нефтеотдачи. //Нефтяное хозяйство. – 2002. - №11. – С.52-56.
 [2] Баренблатт Г.И. Ентов В.М. Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М : Недра, 1984. – 211 с.

Симулятор для гидравлического расчета трубопроводов

Галиева Кадрия Фаилевна

Башкирский государственный университет

Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.

galievak.1999@mail.ru

С древнейших времен человечество использует трубопроводы. Раньше их использовали для транспортировки воды (акведуки). В настоящее время трубопроводы применяются очень широко, например, для перекачки нефти, газа и нефтепродуктов, обеспечивая наименьшие экономические затраты[1]. Очень важно правильно спроектировать трубопровод, чтобы он справлялся со своей задачей.

Гидравлический расчет является самым важным, его можно найти из различных формул[2]. Хорошо бы иметь программу, которая рассчитывала бы гидравлическое сопротивление трубопровода.

Целью данной работы является создание симулятора для гидравлического расчета трубопроводов при различных параметрах (для различных параметров трубы, для различных течений).

Математическая модель задается при помощи обобщенной формулы Лейбензона[3]:

$$H = \beta \frac{Q^{2-m} v^m}{d^{5-m}} L, \quad (1)$$

где H – гидравлическое сопротивление трубопровода, м;

β, m – коэффициенты Лейбензона (были взяты из таблицы);

Q – объемный расход, м³/час;

v – кинематическая вязкость, м²/час;

d – внутренний диаметр трубопровода, мм;

L – длина трубопровода, м.

В таблице приведены формулы для расчета коэффициентов гидравлического сопротивления.

Таблица 1

Ламинарный режим	Турбулентный режим		
$Re < 2300$	$2300 < Re < 15 \frac{d}{\Delta}$	$15 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta}$	$Re > 500 \frac{d}{\Delta}$
$\lambda = \frac{64}{Re}$	$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$	$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$
	Область гидравлически гладких труб	Зона смешанного трения	Область шероховатых труб
$m = 1$ $\beta = \frac{128}{\pi g}$	$m = 0,25$ $\beta = \frac{0,241}{g}$	$m = 0,125$ $\beta = 0,0185e^{0,125}$	$m = 0$ $\beta = \frac{8\lambda}{\pi^2 g}$

Программа была написана на языке программирования C++ в кроссплатформенной среде разработки Qt Creator.

По ниже приведенному графику видно, чем больше кинематическая вязкость жидкости, тем больше гидравлическое сопротивление трубопровода. Разрыв на графике показывает место, когда происходит смена режима. Чем меньше кинематическая вязкость жидкости, тем больше число Рейнольдса, отчего быстрее происходит смена режима потока, что заметно на графике.

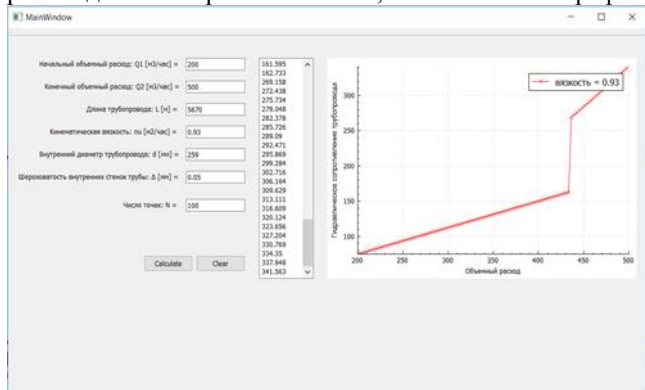


рис.1. Интерфейс программы

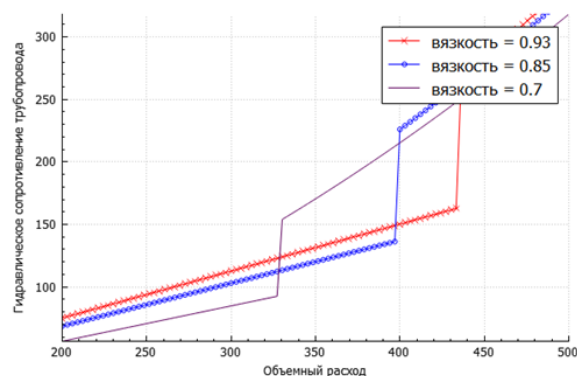


рис.2. График зависимости гидравлического сопротивления трубопровода от объемного расхода

Список публикаций:

- [1] Нечваль А.М. Проектирование нефтегазопроводов, - 168 с.
- [2] Н.В. Чухарева, Расчет простых и сложных промышленных трубопроводов, - Томск, 2010, - 49 с.
- [3] Губин В. Е., Губин В. В. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. - М., Недра, 1982, - 296 с.

Определение оптимальных параметров установки с селективными мембранами

Деменчук Мария Александровна

Гильманов Александр Янович

Тюменский государственный университет

Шевелёв Александр Павлович, к.ф.-м.н.

anisimovair@mail.ru

Азот и кислород являются востребованными газами, поэтому их получение является актуальной задачей для промышленности; решение данной задачи позволяет расширить область применения азота как промышленного сырья. Но существует проблема компонентного разделения воздуха и точного расчета данного процесса для промышленности. Необходимо внедрение технологии разделения газов, не требующей больших материальных затрат при приемлемой чистоте конечного продукта.

В нашей работе мы оптимизировали характеристики установки по разделению газов методом полупроницаемой мембраны. Мембрана состоит из волокон. Она позволяет определенным молекулам или ионам проходить через нее благодаря диффузии. Сырьевой поток определенного состава вводится в модуль с некоторой скоростью. Поскольку мембрана обладает способностью пропускать один компонент быстрее, чем другой, то состав и скорость потока над мембраной будут меняться в зависимости от координаты. После прохождения модуля сырьевой поток разделяется на два потока — пермеат и ретентат. Ретентат (концентрат) — смесь газов, на одном из выходов мембранного аппарата, образовавшаяся после прохождения над мембраной. Ретентат - поток, не пропущенный мембраной. Пермеат (фильtrat) - смесь газов, на втором выходе мембранного аппарата, образовавшаяся после прохождения газов сквозь мембрану. Пермеат - поток, проникший через мембрану [1].

Существуют три уровня описания процессов в полупроницаемых мембранах. Первый заключается в том, что рассматривается баланс всей системы, второй заключается в том, что весь процесс происходит только внутри системы, а третий в том, что процесс происходит и внутри, и снаружи. Будем рассматривать именно третий, максимально подробный, уровень описания процессов.

Для решения данной проблемы мы используем закон сохранения массы и закон сохранения импульса. В качестве закона сохранения импульсов будем использовать уравнение Дарси, которое применимо при низких скоростях фильтрации, что наблюдается в установках мембранного типа. Также используем уравнение интенсивности перехода. После чего составляем замкнутую систему уравнений, позволяющую описывать процесс разделения флюидов в баромембранных установках, которую впоследствии обезразмериваем.

Решена система с помощью явной конечно-разностной схемы [2]. Также выполнена оценка коэффициентов при неизвестных значениях параметров, соответствующих реальной мембранной установке. Установлено, что все слагаемые в системе уравнений имеют сопоставимый порядок, оказывают вклад в решение задачи, из-за чего мы не можем ни одним из них пренебречь.

Получили распределение концентрации: внутри мембраны возрастает концентрация азота, а снаружи возрастает концентрация кислорода. Таким образом осуществляется процесс разделения воздуха в мембране. Распределение концентрации позволяет определить координату, где наиболее эффективен отбор кислорода.

Список публикаций:

[1] И.Н. Бекман. *Мембраны в медицине*. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. 325 с.

[2] А.А. Самарский. *Введение в численные методы*. М.: Наука, 1982. 269 с.

Режимы электроконвекции в маломодовой модели при низких и высоких частотах электрического поля

Ильин Владимир Алексеевич

Пермский государственный национальный исследовательский университет

ilin1@psu.ru

Движение слабопроводящих жидкостей в электрическом поле привлекает внимание тем, что представляет собой способ прямого преобразования энергии электрического поля в энергию движения жидкой среды [1–3]. Поведение гидродинамических систем в электрическом поле имеет ряд особенностей, связанных с характером возникновения заряда в жидкости и взаимодействием его с внешним полем. Электрическое поле может привести к резонансным явлениям, связанным с резким понижением порога конвекции, усилением или ослаблением её интенсивности. С практической точки зрения знание законов действия электрического поля на конвективные течения актуально в связи с проблемой эффективного управления конвекцией, тепло- и массопереносом в различных технологических ситуациях, в частности, в электрогидродинамических насосах.

Основоположителем электрогидродинамики в нашей стране принято считать Г. А. Остроумова [1]. На сегодняшний день вопросами электрогидродинамики занимается множество исследователей. Несмотря на большое количество теоретических и экспериментальных работ в этой области вплоть до настоящего времени объяснение электрогидродинамических эффектов недостаточно изучено, что порождает необходимость их дальнейшего изучения [3]. Непредсказуемость этих эффектов обусловлена нелинейным и сложным характером физико-химических процессов, что вызывает трудности их исследования.

В настоящей работе рассматривается действие электрокондуктивного механизма зарядообразования, вызванного зависимостью электропроводности жидкости от температуры. Считается, что границы конденсатора идеально тепло- и электропроводны, и нагреты до разной температуры. При рассмотрении поведения слабопроводящей жидкости в электрическом поле использовалось электрогидродинамическое приближение, в котором магнитные эффекты пренебрежимо малы по сравнению с электрическими.

В работе [4] получена восьмимодовая модель электроконвекции слабопроводящей жидкости, находящейся в переменном электрическом поле горизонтального слоя со свободными граничными условиями. В случае, когда время релаксации заряда много меньше характерного гидродинамического времени (заряд мгновенно рассасывается в жидкости), получается пятимодовая модель электроконвекции. Настоящая работа является продолжением исследований [4].

Параметры жидкости при исследовании случая невесомости выбраны следующие [4]: $Pr = 100$; волновое число $k = 0.962$, соответствующее минимуму нейтральной кривой, даёт значения геометрических параметров: $b = 2.077$, $d = 2.56$. Система уравнений решалась численно методом Рунге-Кутты с постоянными начальными условиями или методом продолжения по параметру для различных значений электрического параметра e и частоты электрического поля ν .

Первая часть исследования проведена для низких частот электрического поля. Вначале вычисления были проведены с постоянными начальными условиями. Например, при $\nu = 0.05$ ниже критического значения электрического числа жидкость находится в равновесии, а при $e = 67.81$ колебательным образом возникает конвекция и устанавливается периодический режим движения жидкости. Колебания состоят из отдельных «всплесков». Все частоты Фурье-спектра являются комбинацией внешней частоты и могут быть обобщены формулой: $(2n + 1)\nu$, где n – целое число. Т. е. в спектре содержится частота внешнего поля и её нечётные гармоники. Это синхронные колебания. С ростом электрического параметра амплитуда синхронного режима растёт, затем он исчезает и устанавливается равновесие. При $e =$

69.38 возникает синхронный режим второго типа, в его спектре содержатся чётные гармоники внешней частоты: $2n\nu$. Затем в некотором интервале параметров существует периодический режим, в спектре которого присутствует частота, равная половине внешней частоты, и её нечётные гармоники – это субгармонический режим. Вычисления с постоянными начальными условиями показали, что этот режим переходит в синхронный режим 2 типа.

При дальнейшем увеличении электрического параметра происходит бифуркация удвоения периода – возникает частота в два раза меньше, затем происходит ещё одно удвоение и так происходит до тех пор, пока не возникнет хаос. Это сценарий Фейгенбаума – переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода. При $e = 69.87$ происходит переход к хаосу, при котором спектр Фурье становится сплошным.

После расчётов методом продолжения по параметру были обнаружены гистерезисные переходы между тремя режимами. Оказалось, что первый синхронный режим продолжает существовать при больших значениях параметра e . Затем он переходит к хаотическому режиму через перемежаемость.

В интервале параметров электрического числа от 67.81 до 68.58 существует только 1 режим, от 68.59 до 69.37 конкурируют 1 режим и равновесие, от 69.38 до 69.56 сосуществуют режим 1 и 2. В интервале от 69.57 до 69.61 конкурируют 3 режима: два синхронных (1 и 2 режима) и один субгармонический (3 режим). Переход к хаосу в 3 субгармоническом режиме происходит при $e = 69.607$ по сценарию Фейгенбаума. В интервале от 69.62 до 69.94 конкурируют 1 и 2 синхронные режимы. При 69.95 режим 2 переходит в режим 1.

Вторая часть исследования проведена для относительно высоких частот электрического поля. В этом случае картина поведения меняется. При расчётах с разными частотами были обнаружены различные области с субгармоническим поведением. Подробнее была исследована область, в которой частоты подчиняются закономерности: $\nu_n = \nu_0(2n-1)/2$, где n – целое число. Т. е. в спектре содержится частота равная половине внешней частоты и её высшие гармоники.

При частоте, например, $\nu = 5$ на границе устойчивости конвекция возникает квазипериодическим образом, затем квазипериодический режим колебаний сменяется субгармоническим режимом колебаний, который сменяется квазипериодическим режимом, а затем возникает хаос через квазипериодичность. При другой частоте при переходе из субгармонических колебаний хаос возникает через перемежаемость.

Список публикаций:

- [1] *Остроумов Г. А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М.: Физматгиз. 1972. 292 с.*
- [2] *Болога М. К., Гросу Ф. П., Кожухарь И. А. Электроконвекция и теплообмен. Кишинев: Штиинца, 1977. 320 с.*
- [3] *Жакин А. И. Электродинамика// УФН. 2012. Том 182, №5. С. 495–520.*
- [4] *Картавых Н. Н., Смородин Б. Л., Ильин В. А. Параметрическая электроконвекция слабопроводящей жидкости в горизонтальном плоском конденсаторе// Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2015. Т. 148, вып. 1 (7). С. 178–189.*

Моделирование расформирования нефтяной оторочки в условиях первоочередной разработки газовой шапки

Кряжев Всеволод Александрович

Кряжев Ярослав Александрович

Тюменский государственный университет

Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.

Kryazhev_seva@mail.ru

В настоящее время нефтегазодобывающий комплекс находится на стадии активного вовлечения в разработку таких трудно извлекаемых запасов нефти, как запасы нефтяных оторочек (НО) газоконденсатных залежей.

Для достижения максимальных коэффициентов извлечения нефти, в мировой практике считается целесообразным в первую очередь вести разработку нефтяной оторочки с временной консервацией запасов газа ГШ. [1] Однако в случае значительного преобладания запасов газа газовой шапки (ГШ) над запасами нефти НО стратегия разработки залежи нефтегазодобывающих компаний зачастую направляется в сторону первоочередной разработки газовой части залежи, а разработка нефтяной оторочки откладывается на более поздние сроки. Как правило, разработка газовой части осуществляется на режиме истощения пластовой энергии, что приводит к снижению пластового давления в залежи, уменьшению энергетического потенциала нефтяной оторочки, а также к фильтрации нефти в газовую часть. Такая нефть частично становится неподвижной. [2]. Таким образом происходит расформирование нефтяной оторочки и возникают пластовые потери нефти. Исходя

из этого, моделирование процессов расформирования нефтяных оторочек, прогнозирование снижения подвижных запасов нефти, а также поиск способов оптимизации добычи нефти в случае продолжительной разработки ГШ являются актуальными задачами.

Объектом исследования данной работы является неокомская газоконденсатная залежь с нефтяной оторочкой козырькового типа (рис.1). Начальное пластовое давление объекта составляет 29,5 МПа. Средняя эффективная газонасыщенная толщина – 18,5 м, нефтенасыщенная – 6,2 м. Отложения пласта представлены средне- мелкозернистыми глинисто-алевролитовыми песчаниками. Пористость коллекторов в среднем составляет 14,7 %, среднее значение проницаемости – 35,3 мД. В силу значительно преобладающих запасов газа ГШ над запасами нефти НО, разработка залежи началась с выработки запасов газоконденсатной части залежи в 2012 г.

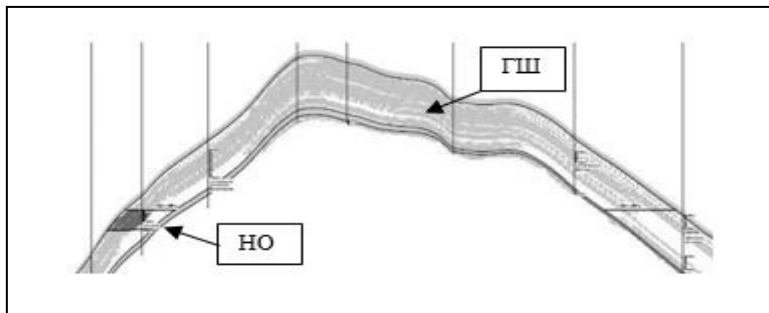


рис.1. Геологический разрез газоконденсатной залежи с нефтяной оторочкой

Для оценки потерь подвижных запасов нефти были проведены расчеты на полномасштабной трехмерной гидродинамической модели залежи в гидродинамическом симуляторе RFD tNavigator. Годовые темпы отбора газа газовой шапки на прогнозный период были приняты равными 3 % от начальных запасов газа. Эксплуатационные нефтяные скважины не были включены в модель. Перед выполнением прогнозных расчетов была выполнена настройка модели, включающая в себя воспроизведение фактического подъема водонефтяного контакта и темпов снижения пластового давления в разведочных и наблюдательных скважинах нефтяной оторочки. Воспроизведение «истории» было достигнуто с приемлемой точностью при помощи варьирования параметрами водоносного горизонта залежи (продуктивность, общая сжимаемость, объем водоносного горизонта), обладающих значительной степенью неопределенности. На рис.2 проиллюстрировано продвижение фронта воды и нефти к газовой части залежи при разработке газовой шапки на режиме истощения пластовой энергии с 2012 по 2020 гг.

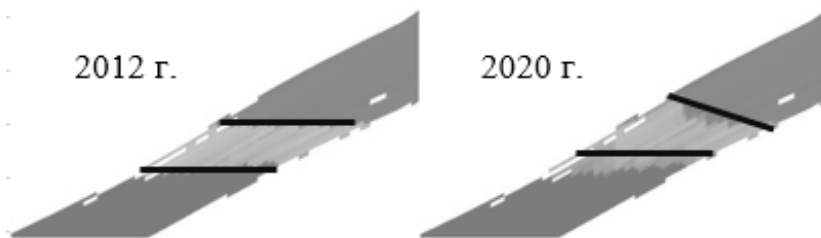


рис.2. Смещение контактов в направлении к газовой части залежи

Результаты расчета (рис.3) свидетельствуют о том, что при достижении коэффициента извлечения газа (КИГ) 0,9 д. ед. 80 % подвижных запасов нефти становятся неизвлекаемыми (при использовании традиционных способов извлечения нефти). Текущие потери подвижных запасов нефти (при КИГ 0,2 д. ед.) оцениваются в размере 30 % от начальных.

Таким образом, результаты проведенной численной оценки проявления эффекта расформирования нефтяной оторочки свидетельствуют о негативном влиянии первоочередной разработки ГШ на последующее извлечение нефти. Исходя из этого, с целью максимизации добычи нефти необходимо как можно раньше осуществлять ввод нефтяной оторочки в эксплуатацию с момента начала разработки газовой шапки.

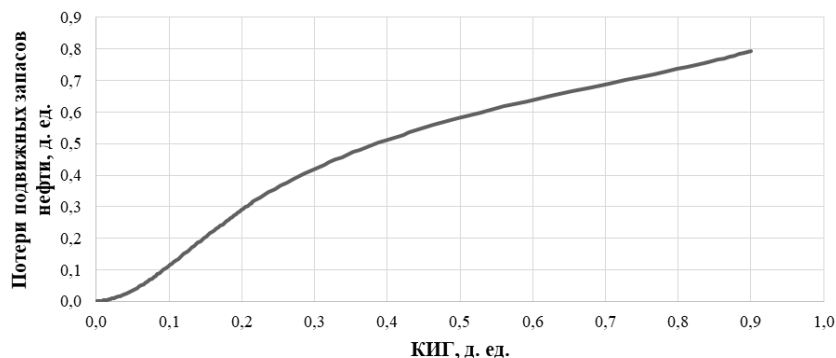


рис.3. Потери подвижных запасов нефти по мере выработки запасов газовой шапки

Список публикаций:

[1] Буракова С. В. // Проблемы освоения тонких нефтяных оторочек газоконденсатных залежей Восточной Сибири // Вести газовой науки: научно-технический сборник. 2013. №5(16). С. 248-251.

[2] Jia L // Experimental investigation of nature gas production rate's effect on the reservoirs with gas cap // Journal of clean Energy Technologies. 2014. №3(2). С. 248–251.

Алгоритм гидравлического расчета неизотермических нефтепроводов

Латыпов Руслан Илгизарович

Бакирский государственный университет

Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.

latypovruslan1@gmail.com

Вязкость нефти зависит от содержания высокомолекулярных соединений: чем больше этих соединений, тем выше вязкость нефти. К настоящему времени сложилась ситуация, когда в структуре запасов углеводородов резко возросла доля вязких сортов. Их запасы более чем в два раза превышают объемы мировых запасов легкой маловязкой нефти.

Вязкая нефть создаёт целый ряд проблем как на стадии её добычи, подготовки к транспортировке, так и при перекачке по трубопроводам. Самая главная — это рост её вязкости при снижении температуры. Она загустевает и процесс её продвижения по трубам становится крайне сложным, энергозатратным, а иногда и вообще невозможным.

Для увеличения эффективности процесса транспортировки вязкой и высоковязкой нефти используют методы их предварительного нагрева наряду с нагревом трубопровода, смешения или разбавления легкими углеводородными разбавителями, применяют различные присадки. Каждый из этих методов направлен на снижение вязкости, а также энергии, необходимой для повышения текучести нефти по трубопроводам [1].

Основной способ снижения вязкости нефти — это её термический нагрев. Он осуществляется при помощи:

- котлов, выделяющих тепло при сжигании угля, природного газа или нефти, отбираемой из этого же нефтепровода;
- отвод тепла, выделяемого при работе насосов при перекачке нефти на нефтеперекачивающих станциях;
- электрический обогрев нефтепровода.

Процесс термообработки заключается в нагреве нефти до температуры, при которой растворяются содержащиеся в ней твердые парафиновые углеводороды.

Для оптимизации процесса перекачки, а именно недопущения застывания нефти и уменьшение энергозатрат на ее перекачку, необходимо построить модель для расчета напорных характеристик в неизотермических нефтепроводах.

Для построения напорной характеристики используется формула Черникина В.И. [2],

$$H = \beta \frac{Q^{2-m} \nu_n^m}{D^{5m}} L \frac{e^{mu(t_n - t_0)}}{aL} \{Ei[-mu(t_n - t_0)] - Ei[-mu(t_k - t_0)]\}, \quad (1)$$

где β , m – коэффициенты Лейбензона; Q – объемный расход; D – внутренний диаметр нефтепровода; ν_n – кинематическая вязкость; L – длина нефтепровода; u – коэффициент крутизны вискограммы; t_n – температура подогрева нефти; t_0 – температура окружающей среды; t_k – температура нефти в конце нефтепровода.

В эту формулу входит t_k , которая определяется по формуле Шухова [3]

$$t_k = t_0 + (t_n - t_0)e^{-aL}, \quad (2)$$

где a – коэффициент в формуле Шухова, который вычисляется по формуле

$$a = \frac{K\pi D}{\rho Q c}, \quad (3)$$

где K – полный коэффициент теплопередачи; ρ – плотность нефти; c – удельная теплоемкость нефти.

В практических расчетах полный коэффициент теплопередачи подбирается вручную, что является процессом трудоемким и не очень эффективным.

В настоящей работе предложен алгоритм расчета для неизотермических нефтепроводов и написана программа, интерфейс которой показан на *рис.1*, позволяющая строить напорную характеристику неизотермического трубопровода, в которой полный коэффициент теплопередачи вычисляется автоматически методом последовательных приближений с заданной точностью.

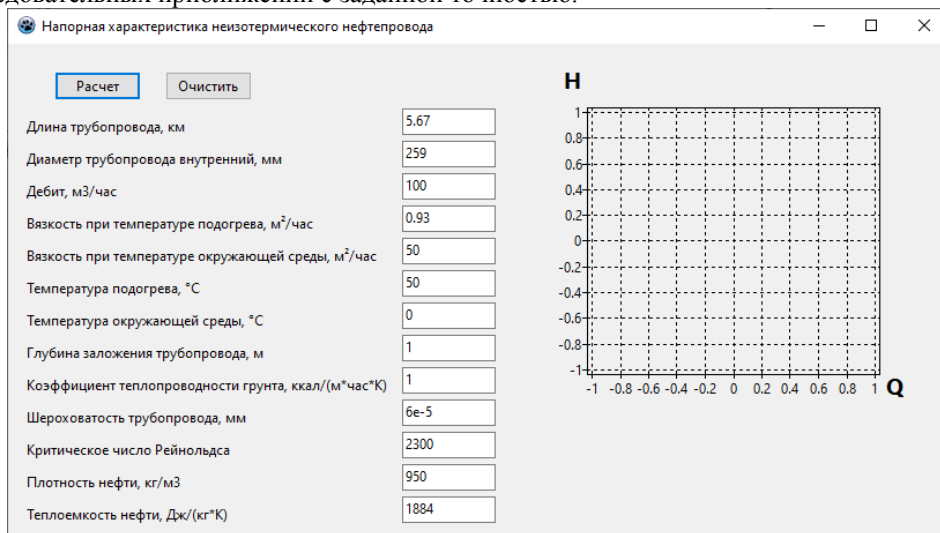


рис.1. Интерфейс программы

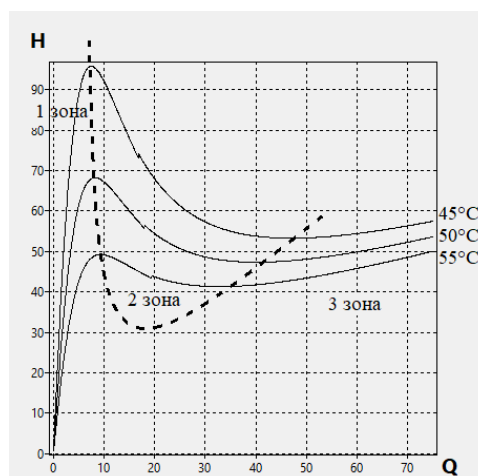


рис.2. Напорные характеристики неизотермических нефтепроводов при различной температуре подогрева

На рис.2. можно заметить три зоны. 1 – зона низкого расхода, 2 – неустойчивая зона, 3 – рабочая зона магистрального нефтепровода. Главная задача обслуживающего нефтепровод персонала не допустить перехода работы нефтепровода из зоны 3 в зоны 2 и 1, т.к. это может повлечь за собой снижение расхода вплоть до полной остановки нефтепровода. Таким образом, разработана программа, очень важная для практического применения, которая может быть использована для перекачки вязкой и высоковязкой нефти по неизотермическим нефтепроводам.

Список публикаций:

- [1] Газизов Р.Э., Солодова Н.Л., Вагапов Б.Р. Трубопроводный транспорт тяжелой нефти и битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2017. №10.
[2] Черников В. И. Перекачка вязких и застывающих нефтей //М.: Гостоптехиздат. – 1958.
[3] Шухов В. Г. Трубопроводы и их применение к нефтяной промышленности //ВГ Шухов–Москва. – 1895.

Влияние негерметичности устьевого оборудования на результаты интерпретации кривой падения давления

Латыпова Резеда Рамилевна

Башкирский государственный университет

Сарапулова Вероника Владимировна, к.ф.-м.н.

Latypova.rezeda98@mail.ru

Для построения карты изобар месторождения с водонапорным методом разработки необходимо иметь достоверную информацию о пластовом давлении не только в зоне отбора, но и в зоне нагнетания, которая определяется по результатам гидродинамических исследований скважин (ГДИС). К методам ГДИС на неустановившихся режимах течения относятся исследования методом кривой восстановления давления (КВД), кривой падения давления (КПД) как на добывающих, так и на нагнетательных скважинах.

Метод КПД в нагнетательной скважине предполагает прекращение подачи жидкости в пласт и герметичное закрытие на её устье, после которого начинается регистрация падения давления. Но в реальных условиях не всегда выполняется условие герметичности, то есть скважина на устье пропускает жидкость, что является одной из причин снижения достоверности исследования методом КПД. И с каждым годом процент неуспешных или низких оценок интерпретации КПД увеличивается из-за негерметичности устьевого оборудования.

Например, на нефтяных месторождениях Западной Сибири за 2019 год было проведено 31% исследований методом КПД на нагнетательных скважинах от всех ГДИС, из которых неуспешными и с низкой достоверностью являются 36%. В свою очередь, снижение достоверности исследования по причине негерметичности устьевого оборудования скважины составляет 38% от всех неуспешных исследований методом КПД.

В связи с этим, задача о влиянии пропусков нагнетательной скважины на определяемые параметры пласта методом КПД является актуальной.

В работе было проведено численное моделирование с различными значениями (5%, 10%, 25% и 50% от дебита нагнетающей скважины) и длительностью пропусков, а также различной проницаемостью (0,1мД, 1мД, 10мД, 100мД) и приемистостью для вертикальной скважины и скважины с ГРП в программном модуле «Saphir». Для этого были рассмотрены реальные примеры различных типов пропусков. На основе разделения пропусков на явные и неявные типы проводилась интерпретация данных двумя способами. В первом предполагалось, что интерпретация начинается с момента фактического начала КПД, а во втором, что интерпретация начинается с момента устранения пропуска. Было получено, что в случае явных пропусков для вертикальной скважины небольшие объемы (5%, 10% от приемистости) и длительность пропусков практически не влияют на получаемые параметры пласта (пластовое давление, проницаемость, скин-фактор, коэффициент влияния ствола скважины), то есть определяются корректно с допустимой для практики погрешностью. А при проведении интерпретации вторым способом было получено, что проницаемость и скин-фактор значительно отличаются от достоверных значений.

Изучение динамики образования кристаллов карбоната кальция путем экспериментального и математического моделирования

Латыпова Татьяна Викторовна

Киреев Виктор Николаевич

Башкирский государственный университет

Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.

tkarpev@mail.ru

Одним из самых распространенных видов осложнений при эксплуатации нефтяных скважин является солеотложение на скважинном оборудовании [1]. Выпадение неорганических солей приводит к увеличению числа аварийного ремонта скважин, простоев скважин, уменьшению дебита нефти, удорожанию себестоимости нефти. Среди неорганических солей можно выделить такие соли, как карбонат кальция, магния, сульфат кальция, бария, кальция, хлорид натрия, встречающиеся во многих нефтедобывающих регионах Российской Федерации: Западная Сибирь, Башкирия, республика Татарстан, Пермь, Оренбург [2].

В работе [3], проделанной мной ранее, проведено экспериментальное исследование динамики образования кристаллов карбоната кальция при смешивании водных растворов солей хлорида кальция и карбоната натрия на микроуровне в каналах микрофлюидного устройства, который был изготовлен с помощью метода мягкой литографии (рис.1).

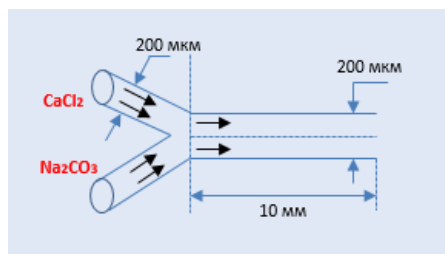


рис.1. Схематическое изображение геометрии микроканалов микрофлюидного устройства.

Для детального изучения влияния роста кристаллов на фильтрационные характеристики изготовлена модель, позволяющая регистрировать отдельные кристаллы. Данное микрофлюидное устройство умещается на предметном стекле и представляет собой систему из двух смыкающихся микроканалов шириной 200 мкм и высотой 100 мкм, через которые раздельно подаются растворы соли хлорида кальция и карбоната натрия с концентрацией 0,01 моль/л при постоянном расходе 2 мкл/мин (рис.2). Ячейка изготовлена из оптически прозрачных материалов – стекло и полимер полидиметилсилоксан, видеорегистрация велась на расстоянии 5 мм от места смешивания солей (отмеченная область на рис.2). Реагенты прокачивались через микроканал в течение 20 минут.

На рис.2 показаны изображения кристаллов карбоната кальция, в результате осажденные в микроканале. Во всех экспериментах наблюдались кристаллы двух типов. Кристаллы 1-го типа с четко выраженными гранями являются кристаллами кальцита, а поликристаллические образования округлой формы (тип 2) – ватеритом рис.3.

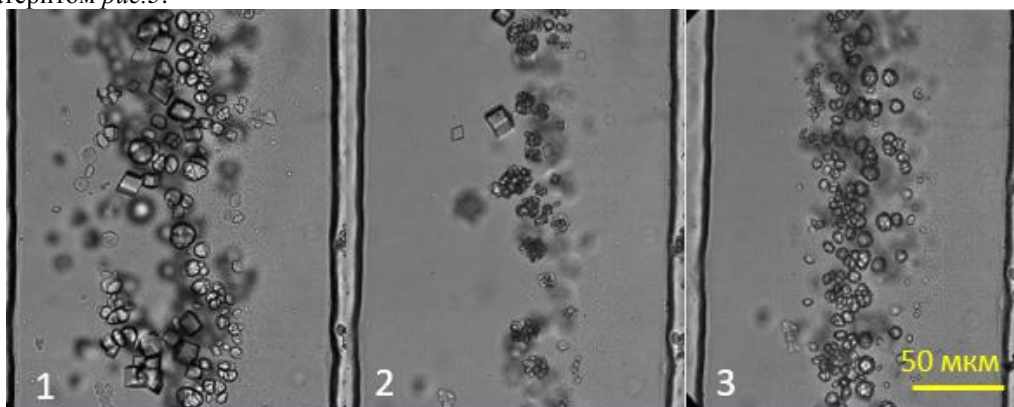


рис.2. Изображения кристаллов карбоната кальция, в результате осажденные в микроканале.

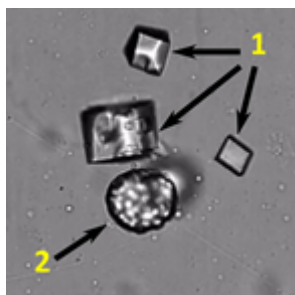


рис.3. Кристаллы карбоната кальция ватерит и кальцит.

Полученные изображения иллюстрируют возможность использования микрофлюидного устройства для получения, визуализации и анализа роста кристаллов карбоната кальция. Однако многочисленные эксперименты показывают плохую повторяемость для размера и количества кальцитов и ватеритов. Образование и скорость роста кристаллов сильно зависят от чистоты проводимого эксперимента [4]. Поэтому было принято решение создать математическую модель, позволяющую провести численные эксперименты с варьированием всеми переменными, определяющими процесс, и получить максимальную воспроизводимость результатов. Разработана нестационарная двухмерная конвективно-диффузионная модель, которая решается численно методом контрольного объема [5]. Компьютерная программа написана на языке Object Pascal в среде разработки Lazarus.

Список публикаций:

[1] Канзафаров Ф.Я. и др. Влияние солеотложения на процесс коррозии эксплуатационных колонн добывающих скважин //Вестник ЦКР Роснедра. – 2013. – №. 1.

[2] Исаева Г.Ю. Разработка методики и модели компьютерного прогнозирования процесса солеотложения в нефтяных пластах при заводнении //Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06. – Москва, 2000. – 163 с.

[3] Карпей Т.В. Исследование кристаллообразования карбоната кальция в водном растворе//Материалы конференции Двадцать третья Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых. – Екатеринбург, 2017. – 166 с.

[4] Yashina A., Meldrum F., deMello A. Calcium carbonate polymorph control using droplet-based microfluidics //Biomicrofluidics. – 2012. – Т. 6. – №. 2. – С. 022001.

[5] Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – 1984. – 152 с.

Экспериментальное исследование влияния электромагнитной обработки нефти на величину отложений парафина и АСПО на внутренних стенках нефтепроводов

Мухарямова Гульшат Ильдаровна

Башкирский государственный университет

Ковалева Лиана Ароновна

gulshat-karimova-1993@mail.ru

Две трети запасов нефти в России являются трудно извлекаемыми с осложненной реологией, высокой плотностью, высоким содержанием парафинов и асфальтенов. При транспортировке и хранении таких нефтей, одной из ключевых проблем, вызывающих осложнения в работе технологического оборудования, являются асфальтосмолистые и парафиновые отложения (АСПО) [1,2].

Накопление АСПО в нефтепроводах и оборудовании насосных станций приводит к резкому падению производительности трубопроводной системы – увеличению величины необходимого для транспортировки нефти давления и уменьшению производительности перекачки. На сегодняшний день в промышленности применяется множество методов борьбы с АСПО (Рис 1). Принципиально эти методы делятся на превентивные (предотвращение отложений) и непосредственную борьбу с уже выпавшими отложениями [3,4].

Известно, что борьба с АСПО весьма затратный и трудоемкий процесс, поэтому экономичнее не допускать, либо минимизировать количество отложений в трубопроводных системах путем применения превентивных методов. Данная работа посвящена исследованию физического превентивного метода борьбы с АСПО – электромагнитной обработке.

В рамках экспериментальных исследований была произведена электромагнитная обработка полями высокой (13,56 МГц) и сверхвысокой частоты (2,4 ГГц) нескольких сортов нефти, с последующим моделированием процесса перекачки этих нефтей по нефтепроводам.

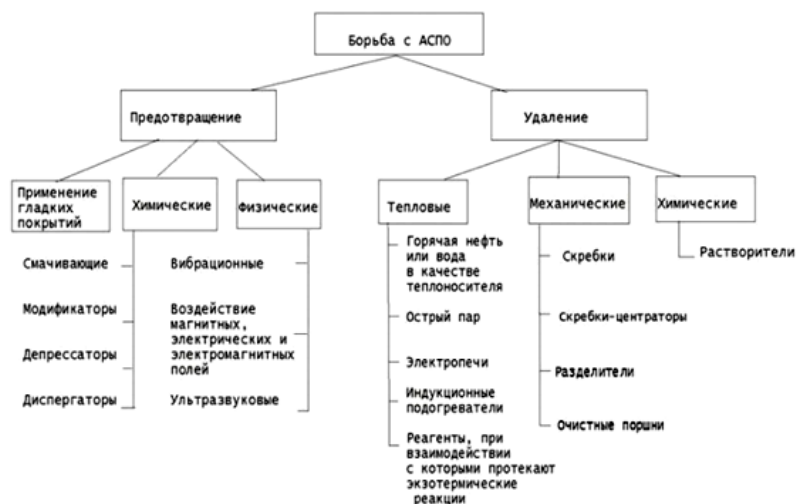


рис.1. Методы борьбы с асфальтосмолистыми и парафиновыми отложениями

Обработанная и необработанная нефти прокачивались с помощью шприцевого насоса по трубочкам с заранее замеренными значениями массы, и диаметрами 0,050 и 0,025 дюймов с различными скоростями, при одной и той же температуре, после этого трубочки освобождались от нефти и снова подвергались взвешиванию. Результаты исследований для Сибирской (с повышенным содержанием асфальтенов и смол) и Девонской (с повышенным содержанием парафина) нефтей представлены на рисунках (рис. 2,3).

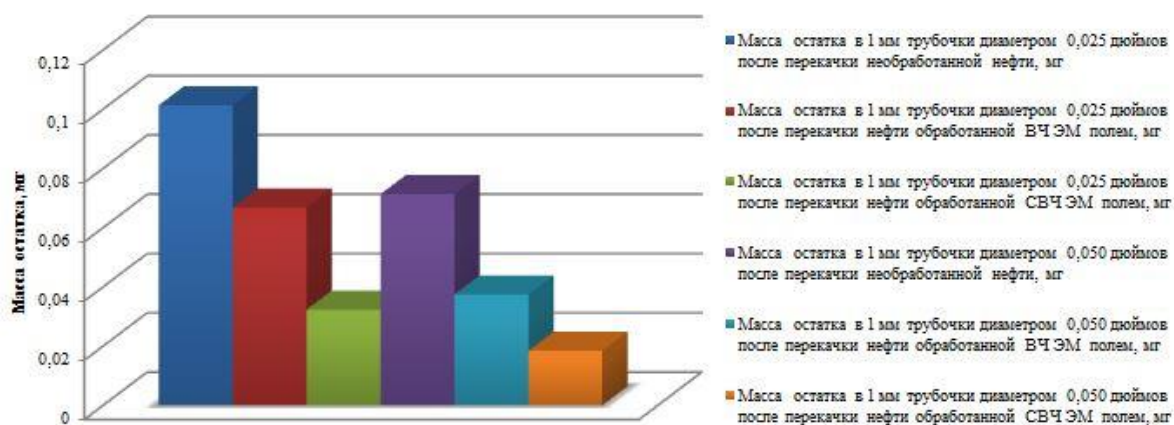


рис.2. Результаты исследований влияния электромагнитной обработки на величину АСПО на внутренних стенках нефтепровода, по которому осуществляется транспортировка Девонской нефти

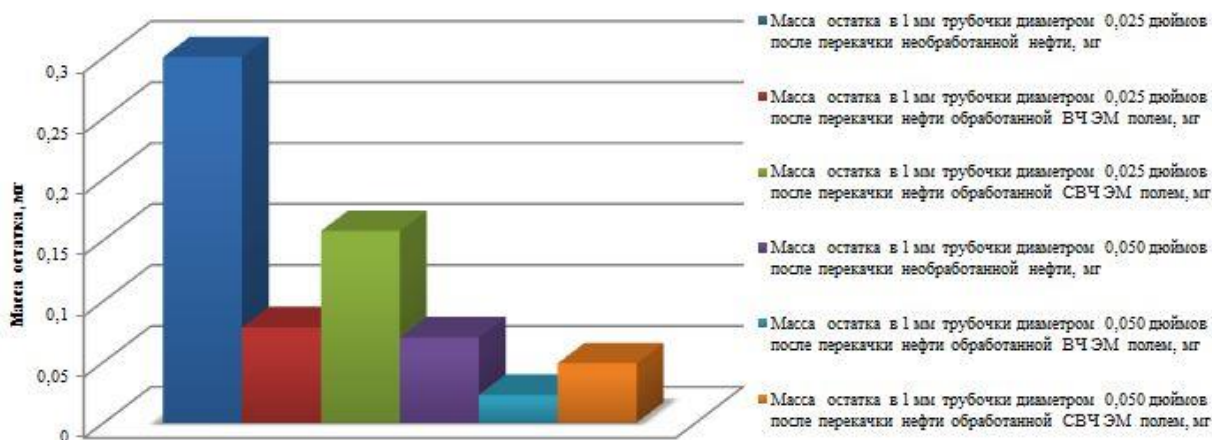


рис.3. Результаты исследований влияния электромагнитной обработки на величину АСПО на внутренних стенках нефтепровода, по которому осуществляется транспортировка Сибирской нефти

Как видно из рисунков высокочастотная и сверхвысокочастотная электромагнитные методы обработки способствуют уменьшению количества отложений АСПО на внутренней стенке нефтепровода. Кроме того эффективность того или иного метода обработки зависит от состава (сорта) нефти. Для парафинистых нефтей наиболее эффективна ВЧ ЭМ обработка, а для нефти с повышенным содержанием асфальтенов и смол – СВЧ ЭМ. Таким образом, электромагнитная обработка способна стать достаточно эффективным превентивным способом борьбы с отложениями АСПО на внутренних стенках нефтепроводов.

Список публикаций:

- [1] Шмелев П.И. // ТРИЗ как объективная реальность. Особенности классификации и разработки трудноизвлекаемых запасов// Журнал «Сибирская нефть» Изд-во ПАО «Газпром-Нефть». 2018. № 149. С.16.// Электронная версия журнала // <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-march/1489610/>
- [2] Абдель-Гани, А. Ш. Отложение парафина на стенках нефтепроводов при понижении их производительности / А. Ш. Абдель-Гани // Трубопроводный транспорт нефти и газа. – М., 1963. – Вып. 46. – С. 156–164.
- [3] Абрамзон, Л. С. О запарафинивании нефтепроводов / Л. С. Абрамзон, В. А. Яковлев // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – М., 1964. – Вып. 3. – С. 63–70.

Математическое моделирование процесса гравитационного осаждения суспензии

Мухутдинова Айгуль Айратовна
Башкирский государственный университет
 Киреев Виктор Николаевич, к.ф.-м.н.
muhutdinova18@gmail.com

Процесс образования отложений на стенках труб при течении растворов встречается в повседневной жизни, например, в трубах горячего водоснабжения, в медицине это отложение холестериновых бляшек в сосудах. В химии процесс осаждения применяется для очистки реактивов, заключающийся в переводе примеси (или основного вещества) в осадок [1]. В нефтедобывающей промышленности отложения образуются на стенках насосов, клапанов, а также на внутренней поверхности скважинного оборудования [2].

Осаждение - это процесс разделения неоднородных систем, при котором взвешенные в жидкости или газе твердые или жидкие частицы отделяются от сплошной фазы под действием силы тяжести, сил инерции (в том числе центробежных) или электростатических сил (рис. 1.).

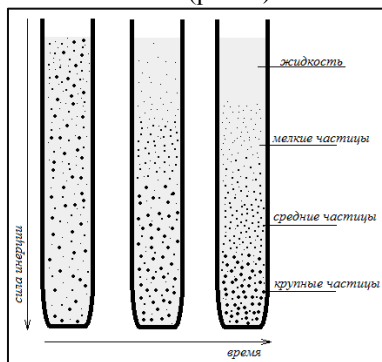


рис.1. Процесс осаждения частиц в жидкости

Целью данной работы является определение закономерностей процесса гравитационного осаждения суспензии с помощью численного моделирования.

Была построена математическая модель седиментации монодисперсных суспензий [3]. Динамика концентрации дисперсных частиц $c(x, t)$ описывается одномерным уравнением конвекции-диффузии:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u(c) \cdot c) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(c) \frac{\partial c}{\partial x} \right), \quad 0 < x < x_{\max}, \quad t > 0, \quad (1)$$

где $u(c)$ - скорость оседания дисперсных частиц, $D(c)$ - коэффициент диффузии.

В качестве граничных условий используется условия третьего рода, которые говорят об отсутствии конвективного и диффузионного потоков через границу:

$$\left(u(c) \cdot c - D(c) \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0, x_{\max}} = 0 \quad (2)$$

Концентрация в начальный момент времени предполагается постоянной

$$c|_{t=0} = c_0.$$

Начальная скорость осаждения частицы в суспензии отличается от ее конечной скорости, окружающие частицы препятствуют и ограничивают противоток окружающей непрерывной фазы. Для описания факторов, которые влияют на замедление скорости осаждения, используются формулы [4]:

$$u(c) = u_T \cdot f_h(c), \quad f_h = \frac{\mu_c(1-c_0)}{\mu} \quad (3)$$

Коэффициент диффузии определяется по формуле Стокса-Эйнштейна.

$$D(c) = \frac{k_B T}{3\pi\mu d} \quad (4)$$

В качестве численного метода был выбран метод контрольного объема [5] и написана программа на языке программирования C++ в кроссплатформенной среде разработки Qt Creator.

Результаты численного моделирования приведены на рис.2 и рис.3. Распределения концентраций частиц одинакового диаметра в разные моменты времени (рис.2) позволяют оценить время полного расслоения суспензии. Распределения концентраций частиц разных диаметров в один и тот же момент времени (рис.3) показывают, что при увеличении диаметра частиц процесс осаждения происходит быстрее.

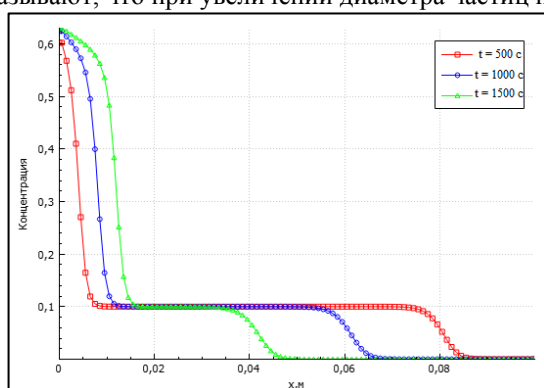


рис. 2. Концентрация частиц в суспензии в различные моменты времени

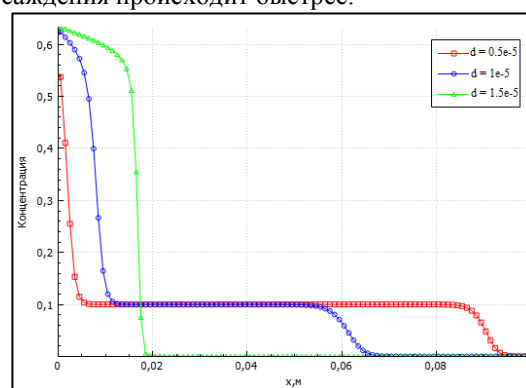


рис. 3. Концентрация частиц разных диаметров в суспензиях

Список публикаций:

- [1] Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. // Изд-во «Химия». М. 1972. С. 496.
- [2] Crabtree M, Eslinger D, Fletcher P, Miller M, Johnson A, King G: Fighting Scale – Removal and Prevention, Oilfield Review 11, 1999 p.15.
- [3] Antonopoulou, E., Rohmann-Shaw, C. F., Sykes, T. C., Cayre, O. J., Hunter, T. N., Jimack, P. K.. Numerical and experimental analysis of the sedimentation of spherical colloidal suspensions under centrifugal force. Physics of Fluids, 2018. p.12.
- [4] Richardson J. F., Zaki W. N., Sedimentation and fluidization: Part I, Chem. Eng. Res., p.19.
- [5] Патанкар С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости // Пер. с англ. – М., Энергоатомиздат, 1984, -152 с.

Динамика сферического тела в вертикальном цилиндре с жидкостью при модулированном вращении

Соломенников Максим Николаевич

Власова Ольга Андреевна, Карпунин Иван Эдуардович

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Власова Ольга Андреевна, к.ф.-м.н.

solomennikov@pspu.ru

Одним из наиболее распространённых в природе и интересных видов движения является вращение. Гидродинамика вращающихся систем обладает рядом специфических особенностей, что объясняется действием силы Кориолиса и центробежной силы. Вращающиеся гидродинамические системы, неоднородные по плотности, характеризуются широким спектром колебательных режимов. Особый интерес, в связи с возможными техническими приложениями, представляет динамика тяжелых тел. Так в работе [1] впервые описана теория и экспериментально обнаружено, что на тяжелое тело в заполненной жидкостью полости (коаксиальный слой), совершающей вращательные колебания, действует осредненная подъемная сила во всем объеме полости. Эффект возникновения отрыва тяжелого тела, как показано в работе [2], возникает и в полости, совершающей модулированное вращение.

В настоящей работе экспериментально изучается поведение тяжелого сферического тела в вертикально расположенной цилиндрической полости (рис.1), заполненной вязкой жидкостью, в случае её быстрого вращения. Полость вращается с угловой скоростью $\Omega = \Omega_{rot}(1 + \varepsilon \cos \Omega_{lib}t)$, где $\Omega_{lib} = 2\pi f_{lib}$ – частота модуляции скорости, $\Omega_{rot} = 2\pi f_{rot}$ – средняя скорость вращения полости, $\varepsilon = \varphi_0 \Omega_{lib} / \Omega_{rot}$ – амплитуда модуляции скорости вращения полости. Динамика тела изучается при Ω_{rot} достаточной для удержания тела в центрифугированном состоянии. При модуляции скорости вращения граница полости на фоне равномерного вращения совершает азимутальные колебания с заданной амплитудой φ_0 и частотой Ω_{lib} , а тело за счет вязкого взаимодействия откликается на возмущение, совершая азимутальные колебания с амплитудой φ_b . В результате на части периода генерируется подъемная сила, отталкивающая тело от границы.

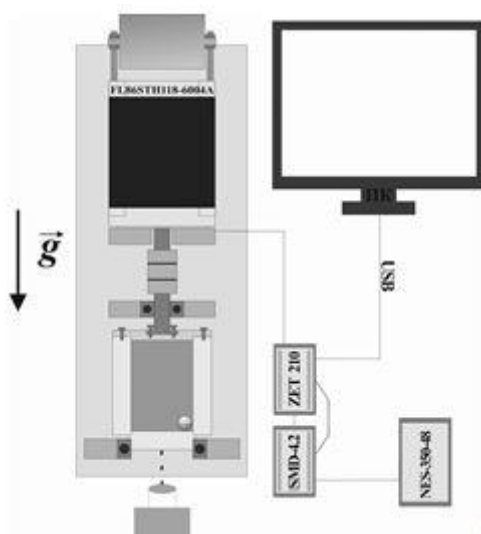


рис.1. Схема экспериментальной установки

Ранее проведенные исследования с цилиндрическим тяжелым телом в неравномерно вращающейся полости показали, что в ходе осциллирующего движения тела возникает осредненная подъемная сила в направлении от внутренней стенки полости [3]. Тяжелый цилиндр отрывается от стенки и переходит в «подвешенное» состояние на некоторое расстояние d , которое не изменяется со временем и его величина зависит от амплитуды и частоты модуляции скорости вращения полости. В случае сферического тела наблюдается подобный характер азимутальных колебаний. Тяжелое тело, вследствие осцилляций стенки полости (рис.2а), совершает колебания вдоль стенки полости с амплитудой φ_b (рис.2б). Частота и фаза азимутальных колебаний полости и тела совпадают. Стоит отметить, что на рис.2б присутствует наклон графика, это говорит о том, что при больших значениях ε возникает отстающий дрейф тела. В отличие от случая с цилиндром неоднородное по скорости вращения полости генерирует периодически возникающую подъемную силу. В результате при увеличении скорости вращения полости (максимумы на рис.2а) тело прижимает к внутренней стенке кюветы (рис.2в), а уменьшение скорости вращения (минимумы на рис.2а)

приводит к отрыву тела и наблюдается увеличение величины зазора d . Частота периодически меняющегося значения зазора совпадает с частотой заданных возмущений, при этом фаза колебаний не совпадает. Тело с некоторым отставанием реагирует на изменение скорости вращения полости, поскольку находясь в «подвешенном» состоянии взаимодействует со стенкой через слой жидкости, а не напрямую.

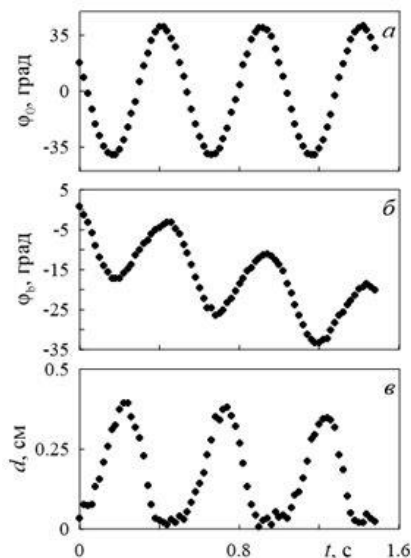


рис.2. Изменение со временем амплитуды азимутальных колебаний полости (а), амплитуды азимутальных колебаний тела (б) и зазора между телом и стенкой полости (в) при $\Omega_{rot}=\Omega_{lib}=12.6$ рад/с и $\varepsilon=0.7$

Список публикаций:

- [1] Kozlov V.G. *Solid-body dynamics in cavity with liquid under high-frequency rotational vibration* // *EPL (Europhysics Letters)*. 1996. Vol. 36. No. 9. P. 651.
 [2] Kozlov N.V., Vlasova O.A. *Behavior of a heavy cylinder in a horizontal cylindrical liquid-filled cavity at modulated rotation* // *Fluid Dynamics Research*. 2016. Vol. 48. No. 5. P. 055503
 [3] Vlasova O.A., Kozlov V.G., Kozlov N.V. *Lift Force Acting on a Heavy Solid in a Rotating Liquid-Filled Cavity with a Time-Varying Rotation Rate* // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2018. T. 59. №. 2. С. 219-228.

Численное исследование динамики двух близкорасположенных деформируемых капель в сдвиговом потоке

Фаткуллина Назгуль Байтулловна

Абрамова Ольга Александровна, Булатова Айгузель Загировна

Центр Микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем

Башкирский государственный университет

Абрамова Ольга Александровна, к.ф.-м.н.

nazgulbay1999@gmail.com

В природе широко распространены различные типы дисперсных систем, такие как эмульсии, суспензии и пузырьковые жидкости. Эмульсии, например, активно применяются во многих отраслях промышленности, науки и техники, включая нефтегазовую отрасль, биофизику, пищевую промышленность. Особенно актуальным является изучение реологических характеристик таких систем «жидкость-жидкость». Результаты исследований, проводившихся в течение длительного времени, показали, что микроструктура эмульсий значительным образом влияет на реологию всей системы в целом.

В настоящей работе исследуется динамика двух близкорасположенных деформируемых капель в объеме вязкой несжимаемой жидкости под действием сдвигового потока. Процессы изотермические и рассматриваются при малых числах Рейнольдса и умеренных числах Струхала. Таким образом, течение жидкостей описывается уравнениями Стокса при следующих граничных условиях: на границе раздела фаз скорости жидкостей совпадают и задан вектор разности нормальных напряжений. Для решения поставленной задачи применялся трехмерный метод граничных элементов (МГЭ) [3], который позволяет значительно уменьшить вычислительную сложность задачи. В данном случае исходные дифференциальные уравнения, описывающие поведение функции внутри и на границе области преобразовываются в интегральные уравнения,

которые связывают только значения на границе раздела фаз. В связи с этим исчезает необходимость в дискретизации всей трехмерной области, то есть только поверхности капель покрыты треугольной сеткой.

В случае сеток небольшого размера используется неускоренная версия МГЭ. Однако при увеличении масштаба задачи возникают проблемы, обусловленные нехваткой памяти вычислительной системы. В таком случае необходимо ускорение метода граничных элементов. Для решения данной проблемы был разработан модуль матрично-векторного произведения, реализованный на графических процессорах (GPU) с использованием технологии CUDA, в котором по отдельности «на лету» вычисляется каждый элемент матрицы по заданным формулам. В данном случае в памяти хранятся только результаты матрично-векторного произведения, так как нет необходимости в хранении всей матрицы. Таким образом, сокращается время вычислений и появляется возможность решения задач размером до сотен тысяч расчетных узлов на одной рабочей станции. Метод граничных элементов, ускоренный на GPU и успешно реализованный авторами ранее, более подробно описан в работах [1, 2].

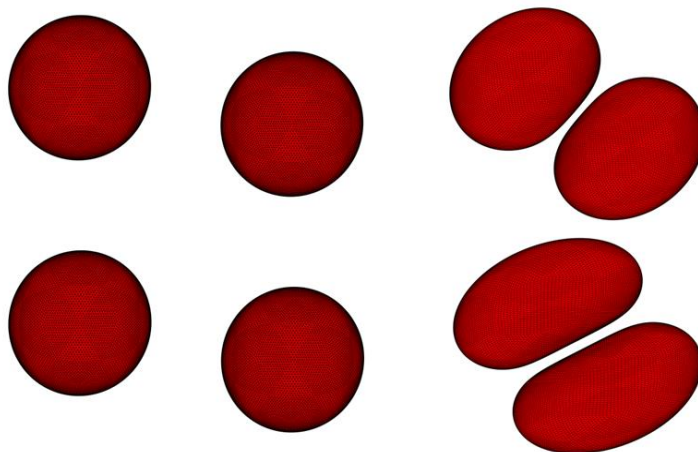


рис.1. Динамика двух близкорасположенных капель в сдвиговом потоке в плоскости xz в различные моменты времени при $Ca=0.1$, $\lambda=5$ (сверху) и $Ca=0.4$, $\lambda=5$ (снизу), расстояние между координатами центров масс в начальный момент времени $dx=3$, $dy=0.5$, $dz=0$.

Рассматривались две капли с высокой степенью дискретизации, содержащей 20 480 треугольных элементов. В данной работе была изучена динамика капель в сдвиговом потоке при различных параметрах, таких как, капиллярное число $Ca = \frac{\mu_1 a G}{\gamma}$, где μ_1 - динамическая вязкость несущей жидкости, a - радиус капли, G - скорость сдвига, γ - коэффициент поверхностного натяжения, λ - отношение вязкостей внутри и снаружи капель, а также расстояние между координатами центров масс капель Δ . Для многопараметрического исследования динамики капель были проведены расчеты для широкого диапазона капиллярных чисел и соотношений вязкостей. Расстояние между центрами капель варьировалось от 0.5 до 1. В начальный момент времени центр каждой капли располагается в определенной точке пространства, далее под действием сдвигового потока происходит перемещение и деформация капель. На (рис. 1) представлены результаты моделирования динамики капель с одним и тем же соотношением вязкости внутренней и внешней жидкости $\lambda = 5$, но при разных значениях капиллярного числа $Ca = 0.1$ и $Ca = 0.4$. Изначально капли были сферическими, равного радиуса, и с расстояниями между координатами центров масс: $dx = 3$, $dy = 0.5$, $dz = 0$. С течением времени расстояние между поверхностями капель уменьшается до минимального значения h_{min} . Но ввиду отсутствия сил Ван-дер-Ваальса в рассматриваемой модели коалесценция капель не происходит.

Рассмотрена трёхмерная динамика деформируемых капель равного радиуса в сдвиговом потоке в широком диапазоне значений капиллярного числа и соотношения вязкостей. Проведено параметрическое исследование вклада дисперсной фазы в тензор напряжений всей системы, а также первая и вторая разности нормальных напряжений, в зависимости от времени. Рассмотрено изменение во времени минимального расстояния между поверхностями капель.

Для расчетов использовался персональный компьютер, оснащенный двумя CPU Intel Xeon 5660 и графической картой NVIDIA Tesla K20. Программные модули разработаны в среде MATLAB.

Исследование проведено при финансовой поддержке гранта президента РФ МК-549.2019.1.

Список публикаций:

- [1] Pityuk Yu.A., Abramova O.A., Fatkullina N.B., Bulatova A.Z. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 2019. P. 338-352.
- [2] Abramova O.A., Pityuk Yu.A., Gumerov N.A., Akhatov I.Sh. // *Communications in Computer and Information Science (CCIS)*. 2017. P. 317-330.
- [3] Pozrikidis C. // *Cambridge University Press*. 1993. P. 301-320.

Моделирование неустановившейся фильтрации в системе пласт - трещина ГРП

Хисамов Артур Альфирович

Башкирский государственный университет

ООО «РН-БашНИПИнефть»

Хабибуллин Ильдус Лутфурахманович, д.ф.-м.н.

khisamovartur@list.ru

Гидравлический разрыв пласта, заключающийся в создании трещин, пересекающихся со скважинами, в настоящее время является одним из основных методов интенсификации добычи трудно извлекаемых запасов углеводородов. Наличие трещин гидроразрыва приводит к существенным изменениям геометрии и динамики процесса фильтрации. Поэтому является актуальным математическое моделирование процессов фильтрации в пласте с трещиной гидроразрыва. Эти модели достаточно полно разработаны в стационарном приближении. Нестационарные процессы распределения давления исследованы в основном применительно к гидродинамическим методам исследования скважин, которые охватывают ограниченный интервал пространственно-временных изменений давления (расстояния порядка радиуса скважины и времена намного меньшие, чем характерное время фильтрации). Коллектора с трудно извлекаемыми запасами, как правило, характеризуются малой проницаемостью и большой вязкостью нефти. В таких коллекторах, в которых в основном и реализуется гидроразрыв пласта, продолжительность нестационарных процессов перераспределения давления может быть одного порядка с характерным временем фильтрации между скважинами [1]. Поэтому представляет интерес развитие теории нестационарной фильтрации в пластах с трещинами ГРП. В работе представлены новые аналитические решения задачи о нестационарном распределении давления в пласте, пересеченной вертикальной трещиной гидроразрыва при краевых условиях первого, второго и третьего рода на скважине. Решения задач построены методом преобразований Лапласа.

Создание в пласте вертикальных трещин, пересекающихся со скважинами, является одним из эффективных методов интенсификации добычи нефти и газа из малопроницаемых коллекторов. Гидродинамическая связь пласта и скважины, как правило, реализуется только через трещину гидроразрыва. В зависимости от соотношений проницаемостей пласта и трещины, соотношений длины трещины и характерного размера пласта меняются геометрия и интенсивность фильтрационного потока в системе пласт-трещина-скважина. Модели таких фильтрационных потоков достаточно полно развиты в приближении стационарной фильтрации. Нестационарные аналитические модели рассматриваются в основном применительно к задачам гидродинамического исследования скважин и пластов, в которых определяются зависимости от времени дебита скважины или давления на забое скважины, распределения давления в трещине и в пласте не рассматриваются. В то же время, в коллекторах с трудно извлекаемыми запасами, за счет малой проницаемости пласта и большой вязкости нефти, продолжительность нестационарных процессов распределения давления может быть одного порядка с характерным временем процесса фильтрации. Поэтому актуальным является исследование нестационарных моделей фильтрации в системе пласт-трещина с точки зрения развития общей теории этих процессов, а также для развития методов гидродинамических исследований пластов, методов оценки дебита скважин с трещиной гидроразрыва [2-5].

Представлены новые аналитические решения, описывающие нестационарную фильтрацию жидкости в пластах с вертикальной трещиной гидроразрыва. Полученные решения позволяют исследовать распределения давления и скорости фильтрации в системе пласт-трещина при задании на скважине граничных условий первого, второго и третьего родов. Эти решения и их асимптотические представления имеют значимость для теоретического обоснования методов гидродинамических исследований пластов и для оценки дебита скважин с трещиной гидроразрыва. По полученным в работе выражениям можно построить типовые кривые, описывающие изменение давления на забое скважины или дебита скважины со временем. Сопоставительный анализ этих кривых с данными скважинных исследований позволяет определять коллекторские свойства трещины и пласта. Использование решений в случае нагнетательных скважин позволяет описать динамику заводнения пластов с трещинами

Список публикаций:

- [1] Cinco-Ley H., Samaniego V.F. *Transient Pressure Analysis for fractured wells // J. Petrol. Technol.* – 1981. –V.33, N9. – P. 1749-1766.
- [2] Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. *Моделирование нестационарной фильтрации вокруг скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва // Вестник Башкирского университета.* 2017. Т. 22. №2. С. 309-314.
- [3] Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. *К теории билинейного режима фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва // Вестник Башкирского университета.* 2018. Т. 23. №4. С. 958-963.
- [4] Нагаева З.М., Шагапов В.Ш. *Об упругом режиме фильтрации в трещине, расположенной в нефтяном или газовом пласте // ПММ.* 2017. том 81, вып. 3. С. 319-329.
- [5] Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. *Нестационарная фильтрация в пласте с трещиной гидроразрыва // Механика жидкости и газа», Известия Российской академии наук, номер 5, 2019 г.*

Математическое моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости со взвешенными частицами в прямоугольном канале

Юлмухаметова Регина Рафисовна

Мусин Айрат Ахматович

Баширский государственный университет

Ковалева Лиана Ароновна, д.т.н.

Regina.you@mail.ru

Техника гидроразрыва пласта широко используется в нефтяной и газовой отраслях для добычи большего количества нефти и газа в низкопроницаемых коллекторах. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) заключается в закачке в продуктивный пласт жидкости при высоком давлении. При этом происходит раскрытие естественных и образование искусственных трещин. Для расклинивания трещин закачивается песчано-жидкостная смесь (жидкость переноса и проппант). Трещины представляют собой каналы с высокой проводимостью. Поток через них может широко варьироваться в зависимости как от свойств трещины, так и несущей жидкости и проппанта. Основным из негативных результатов ГРП являются неравномерное распределение проппанта вдоль трещины и ее закупоривание [1]. Успешность применения технологии зависит от эффективного планирования мероприятия. Процесс транспортировки проппанта достаточно хорошо изучен экспериментальными методами. Также для эффективного применения технологии интерес представляет математическое моделирование процессов, происходящих в дисперсных системах при их транспортировке в трещинах гидроразрыва пласта.

В данной работе моделируется течение дисперсной системы, состоящей из твердых сферических частиц, взвешенных в вязкой несжимаемой жидкости, в прямоугольном канале. Считается, что жидкость несжимаема, твердые частицы имеют сферическую форму и одинаковый размер, течение является ламинарным. На рисунке 1 представлена схема расчетной области рассматриваемой задачи.

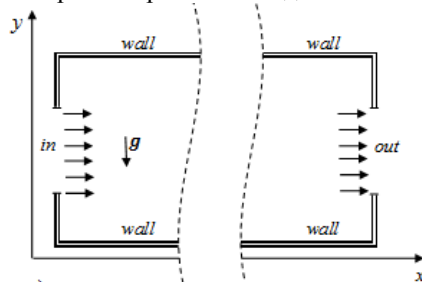


рис.1. Схема расчетной области

Математическая модель написана в диффузионном приближении и включает систему уравнений Навье-Стокса, уравнение неразрывности и уравнение диффузии, записанное с учетом влияния гравитационных сил на частицы. Считается, что в начальный момент времени канал был заполнен чистой жидкостью, система находилась при атмосферном давлении в состоянии покоя.

Решение системы уравнений математической модели осуществлено методом контрольных объемов в программном комплексе OpenFoam.

Проведено численное исследование течения вязкой несжимаемой жидкости с дисперсными частицами в прямоугольном канале для разных значений ширины канала и перепада давления. Представлены результаты математического моделирования процесса в программном комплексе OpenFoam. Продемонстрировано, что при увеличении ширины канала при заданном перепаде давления расслоение дисперсной системы практически не наблюдается, так как скорость течения жидкости превалирует над скоростью оседания сферических частиц. Результаты численного моделирования были сравнены с экспериментальными данными в работе [2]. Была получена хорошая сходимость результатов расчетов и экспериментов, что подтверждает правильность предложенной методики расчета статических характеристик и приемлемость ее для практического применения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90157.

Список публикаций:

[1] А.В. Аксаков, О.С. Борцук, И.С. Желтова, А.В. Дедурин, З. Калуджер, А.В. Пестриков, К.В. Торпов Корпоративный симулятор гидроразрыва пласта: от математической модели к программной реализации // Нефтяное хозяйство. 11'2016. С.35-40.

[2] Yu S Zamula, R R Iulmukhametova, A A Musin, A V Shashkov, L A Kovaleva Experimental and numerical modeling of a viscous incompressible fluid flow with dispersed particles in a rectangular channel // Journal of Physics: Conference Series, 2019. 1359 012039. 6 p.

16 - Материаловедение. Физика кристаллов. Наноматериалы и композиты.

Абдулгафаров Рамазан Рустамович, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт

Изучение фазового перехода в суперионных проводниках

Акманова Гузель Рифкатовна, к.ф.-м.н.

e-mail: nuroshov34@gmail.com стр. 321

Абдуллина Дина Ураловна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Фазовые переходы в пучках углеродных нанотрубок при боковом сжатии

Валитов Венер Анварович, д.т.н.

e-mail: dina.abdullina25@gmail.com стр. 322

Абдуллина Динара Рамиловна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Формирование металлографической текстуры методом комбинированной деформации ковкой и экструзией в сплаве Гейслера системы Ni-Mn-Ga

Мусабилов Ирек Ильфирович, к.ф.-м.н.

e-mail: din2512@yandex.ru стр. 324

Безбородова Полина Александровна, магистрант 1 года обучения

Челябинск, Челябинский государственный университет, физический

Кристаллическая структура сегнетоэлектрических фаз на основе ниобата серебра

Лулицкая Юлия Александровна, к.ф.-м.н.

e-mail: ibragimova-polin@mail.ru стр. 325

Булдашев Иван Владимирович, ассистент

Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, физический

Термодинамический анализ равновесия кубического и тетрагонального бейнита в сталях

Мирзаев Джалал Аминович, д.ф.-м.н.

e-mail: buldashev.ivan@mail.ru стр. 326

Габдрахманова Лилия Айратовна, доцент

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Формирование текстуры деформационными методами в сплавах Гейслера

e-mail: la-gabdrahmanova@mail.ru стр. 327

Гайфуллин Руслан Юнусович, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Влияние температуры пластической деформации методом экструзии на анизотропию термического расширения сплава Гейслера системы Ni-Mn-Ga

Мусабилов Ирек Ильфирович, к.ф.-м.н.

e-mail: gaifullin_1998@bk.ru стр. 328

Гилязова Гульюза Фанузовна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Визуализация единичных молекул асфальтенов, осажденных на слюду

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

e-mail: gilyazovagulyuza@gmail.com стр. 329

Гусева Ксения Евгеньевна, магистрант 2 года обучения

Ярославль, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, физический

Сравнительная характеристика результатов плазменного распыления тонких эпитаксиальных пленок селенида свинца, теллурида свинца и селенида свинца-олова вблизи порога

Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.

e-mail: kseniag96@mail.ru стр. 330

Курбангулов Азат Рифкатович, ст. преподаватель
Стерлитамак, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, Естественнонаучный
Компьютерный дизайн структуры нанокристаллического состояния, модельные расчеты зонной структуры и термоэлектрических свойств теллурида меди в качестве перспективных материалов для квантовых сенсоров

Биккулова Нурия Нагимьяновна, д.ф.-м.н.
e-mail: azatkurbanstr@mail.ru стр. 332

Курбангулов Азат Рифкатович, ст. преподаватель
Стерлитамак, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, естественнонаучный
Расчет фононного спектра халькогенидов меди и серебра

Биккулова Нурия Нагимьяновна, д.ф.-м.н.
e-mail: azatkurbanstr@mail.ru стр. 333

Латыпов Камил Фаридович, ст. преподаватель
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Определение ширины запрещённой зоны нефтяных асфальтенов по оптическим спектрам поглощения в УФ и видимой области

Доломатов Михаил Юрьевич, д.х.н.
e-mail: latypovkf@rambler.ru стр. 335

Лезова Ирина Евгеньевна, инженер
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет, физический
Теплоемкость легированного иттрием диспрозий-алюминиевого граната

Чарная Елена Владимировна, д.ф.-м.н.
e-mail: irina_gospodchikova@mail.ru стр. 336

Лунев Никита Александрович, 3 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Высокотемпературный отжиг тонких пленок a-SiOx различной стехиометрии

Замчий Александр Олегович, к.ф.-м.н.
e-mail: nanochirik9@gmail.com стр. 337

Лулицкая Юлия Александровна, доцент
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Влияние условий синтеза на микроструктуру протонпроводящих керамических материалов на основе церата бария

e-mail: lupitskaya@gmail.com стр. 338

Максимов Глеб Сергеевич, 3 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Физико-технический институт
Неразрушающие методы контроля материалов

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.
e-mail: neondreamer00@gmail.com стр. 339

Местников Николай Иннокентьевич, 3 курс
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, физико-технический институт
Фотопроводимость в ta-C пленках синтезированных плазменным осаждением CH4 и последующей термообработкой

Неустров Ефим Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: nmest98@gmail.com стр. 340

Мойса Максим Олегович, аспирант
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Поляризационные свойства экологически чистых твёрдых растворов состава (1-x-y) NaNbO₃ – x KNbO₃– y Cd_{0,5}NbO₃ (0.05 ≤ x ≤ 0.30, y = 0.15)

Резниченко Лариса Андреевна, д.ф.-м.н.
e-mail: maksim.moysa@mail.ru стр. 341

Муксунов Никита Янович, 3 курс
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Физико-технический институт
Расчет спектра комбинационного рассеяния силициновых нанолент
Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: muksunov97@mail.ru стр. 343

Парфенов Андрей Вадимович, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики
Создание поверхностных наноструктур оксида цинка при обработке пластин металла горячей водой
Кузнецов Дмитрий Константинович, к.ф.-м.н.
e-mail: parfenov132010@mail.ru стр. 344

Пирожков Дмитрий Алексеевич, 1 курс
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Определение гранулометрического состава полититаната калия, модифицированного хромом (III) методами анализа электронно-микроскопических изображений и лазерной дифракции
Саунина Светлана Ивановна, к.ф.-м.н.
e-mail: dmytriy.p1rozhkov@yandex.ru стр. 345

Пономарев Владислав Валериевич, магистрант 2 года обучения
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Физико-технический институт
Расчет колебательных спектров графеновых нанолент
Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: pon_slav@mail.ru стр. 347

Прокопьев Дмитрий Андреевич, 2 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический институт
Исследование фазового состава наночастиц Fe@C в углеродной оболочке методами ЯМР
Михалёв Константин Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: prokopev.dima@mail.ru стр. 348

Сафина Лилия Ришатовна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Атомистическое моделирование получения композита никель-графен разными методами обработки
Баимова Юлия Айдаровна, д.ф.-м.н.
e-mail: safliya@mail.ru стр. 349

Смовж Дмитрий Владимирович, зав.лаб.
Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Физический
Механизмы роста графенового слоя при термическом газофазном осаждении на меди
e-mail: dsmovzh@gmail.com стр. 350

Сунагатова Илья Рахимовна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Влияние межатомных потенциалов на массоперенос сверхзвуковыми 2-мя краудинами
Валитов Венер Анварович, д.т.н.
e-mail: sunagatova66@gmail.com стр. 351

Тумбусова Ирина Алексеевна, 4 курс
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий
Влияние старения на структуру и фазовый состав высокоазотистой аустенитной стали
Астафурова Елена Геннадьевна, д.ф.-м.н.
e-mail: tumbusova031098@mail.ru стр. 353

Филоненко Елена Михайловна, стажер-исследователь
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Влияние условий синтеза на микроструктуру протонпроводящих керамических материалов на основе церата бария

Лупицкая Юлия Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: efilonenko1310@gmail.com стр. 354

Хасанова Диана Алферовна, аспирант 2 года обучения
Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет, Институт авиационных технологий и материалов

Влияние аккумулялирующей ИПДК на аморфный сплав на основе Zr

Гундеров Дмитрий Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: dianamorth@mail.ru стр. 355

Чуракова Анна Александровна, н.с.

Уфа, Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

Исследование влияния мартенситных превращений на свойства сплавов с эффектом памяти формы

e-mail: churakovaa_a@mail.ru стр. 356

Шаязданов Айгиз Рашитович, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им.М. Акмуллы, Институт естественных наук и математики

Поиск новых стабильных монокристаллических аллотропных форм углерода методом USPEX

Набиуллин Ильсур Рашитович, к.ф.-м.н.

e-mail: aigizshayazdanov33@gmail.com стр. 357

Шаяхметова Эльвина Рафитовна, магистрант 2 года обучения, стажер-исследователь

Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет, Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Институт авиационных технологий и материалов

Исследование микроструктуры и прочности сварного соединения Ni-Ni, полученного ультразвуковой сваркой

Жиляев Александр Петрович, д.ф.-м.н.

e-mail: elvina1408@yandex.ru стр. 358

Юсупова Нелли Рафисовна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Структурные свойства соединений меди полученных с помощью УЗС

Назаров Айрат Ахметович, д.ф.-м.н.

e-mail: yusupovanelli1@gmail.com стр. 360

Изучение фазового перехода в суперионных проводниках

Абдулгафаров Рамазан Рустамович

Цыганкова Ляйсан Валиулловна, Бухарбаев Данил Наилевич

Башкирский государственный университет

Акманова Гузель Рифкатовна, к.ф.-м.н.

nuroshov34@gmail.com

Исследования производились на дифрактометре ДРОН-3М с применением высокотемпературной приставки УВД-2000, а также на термическом анализаторе «Netzsch».

Структура соединений CuCrS_2 принадлежит к пространственной группе $R3m$ [1-4]. Между тройными слоями CrS_2 в тетраэдрические позиции могут внедряться атомы меди и серебра. Тетраэдрические позиции образуют псевдодвумерную ячейку, состоящую из двух подрешеток α и β . При низких температурах одновалентными ионами занята лишь одна из подрешеток. С увеличением температуры происходит перераспределение ионов меди (серебра) по обеим подрешеткам α и β , которое приводит к фазовому переходу.

Изучение температурной зависимости параметров элементарной ячейки a и c показало, что на зависимостях параметров $a(T)$ имеется излом. Для системы CuCrS_2 (рис.1) излом наблюдается при температуре 673 К, а параметр c изменяется монотонно. Различный характер температурной зависимости параметров решетки a и c обусловлен тем, что в соединении CuCrS_2 изменение параметров элементарной ячейки определяется двумя процессами: обычным термическим расширением и разупорядочением подрешетки ионов меди. Разупорядочение подрешетки одновалентных ионов на изменение c не влияет, поэтому на всем температурном интервале наблюдается монотонная зависимость. На изменение температурной зависимости параметра a до температуры 673 К влияют и процесс разупорядочения ионов меди и процесс термического расширения. Выше 673 К наблюдается только процесс термического расширения. Такой характер изменения параметра a от температуры и, соответственно, объема элементарной ячейки V позволяет сделать вывод о том, что при температуре 673 К происходит фазовый переход II рода.

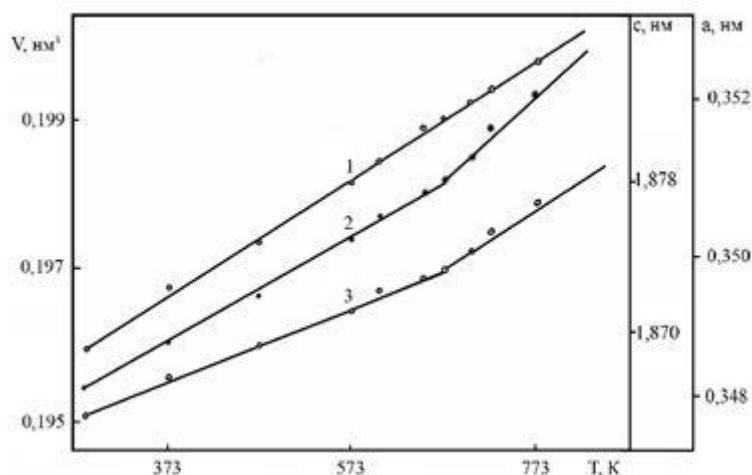


рис. 1. Температурные зависимости параметров c (1), a (2) и объема V (3) элементарной ячейки соединения CuCrS_2

Характер термического разупорядочения ионов меди был изучен на основе анализа температурной зависимости интенсивности дифракционных пиков (104) и (015). Поскольку плоскость (015) содержит ионы меди, а плоскость (104) не содержит их, то перераспределение ионов меди должно приводить к разному характеру изменения интенсивностей данных дифракционных пиков. Действительно, на экспериментальной зависимости при повышении температуры интенсивность линии (015) постепенно уменьшается и сливается с фоном при температуре 698 К, а относительная интенсивность линии (104) возрастает. Были рассчитаны интенсивности этих дифракционных линий (104) и (015) при вариации степени заполнения α -подрешетки ионами меди. Сравнение показало, что при комнатной температуре α -подрешетка заполнена с вероятностью 0,95. Состояние полного разупорядочения, когда подрешетки α и β заполнены равновероятно, соответствует температуре выше 673К.

На рис.2 показаны результаты термогравиметрии (ТГ) и ДСК-калориметрии соединения CuCrS_2 . Видно, что на протяжении нагрева от 293 до 873 К сигнал ТГ остается практически постоянным, т. е. не происходит сколько-нибудь заметной потери веса образца. Сигнал ДСК для CuCrS_2 имеет ярко выраженный широкий эндотермический максимум, вершина которого приходится примерно на 673 К. Касательные, проведенные к острой вершине пика, дают температуру начала фазового перехода около 623 К и температуру завершения

фазового перехода около 693 К. Полученные результаты ДСК являются подтверждением фазового перехода II рода при температуре 673 К и процессом термического разупорядочения ионов меди. Теплота фазового перехода, определенная по площади под пиком на рис.2 составила $Q = (3.1 \pm 0.3)$ кДж/моль.

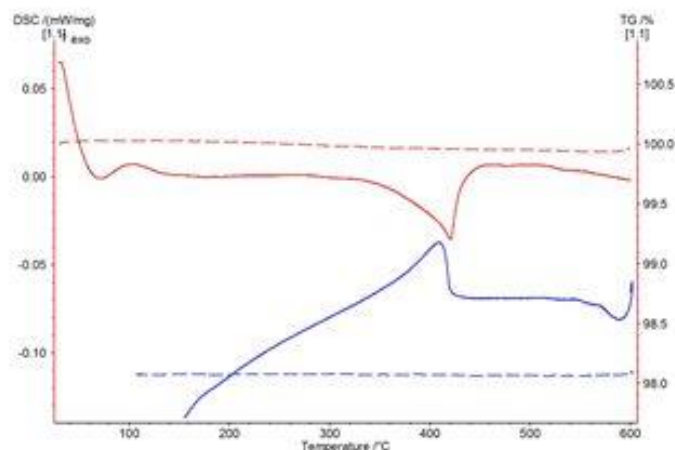


рис.2. Кривые ТГ и ДСК соединения CuCrS_2

Таким образом, из расчетов теоретических дифракционных линий и их сравнением с экспериментальными данными, следует вывод, что в точке фазового перехода происходит полное разупорядочение подрешетки ионов меди.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-302-00675.

Список публикаций:

- [1] G.Tewari, T.S.Tripathi, A.K.Rastogi // *J. Electronic Mat.* 2010. V.39. P.1133.
- [2] D.Wu, S.Huang, D.Feng, B.Li, Y.Chen, J.Zhanga, J.He // *Physical Chemistry Chemical Physics.* 2016. V.18. P.34.
- [3] Г.Р.Акманова, Н.Н.Биккулова, А.Д.Давлетшина // *Электрохимия.* 2013. Т. 49. С.921.
- [4] Р.А.Якшибаев, Г.Р.Акманова, Н.Н.Биккулова // *Электрохимия.* 2015. Т.51, С.667.

Фазовые переходы в пучках углеродных нанотрубок при поперечном сжатии

Абдуллина Дина Ураловна

Башкирский государственный университет

Дмитриев Сергей Владимирович, д.ф.-м.н., Валитов Венер Анварович, д.т.н.

dina.abdullina25@gmail.com

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают очень высокими механическими свойствами, поэтому их используют для изготовления сверхпрочных и легких нитей, канатов, наполнителей для композитов, твердых смазочных материалов и т. д. [1-6]. Механические свойства пучков УНТ рассматривались в ряде экспериментальных и теоретических исследованиях. Разработка эффективных вычислительных методов для решения этой проблемы является важным шагом в разработке новых материалов на основе УНТ. В настоящем исследовании модель атомистической цепочки используется для анализа механического отклика кристалла УНТ в условиях плоской деформации. Модель учитывает растяжение и изгиб стенки УНТ и взаимодействия Ван-дер-Ваальса. Дискретный характер модели позволяет описать большую кривизну стенки УНТ и разрушение УНТ при очень высоком давлении. Получены равновесные структуры кристалла УНТ при двухосном, управляемом деформацией нагружении, и потенциальная энергия структуры разложена на энергию валентных связей, валентных углов и ван-дер-ваальсовых взаимодействий. Показано, что основной вклад в потенциальную энергию вносит энергия валентных углов, связанная с изгибом стенок УНТ. Представленные результаты моделирования хорошо согласуются с существующей литературой. Предлагаемая здесь модель цепочки может быть эффективно применена для анализа механических свойств однослойных или многослойных пучков УНТ в условиях плоской деформации или, при прямых модификациях, для аналогичных структур, изготовленных из других 2D наноматериалов.

Результаты. Эволюция структуры пучка УНТ при двухосном сжатии. Геометрия пучка УНТ при боковом сжатии показана на рисунке 1 для значений сжимающей деформации $|\epsilon_{xx}| = |\epsilon_{yy}|$, равных (a) 0, (b) 0,055, (c) 0,09 и (d) 0,20. Было обнаружено, что сжатие кристалла УНТ до 4,5% является стабильным, и эволюция его структуры ограничена некоторым уплощением стенок УНТ (не показано на рисунке). При

значении деформации 9,0% наблюдается качественно различная кристаллическая структура пучка УНТ. Во-первых, сечения УНТ приобретают эллиптическую форму, и, во-вторых, примитивная ячейка трансляции здесь включает не одну, как на (а), а две УНТ. Дальнейшее увеличение сжимающей деформации выше 9,5% приводит к образованию схлопнутых УНТ с невыпуклым поперечным сечением, см. (с). Дальнейшее сжатие приводит к увеличению доли схлопнутых УНТ и, в конечном итоге, все они оказываются схлопнутыми, (d).

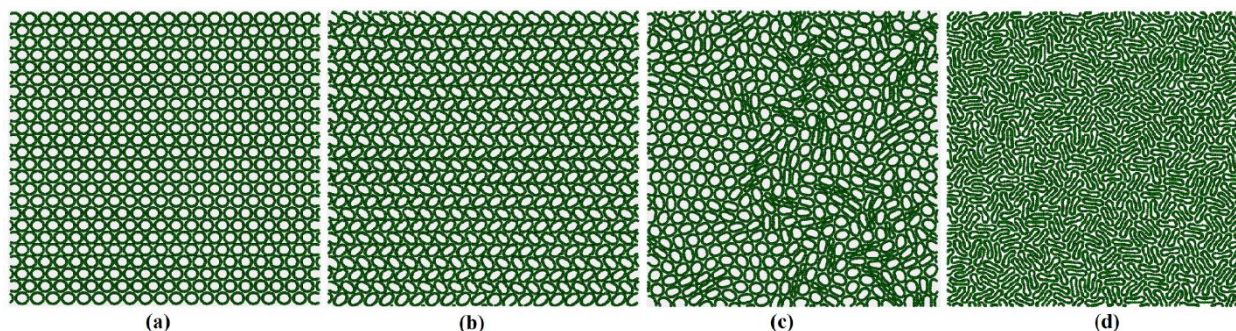


рис. 1. Геометрия пучка УНТ (вид в поперечном сечении) при поперечном сжатии, условиях плоской деформации, для значений деформации сжатия $|\varepsilon_{xx}| = |\varepsilon_{yy}|$, равных (а) 0, (б) 0,055, (с) 0,09, и (d) 0,20.

При исследовании поведения пучка УНТ при боковом сжатии были выявлены два фазовых перехода: переход второго порядка при $|\varepsilon_{xx}| = |\varepsilon_{yy}| = 0.045$ с удвоением трансляционной ячейки и переход первого порядка при $|\varepsilon_{xx}| = |\varepsilon_{yy}| = 0.09$ с появлением свернутых УНТ и потерей дальнего порядка в системе.

Таким образом, мы приходим к выводу, что модель цепи может быть применена с высокой численной эффективностью и достаточной точностью для анализа структуры и механических свойств пучков УНТ в условиях плоской деформации. Предлагаемая здесь модель атомистической цепочки, в отличие от моделей механики сплошных сред, способна описать высокую кривизну разрушенной стенки УНТ и разрушение стенок под высоким давлением.

Предложенная здесь модель цепочки может быть легко применена к случаям УНТ различного диаметра, сжатым УНТ, многостенным УНТ и даже включает графеновые свитки и цилиндрически смятый графен и другие двумерные материалы.

Благодарность: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 18-19-00685

Список публикаций:

- [1] P'erez, E.M.; Mart'in, N. Curves ahead: Molecular receptors for fullerenes based on concave-convex complementarity. *Chem. Soc. Rev.* 2008, 37, 1512–1519.
- [2] Lyapin, A.G.; Brazhkin, V.V.; Lyapin, S.G.; Popova, S.V.; Varfolomeeva, T.D.; Voloshin, R.A.; Pronin, A.A.; Sluchanko, N.E.; Gavriluk, A.G.; Trojan, I.A. Non-traditional carbon semiconductors prepared from fullerite C60 and carbyne under high pressure. *Phys. Status Solidi B* 1999, 211, 401–412.
- [3] Popov, M.; Koga, Y.; Fujiwara, S.; Mavrin, B.N.; Blank, V.D. Carbon nanocluster-based superhard materials. *New Diam. Front. C. Tech.* 2002, 12, 229–260.
- [4] Ferrari, A.C. Raman spectroscopy of graphene and graphite: Disorder, electron-phonon coupling, doping and nonadiabatic effects. *Solid State Commun.* 2007, 143, 47–57.
- [5] Ghosh, S.; Nika, D.L.; Pokatilov, E.P.; Balandin, A.A. Heat conduction in graphene: Experimental study and theoretical interpretation. *New J. Phys.* 2009, 11, 095012.
- [6] L.Kh. Rysaeva, E.A. Korznikova, R.T. Murzaev, D.U. Abdullina, A.A. Kudreyko, J.A. Baimova, D.S. Lisovenko, S.V. Dmitriev. Elastic damper based on carbon nanotube bundle. *Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering* 2020, 18, 35-39.

Формирование металлографической текстуры методом комбинированной деформации ковкой и экструзией в сплаве Гейслера системы Ni-Mn-Ga

Абдуллина Динара Рамиловна¹

Сафаров Ильфат Миндигалеевич², Галеев Рафаил Мансурович²,
Гайфуллин Руслан Юнусович¹

¹Башкирский государственный университет

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

Мусабилов Ирек Ильфирович², к.ф.-м.н.

din2512@yandex.ru

Сплавы системы Ni₂Mn-X (X=Ga, In, Sn, Co, Fe и др.) проявляют уникальное сочетание физических свойств. В области комнатных температур в них протекают мартенситное и магнитное фазовые превращения. При этих температурах в сплавах наблюдаются ферромагнитный эффект памяти формы, магнитокалорический эффект и др. Это позволяет отнести сплавы к классу перспективных функциональных материалов. Большое количество экспериментальных и теоретических работ посвящено поиску максимальных величин эффектов при вариации элементного состава сплавов, легировании другими химическими элементами. Недостатком материалов в исходном литом состоянии является хрупкость и подверженность разрушению при циклировании через температуру мартенситного превращения. Одним из способов повышения стабильности функциональных эффектов и повышение прочности исследуемых поликристаллических сплавов является их деформационно-термическая обработка (ДТО). Авторами работы в настоящее время ведется интенсивная работа по применению к сплавам Гейслера комбинированной деформационной обработки методом всесторонней изотермическойковки (ВИК) с последующей экструзией. Преимуществоковки заключается в получении объемного материала с модифицированной микроструктурой, внесение в материал большого количества внутренних напряжений. А экструзия позволяет получить острую кристаллографическую и металлографическую текстуру.

В работе представлены результаты исследования микроструктуры поликристаллического сплава Ni₂MnGa, подвергнутого деформационно-термической обработке методом ВИК с последующей экструзией.

Деформация сплава методом ВИК проведена на испытательной машине Schenck Trebel RMC 100. Последовательность этапов ВИК приведена на рисунке 1 (а). Представлены схема деформации ковкой и выбор ориентации заготовки сплава до и после деформационной обработки. Образец до деформационной обработки был цилиндрической формы (рис. 1 (b)). После 5-ти переходовковки и заключительной вытяжки он приобрел форму параллелепипеда (рис. 1 (c)). Ковка была выполнена таким образом, чтобы получить образец, вытянутый вдоль оси OZ, из которого можно было вырезать образец для экструзии. Ось цилиндра совпадает с направлением оси OZ параллелепипеда. Прямую экструзионную обработку проводили при 700°C. После экструзии была получена заготовка в виде цилиндра \varnothing 5 мм и длиной 22 мм и торца. Направления в экструдированном образце показаны на рисунке 1 (d).

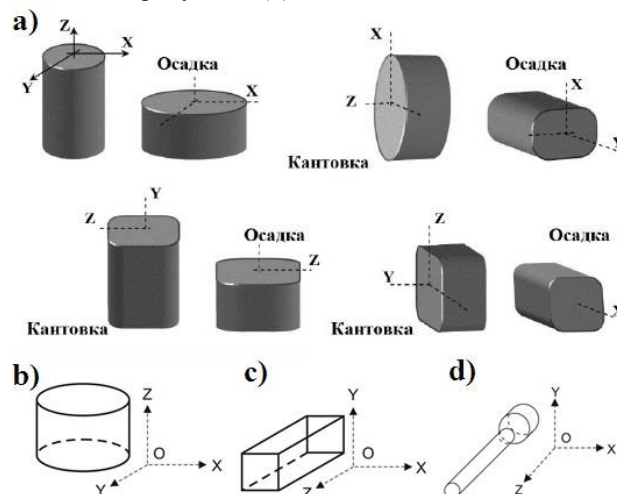


рис.1. Схема пластической деформации методом ВИК: (а) схематическое изображение (б) заготовка сплава в исходном литом состоянии (в) послековки и (г) послеэкструзии

Для исследований микроструктуры сплава, подвергнутого деформационно-термической обработке методом ВИК и последующей экструзии, из заготовки был вырезан образец в плоскости YOZ. На полученном срезе был подготовлен шлиф, полировкой на абразивной бумаге и финишной электрополировкой.

Микроструктура сплава исследована с помощью высокоразрешающего растрового электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LMH. Съемка проводилась в режиме регистрации обратно-отраженных электронов. На рисунке 2 представлен результат съёмки микроструктуры локального участка образца. Расположение оси OZ соответствует горизонтали рисунка. Наблюдаются вытянутые зерна размером около 0,2-1 мкм, свидетельствующие о том, что в структуре присутствует металлографическая текстура. Крупные зерна окружены мелкозернистой структурой. В теле как крупных зерен, так и большинства зерен мелкозернистой структуры наблюдается мартенситные двойники. Это свидетельствует о том, что в деформированном материале мартенситное превращение реализуется во всем объеме.

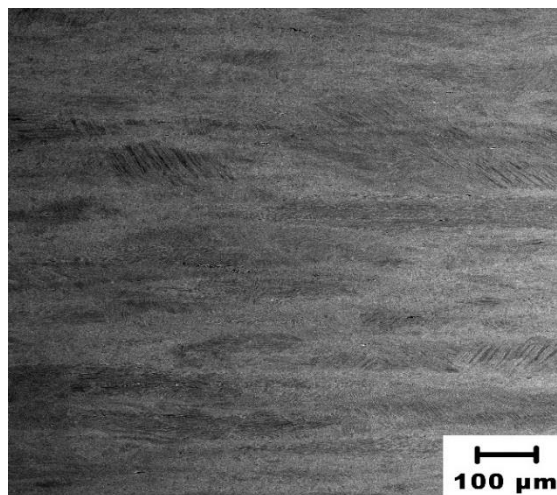


рис.2. Микроструктура образца сплава Ni₂MnGa после ДТО методом ВИК с последующей экструзией при T=700°C

Предполагается, что такая структура типа «ожерелье» будет способствовать повышению механических свойств материала, благодаря тому что мелкозернистая структура будет выполнять роль стока напряжений, вызванных мартенситным превращением. Металлографическая текстура может способствовать повышению анизотропии свойств и как следствие повышению функциональных свойств сплавов Гейслера.

Кристаллическая структура сегнетоэлектрических фаз на основе ниобата серебра

Безбородова Полина Александровна

Луницкая Юлия Александровна

Челябинский государственный университет

Луницкая Юлия Александровна

ibragimova-polin@mail.ru

Среди известных классов сегнето- и пьезоэлектриков одними из самых важных в практическом отношении являются соединения и твердые растворы со структурой типа перовскита. Особый интерес представляют сложные оксиды на основе ниобатов одно- и двухвалентных металлов, обладающие широким изоморфизмом, характерным для данного структурного типа [1].

Однако на сегодняшний день до конца не изученными остаются вопросы условий синтеза сложных ниобатов, содержащих катионы тяжелых металлов, фрагментарно описаны кинетические особенности твердофазного взаимодействия в таких системах.

В связи с этим целью работы явилось изучение кинетических закономерностей твердофазного синтеза ниобатов, модифицированных ионами тяжелых металлов (молибдена, вольфрама) при частичном замещении ионами серебра в порошковых реакционных смесях $(1-x)\text{AgNO}_3-(1-x)\text{Nb}_2\text{O}_5-x\text{MeO}_3$ (Me = Mo, W при $0 \leq x \leq 1.0$), выявление концентрационной области гомогенности твердых растворов $\text{Ag}_{1-x}\text{Nb}_{1-x}\text{Me}_x\text{O}_6$ со структурой типа перовскита и исследование микроструктуры поверхности сегнетокерамических фаз.

Синтез исследуемых материалов проводили по стандартной керамической технологии [2]. Необходимые режимы и параметры синтеза выбирали на основе данных термогравиметрического (дерииватограф системы Paulik-Erdey) и рентгенофазового (дифрактометр Bruker D8 ADVANCE, CuK α -излучение) анализа. Параметры кристаллической структуры образцов уточняли методом Ритвельда с применением программного комплекса GSAS. Морфологию поверхности керамических соединений ниобатов и их производных исследовали с

помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM – 6510. Аттестацию электрофизических свойств (температурные зависимости электрической емкости $C(T)$ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta(T)$) исследовали в температурном интервале 297 - 897 К двухконтактным методом с помощью измерителя RLC АКТАКОМ АМ-3028. Частотные зависимости диэлектрических характеристик изучали в диапазоне от 20 Гц до 1 МГц.

В докладе обсуждаются вопросы оптимизации режимов синтеза однофазных керамических фаз на основе ниобатов одновалентных металлов при частичном замещении ионами молибдена и вольфрама соответственно. Установлено, что твердые растворы состава $\text{Ag}_{1-x}\text{Nb}_{1-x}\text{Me}_x\text{O}_6$ ($\text{Me} = \text{Mo}, \text{W}$) со структурой типа перовскита образуются в температурном интервале 1023 – 1223 К. Следует отметить, что синтезированные керамические материалы, изоморфные перовскиту, при комнатной температуре характеризуются невысокими значениями диэлектрической проницаемости ($\epsilon \approx 10$) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta \approx 0.004$ при $f = 1$ кГц). Микроструктура исследуемых образцов представлена на *рис. 1*.

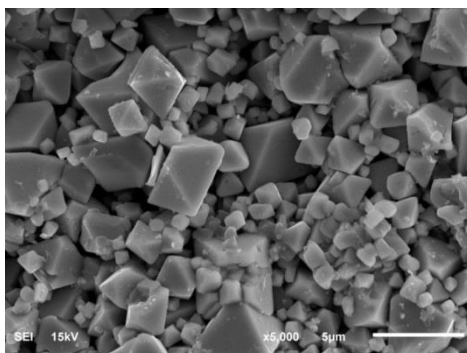


рис. 1. Микрофотография образца состава $\text{Ag}_{0.6}\text{Nb}_{0.6}\text{W}_{0.4}\text{O}_6$, спеченного при 1373 К

Работа выполнена при финансовой поддержке «Фонд поддержки молодых ученых».

Список публикаций:

- [1] Титов С. В., Резниченко Л. А., Разумовская О. Н., Титов В. В., Шилкина Л. А., Шевцова С. И. // *Неорганические материалы*. 2009. Т. 45. № 3. С. 334.
 [2] Луницкая Ю. А., Калганов Д. А., Ключева М. В. // *Неорганические материалы*. 2018. Т. 54. № 3. С. 252.

Термодинамический анализ равновесия кубического и тетрагонального бейнита в сталях

Булдашев Иван Владимирович
 Мирзаев Джалал Аминулович

Южно-Уральский государственный университет

Мирзаев Джалал Аминулович, д.ф.-м.н.

Buldashev.ivan@mail.ru

В работе [1], основываясь на теории Зинера-Хачатуряна [2], были рассчитаны химические потенциалы железа и углерода в твердых растворах Fe-C с тетрагональной и кубической решетками. На основе этого анализа получены уравнения равновесия кубического и тетрагонального бейнитного феррита или мартенситных фаз:

$$RT \left(\ln \left(\frac{x_C^T}{3-4x_C^T} \right) - \ln \left(\frac{x_C^\alpha}{3-4x_C^\alpha} \right) \right) - \frac{2}{3} \frac{x_C^T}{1-x_C^T} \left(N_0 \lambda_0 \eta^2 + \frac{1}{3} {}^0L_{FeVa,C}^{bcc} \right) + \frac{2}{9} \left(\frac{x_C^\alpha}{1-x_C^\alpha} \right) {}^0L_{FeVa,C}^{bcc} + \frac{RT}{3} [2(1-\eta) \ln(1-\eta) + (1+2\eta) \ln(1+2\eta)] = 0 \quad (1)$$

$$3RT \left(\ln \left(\frac{3-4x_C^T}{3(1-x_C^T)} \right) - \ln \left(\frac{3-4x_C^\alpha}{3(1-x_C^\alpha)} \right) \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{x_C^T}{1-x_C^T} \right)^2 \left(N_0 \lambda_0 \eta^2 + \frac{1}{3} {}^0L_{FeVa,C}^{bcc} \right) - \frac{1}{9} \left(\frac{x_C^\alpha}{1-x_C^\alpha} \right)^2 {}^0L_{FeVa,C}^{bcc} = 0, \quad (2)$$

где x_C^α и x_C^T - атомные доли углерода в кубической α - и т - тетрагональной фазах. N_0 - количество атомов

железа, λ_0 – параметр деформационного взаимодействия, а η – параметр порядка в теории Хачатуряна. Величина $^0L_{Fe,Va,C}^{bcc}$ в модели Хиллберта-Стаффонсона эквивалентна энергии смешения атомов углерода и октаэдрических пор. Критика Агреном значения этой величины у Густафсона и сделанные Маклелланом и Бхадешиа поправки привели в итоге нас к величине 1300 кДж/моль, которая использовалась при совместном решении уравнений (1) и (2). Результаты расчета представлены на Рис.1 в виде диаграммы, из которой видно, что при 300 К кубический мартенсит, содержащий 0,24 масс.% С находится в равновесии с тетрагональным мартенситом с концентрацией 0,57 масс.% С. Приблизительно в этом интервале наблюдается нарушение линейности отношения c/a в зависимости от содержания углерода по Г.В. Курдюмову [3].

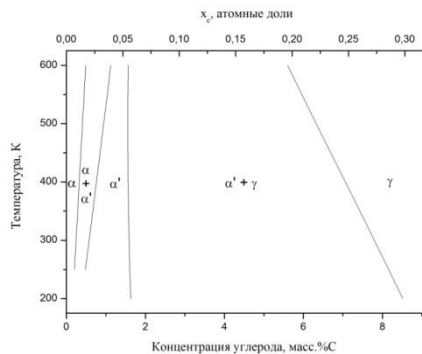


рис.1. Низкотемпературная метастабильная диаграмма фазового равновесия Fe-C.

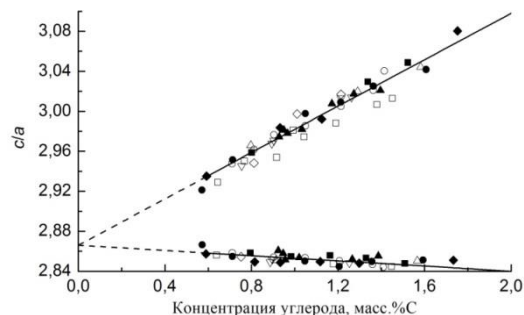


рис.2. Зависимость отношения параметров решетки c/a углеродистого мартенсита от содержания углерода по Курдюмову.

Список публикаций:

- [1] Мирзаев Д.А., Мирзоев А.А., Булдашев И.В., Окишев К.Ю. // ФММ. 2017. Т. 118. № 6. С.547-553.
 [2] Хачатурян А.Г. Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974. 384 с.
 [3] Курдюмов Г.В. Явления закалки и отпуска. М., Металлургиздат, 1960. 64 с.

Формирование текстуры деформационными методами в сплавах Гейслера

Габдрахманова Лилия Айратовна¹

Мусабинов Ирек Ильфирович², Сафаров Ильфат Миндигалеевич², Галеев Рафаил Мансурович²,
 Гайфуллин Руслан Юнусович¹, Абдуллина Динара Рамиловна¹, Мулюков Радик Рафикович²

¹Башкирский государственный университет

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

la-gabdrahmanova@mail.ru

Сплавы Гейслера демонстрируют такие уникальные свойства как ферромагнитный эффект памяти формы, магнитокалорический эффект и др. Недостатком сплавов является низкие механические свойства, которые проявляются в том, что в результате многократных циклов мартенситного превращения образец сплава разрушается. Одним из способов решения проблемы является деформационно-термическая обработка (ДТО) литого сплава. При этом в процессе обработки необходимо получение не только структуры, обеспечивающей повышение механических свойств сплава, но и обеспечение максимально возможной величины функционального эффекта. Для этого необходимо создание в материале острой текстуры.

В работе представлены результаты исследования влияния на микроструктуру и формирование текстуры комбинированной деформационно-термической обработкой методом всесторонней изотермической ковки и экструзии сплава семейства Ni-Mn-Ga. Для этого был выплавлен сплав методом аргоно-дуговой плавки. Слиток сплава обычно имеет форму неподходящую для деформационной обработки. С этой целью сплав был залит в кварцевый стакан и подвергнут дополнительной вакуумной индукционной переплавке в кварцевом стакане. В итоге был получен сплав состава $Ni_{2,26}Mn_{0,80}Ga_{0,89}Si_{0,05}$. Наличие кремния обусловлено его проникновением в слиток в процессе его переплавки в кварцевом стакане. Анализ элементного состава показывает, что его распределение в объеме материала равномерно. Экспериментальные исследования показывают, что экструзия сплава в литом состоянии при 700°C не приводит к фрагментации зеренной структуры. Потому сплав был подвергнут комбинированной ДТО методом всесторонней изотермической ковки при 700°C и последующей экструзии при 700°C в оснастке с переходом 10 мм → 5 мм ($\epsilon=1.39$). В результате такой обработки в сплаве была сформирована острая металлографическая текстура, в которой наблюдаются вытянутые зерна длиной до 1 мм и 100-200 мкм в поперечнике. При этом эти крупные зерна окружены

мелкозернистой структурой. Такой тип микроструктуры должен способствовать повышению стабильности функциональных свойств сплав Гейслера в результате многократных циклов мартенситного превращения.

Анализ термического расширения в области мартенситного превращения показывает, что в результате комплексной ДТО в сплаве наблюдается анизотропия скачкообразного изменения геометрических размеров образца. Формирование как можно большей величины анизотропии прямо отражается на величине ферромагнитного эффекта памяти формы.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПСМ РАН и при поддержке гранта РФФИ 18-08-01434 А.

Влияние температуры пластической деформации методом экструзии на анизотропию термического расширения сплава Гейслера системы Ni-Mn-Ga

Гайфуллин Руслан Юнусович¹

Мусабилов Ирек Ильфирович², Сафаров Ильфат Миндигалеевич², Галеев Рафаил Мансурович²,

Абдуллина Динара Рамиловна¹

¹Башкирский государственный университет

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

Мусабилов Ирек Ильфирович, к.ф.-м.н.

gaifullin_1998@bk.ru

В сплавах Гейслера в области комнатных температур протекает мартенситное превращение, в интервале которого наблюдаются такие эффекты как ферромагнитный эффект памяти формы и магнитокалорический эффект. Благодаря этим эффектам сплавы относят к классу функциональных материалов. Недостатком данных сплавов является то, что при циклическом протекании прямого и обратного мартенситного превращения поликристаллические образцы подвержены разрушению. В металлах и сплавах основным способом повышения механических свойств и параллельно усиления анизотропии физических свойств, в том числе и кристаллографической текстуры является деформационно-термическая обработка материала такими методами как, например, прокатка, интенсивная пластическая деформация кручением (ИПДК), всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) и др. При этом большинство методов ДТО, применяемых для получения новых материалов с требуемыми свойствами не лишены некоторых недостатков. Например, прокатка и ИПДК ограничены в размерах конечных заготовок материала, получаемых в виде тонких пластин. При деформации сжатием (осадке) модифицированная структура заготовки получается неоднородной по объему. С этих позиций наибольшую практическую значимость имеет метод ВИК, позволяющий добиться формирования требуемой микроструктуры в объемной заготовке без присущей другим методам неоднородности. Однако возникает вопрос об устойчивости эффекта при многократных циклах мартенситного превращения. Для усиления функциональных эффектов необходимо в материале получить острую кристаллографическую текстуру. В процессе обработки ковкой и в процессе протяжки на последних этапах деформации возможно создание текстуры. Однако ее острота может быть недостаточной. Для получения материала с острой кристаллографической текстурой наиболее интересным методом является экструзия. Этот метод позволяет получить острую кристаллографическую и металлографическую текстуры и повысить анизотропию некоторых физических свойств, тем самым повысить величину ферромагнитного эффекта памяти формы. Формирование деформационными методами в обрабатываемом материале, наряду с кристаллографической текстурой, так и больших полей внутренних напряжений также является одной из важных задач повышения функциональных характеристик материала.

В данной работе приведены результаты исследования влияния температуры деформационной обработки ковкой с последующей экструзией на мартенситное превращение в сплаве Гейслера семейства Ni₂MnGa. Проведен сравнительный анализ температурной зависимости термического расширения сплава после комбинированной ДТО ковкой при 700°C и экструзией, проведенной либо при 700°C либо при 600°C.

Исследование проведено на dilatометре с датчиком перемещения на основе дифференциального трансформатора. Запись кривых $\Delta l/l(T)$ проводилась при нагреве и охлаждении образца в интервале от +150°C до +240°C, в котором реализуется мартенситное превращение. Анализ полученных данных показывает, что деформационно-термическая обработка поликристаллического сплава Гейслера методом ВИК с последующей экструзией при 600°C и 700°C приводит к формированию анизотропии термического расширения в области мартенситного превращения. Так образцы, вырезанные поперек оси экструзии, в процессе прямого мартенситного превращения испытывают скачкообразно сокращение длины. При этом вклад мартенситного превращения в скачкообразное изменение относительного удлинения образца в случае обоих образцов отличается. В образце, который подвергся экструзионной обработке при 600°C величина вклада мартенситного превращения в изменение относительного удлинения образца меньше, чем после экструзии при 700°C. Хотя

более низкая температура деформации должна способствовать формированию большего уровня внутренних напряжений, что должно способствовать усилению анизотропии термического расширения. Также в результате деформационной обработки наблюдается смещение характерных температур мартенситного превращения в область более низких температур. Такое поведение характерно для данного объекта исследований, поскольку оно обусловлено затруднением движения в деформированной структуре дислокаций превращения, которые представляют собой мартенситные ступени атомных размеров на межфазных границах.

Визуализация единичных молекул асфальтенов, осажденных на слюду

Гилязова Гульюза Фанузовна

Шаринов Талгат Ишмухамедович

Башкирский государственный университет

Шаринов Талгат Ишмухамедович

gilyazovagulyuza@gmail.com

Многие процессы бурения скважин, добычи и транспорта нефти и нефтепродуктов связаны с трудностями, возникающими в результате неожиданного проявления физико-химических свойств нефтей [1] в разных внешних условиях. Одним из таких негативных факторов при эксплуатации трубопроводов и другого оборудования является отложение на их внутренних поверхностях твердых отложений: смолисто-парафинистых компонент и асфальтенов [2]. Все это ведет к снижению КПД работы оборудования и порче материалов. Изучив структуру молекул асфальтенов [3], можно в дальнейшей перспективе применить полученные знания для снижения негативного влияния этих отложений.

Асфальтены представляют собой хрупкие и твердые вещества черного цвета, которые имеют высокую температуру кипения. Оценить молекулярную массу молекул асфальтенов трудно, так как они самоассоциируются. В настоящий момент их молекулярный вес колеблется в диапазоне 500-2000 г/моль. Асфальтены переходят в вязкое пластическое состояние при температурах 200-300 °С, а при более высоких температурах они разлагаются и выделяют жидкие углеводороды, газ и нерастворимый в обычных растворителях твердый коксовый остаток. Известно, что в составе асфальтенов содержится основное количество солей, золообразующих компонентов, металл-, азот-, кислород- и серосодержащих соединений.

В докладе будут представлены результаты исследования органических молекул, в частности нефтяных асфальтенов, с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ). Был выбран полуконтактный режим работы микроскопа и были получены АСМ-изображения асфальтенов, растворенных в толуоле и адсорбированных в виде тонкой пленки на поверхности подложки. В качестве подложки применяли свежий скол слюды. При разработке методики приготовления образцов асфальтена перед нами ставилась задача нахождения оптимальной концентрации асфальтенов в толуоле, при которой на АСМ-изображении можно идентифицировать надмолекулярную структуру или отдельную молекулу асфальтенов. Учитывая результаты других исследователей [4], было решено использовать рабочий раствор с концентрацией асфальтенов в толуоле меньше или равно 0,1 г/л. Небольшие объемы рабочего раствора различной концентрации мы наносили на подложку так, чтобы получалась пленка. Кроме варьирования концентрации асфальтенов в растворе толуола, мы изменяли некоторые другие параметры эксперимента с целью получения наиболее качественных АСМ-изображений.

Метод нанесения пленки асфальтенов на подложку заключался в следующем: гидрофобную подложку опускали в плоский сосуд с дистиллированной водой, затем на поверхность воды с помощью дозатора наносили каплю раствора асфальтена. После того, как раствор образует на поверхности воды нанослой асфальтенов, не задевая пленку, с помощью пинцета зацепляли подложку с краев и поднимали ее движением вверх сквозь образовавшуюся на воде пленку асфальтенов.

Экспериментально проверяли два случая: в первом подложка была ориентирована в пространстве вертикально, во втором - горизонтально. Затем извлеченную подложку сушили на воздухе в течение нескольких часов до полного высыхания с образованием пленки асфальтенов. После чего полученный образец исследовали методом АСМ.

На полученном АСМ-изображении (*рис. 1а*) наблюдаются объекты разной формы и разных геометрических размеров, являющиеся, по нашему мнению, кластерами молекул асфальтенов, а самые малые из них – единичными молекулами. Большая часть малых объектов имеют приблизительно одинаковые размеры. Их высота была в пределах $1,5 \pm 0,14$ нм, а ширина $26,2 \pm 1,93$ нм. В качестве примера приведен профиль сечения по одному из таких объектов (*рис. 1б*). Анализируя профиль сечения, можно сказать, что данный кластер имеет высоту 1,37 нм, ширину 26 нм. В результате работы были четко визуализированы кластеры и

единичные молекулы асфальтенов, самые малые из которых были детально проанализированы, определены их геометрические размеры.

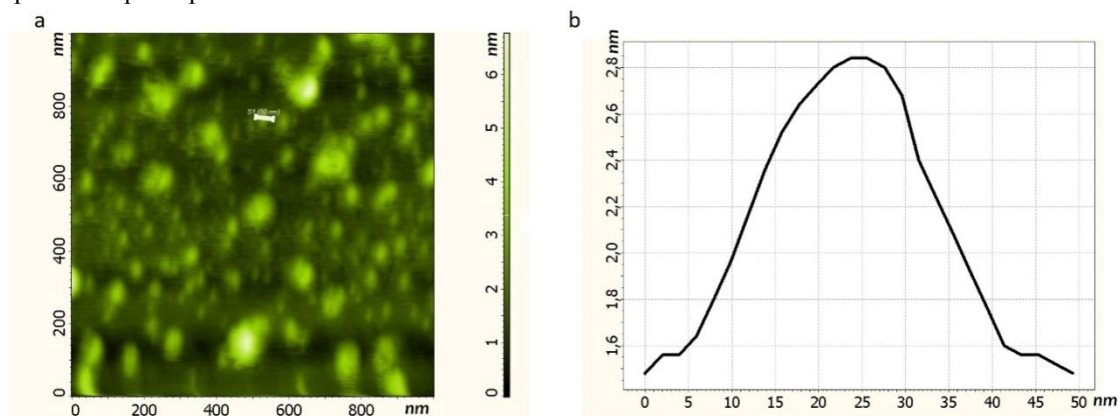


рис. 1. а) АСМ-изображение пленки асфальтенов; б) профиль сечения, выполненный по линии, показанной на рис. 1а

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-42-020616 и проекта № AP05132165 Республики Казахстан.

Список публикаций:

[1] Барская Е.Е., Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Охотникова Е.С., Романов Г.В. Роль различных типов асфальтенов в формировании структуры высоковязких нефтей // Химия нефти и газа. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2015. С 454-460.

[2] Edo S. Boek., Thomas F. Headen, Johan T. Padding Multi-scale simulation of asphaltene aggregation and deposition in capillary flow // J. The Royal Society of Chemistry. 2010. № 144. P. 271-284.

[3] Шарипов Т.И., Бахтизин Р.З., Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М. и Бадретдинов Б.Р. Исследование надмолекулярной структуры нефтяных асфальтенов. // Бултеровские сообщения. 2019. №3. Т.57. С. 99-104.

[4] Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Шарипов Т.И., Бахтизин Р.З., Ишниязов З.З., Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М. Особенности молекулярной и надмолекулярной структуры наночастиц нефтяных асфальтенов. // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2019. №1(126). С. 23-32.

Сравнительная характеристика результатов плазменного распыления тонких эпитаксиальных пленок селенида свинца, теллурида свинца и селенида свинца-олова вблизи порога

Гусева Ксения Евгеньевна

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова

Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.

kсениаg96@mail.ru

Известно, что плазменная обработка поверхности многокомпонентных материалов низкоэнергетичными ионами приводит к специфическим эффектам наноструктурирования. В работах [1-3] нами были показаны необычные результаты плазменного распыления некоторых материалов из семейства халькогенидов свинца. При травлении эпитаксиальных пленок $PbSe/CaF_2/Si(111)$ и $Pb_{1-x}Sn_xSe/CaF_2/Si(111)$ ($x=0,03$) наблюдалось формирование полых свинцовых микронных и субмикронных структур. Целью данной работы явилось продолжение исследований на примере пленок теллурида свинца и сравнение полученных результатов с результатами предыдущих работ.

Исследования проводились на эпитаксиальных пленках теллурида свинца $PbTe/CaF_2/Si(111)$. Плазменное распыление образцов проводилось в реакторе высокоплотной плазмы высокочастотного (ВЧ) индукционного разряда низкого давления при следующих параметрах установки: ВЧ-мощность индуктора 800 Вт, рабочее давление 0,07 Па, ВЧ-мощность смещения на электроде-подложкодержателе - 0 Вт, времена обработки 60, 120, 180 и 240 с. При таком режиме работы реактора энергия налетающих ионов аргона составляла 20-25 эВ.

Поверхность образца теллурида свинца в исходном состоянии имела однородный рельеф с треугольными ямками выхода дислокаций с латеральными размерами до 200 нм. При обработке образца $PbTe/CaF_2/Si(111)$ в течение 60 с на поверхности произошло однородное наноструктурирование с формированием частиц квазисферической формы со средними размерами 20 нм и поверхностной плотностью $1,8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. На рис.1 показана сравнительная временная динамика модификации рельефа поверхности пленок $PbSe$, $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) и $PbTe$ после проведения плазменной обработки в течение 120-240 с.

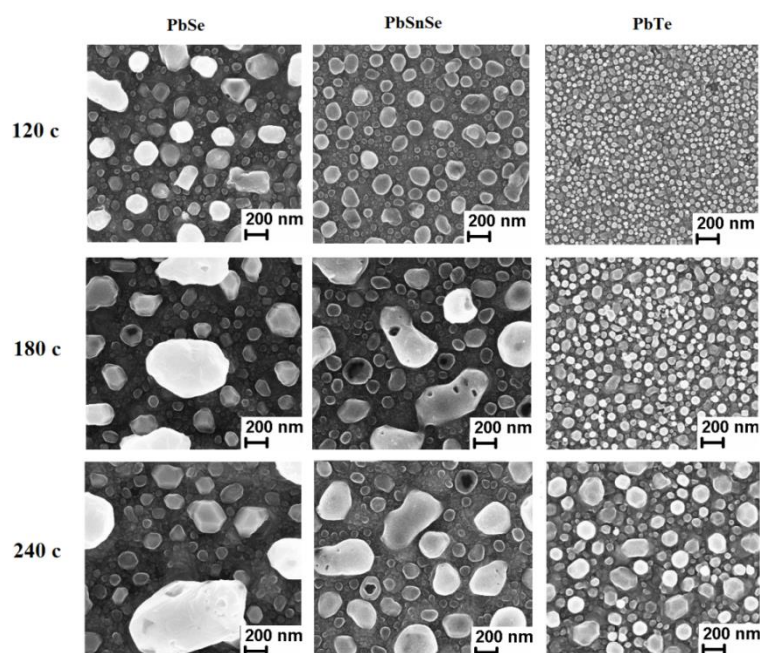


рис.1. Динамика модификации рельефа поверхности плёнок PbSe, $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) и PbTe после плазменной обработки в течение 120 с, 180 с и 240 с.

При увеличении времени плазменного распыления для всех исследуемых материалов наблюдается одинаковая тенденция, заключающаяся в росте частиц до субмикронных и микронных размеров. Если для времени обработки 120 с максимальный размер частиц достигал 300 нм для материала PbSe, 125 нм для $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) и 55 нм для PbTe, то после обработки образцов в течение 240 с размеры структур возросли до 950, 400 и 270 нм, соответственно. Поверхностная плотность формирующихся частиц при этом уменьшалась. Для селенида свинца поверхностная плотность при учете частиц всех размеров уменьшилась с $1,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ для времени распыления 120 с до $0,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ для продолжительности обработки 240 с. Для пленки тройного твердого раствора значение поверхностной плотности структур при аналогичных условиях понизилось с $3,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (120 с) до $1,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (240 с). Плотность структур на поверхности пленки теллурида свинца уменьшилась со значения $3,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при времени обработки 120 с до $2,9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при травлении в течение 240 с.

Числовые различия в количественных характеристиках объясняются различными скоростями распыления пленок халькогенидов свинца и скоростями роста наноструктур. Было установлено, что скорость распыления пленки PbSe составляет 0,5 нм/с, PbTe – 0,7 нм/с и $Pb_{1-x}Sn_xSe$ – 0,9 нм/с. Кроме того, PbSe характеризуется самой высокой скоростью роста частиц ~ 3 нм/с. Для $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) скорость роста составляла $\sim 1,4$ нм/с, а для PbTe $\sim 0,9$ нм/с. Следует отметить, что большие времена травления (высокие температуры процесса) приводят к появлению огранки частиц и образованию полостей в объеме микронных структур. Локальный энергодисперсионный рентгеновский анализ зафиксировал отсутствие в частицах атомов халькогена.

Таким образом, в результате работы показано, что плазменная обработка поверхности плёнок селенида свинца, теллурида свинца и селенида свинца-олова вблизи порога распыления сопровождается общими физическими процессами: формированием полых металлических субмикронных и микронных структур, некоторые из которых имеют огранку в виде усеченного октаэдра. Для объяснения механизма образования таких частиц можно использовать гипотезу, предложенную в работе [3]. В докладе рассматриваются различия в поведении изучаемых материалов при плазменной обработке в области низких энергий ионов.

Автор выражает признательность д.ф.-м.н., профессору С.П.Зимину за оказанную помощь при подготовке материалов и благодарит И.И. Амирова и В.В. Наумова за помощь в проведении экспериментальных работ. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Диагностика микро- и наноструктур».

Список публикаций:

- [1] Зимин С.П., Наумов В.В., Амиров И.И., Гусева К.Е. // Письма в ЖТФ. – 2018. – Т. 44. – В.12. – С. 32 – 38.
- [2] Пипкова А.С., Гусева К.Е. // Сборник материалов седьмой научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего», ЛЭТИ, Санкт-Петербург, 2019, С. 124-127
- [3] Гусева К.Е. // Сборник материалов двадцать пятой всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых учёных «ВНКСФ-25», 2019, Институт электрофизики УрО РАН, Республика Крым, Севастополь С. 131-132.

Компьютерный дизайн структуры нанокристаллического состояния, модельные расчеты зонной структуры и термоэлектрических свойств теллурида меди в качестве перспективных материалов для квантовых сенсоров

Курбангулов Азат Рифкатович

Цыганкова Ляйсан Валиуллиновна, Биккулова Алсу Валиуллиновна, Абдулгафаров Рамазан Рустамович

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Биккулова Нурия Нагимьяновна, д.ф.-м.н., Акманова Гузель Рифкатовна, к.ф.-м.н.

azatkurbanstr@mail.ru

Были проведены модельные компьютерные расчеты фазовой диаграммы системы Cu–Te с помощью программы USPEX [1], уточнены структуры теллуридов меди стехиометрических и нестехиометрических составов. В алгоритме USPEX используется теория функционала плотности, ее основная цель заключается в упрощении расчетов электронной структуры молекул и кристаллов. Поиск таких структур в системе Cu–Te показал, что при абсолютном нуле и давлении 0.1 ГПа стабильными являются составы Cu₇Te₅, Cu₃Te₂, Cu₅Te₄ и Cu₇Te₄. Экспериментальная фазовая диаграмма при нормальных условиях содержит фазы этих составов.

Структуры и параметры стабильных фаз, полученные при расчете, представлены в таблице:

№	Формула	Параметры ячейки					
		<i>a</i> , Å	<i>b</i> , Å	<i>c</i> , Å	α , °	β , °	γ , °
1	Cu _{1,4} Te	3.98000	3.98000	6.12000	90.0000	90.0000	90.0000
2	Cu ₃ Te ₂	3.86605	4.47305	7.09674	76.5671	75.7852	64.5499
3	Cu ₅ Te ₄	7.29166	4.00469	7.40392	90.0000	112.9008	90.0000
4	Cu ₇ Te ₄	8.59486	7.31671	4.23495	89.8054	85.7704	88.5299

Полученные результаты можно использовать для моделирования эволюции кристаллической структуры с повышением температуры. Для уточнения стабильности теоретически полученных фаз рассчитаны зонная структура и фоновые спектры (рис. 1, 2).

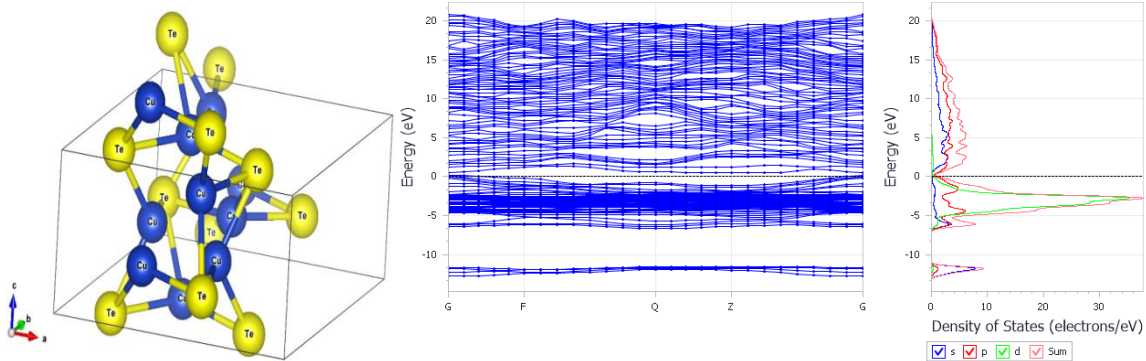


рис. 1. Кристаллическая и зонная структура Cu₇Te₄

Расчет зонной структуры и фононного спектра теллуридов меди был выполнен в рамках теории функционала электронной плотности с помощью метода псевдопотенциала в базисе плоских волн, реализованный в программном пакете Quantum Espresso [2]. При расчете были использованы ультрамягкие псевдопотенциалы для меди, для теллурида псевдопотенциалы сохраняющие норму, которые сгенерированы данной программой. Энергия обрезки плоских волн имела величину 85–100 Ry. Использовался автоматический выбор точек обратной решетки (k-точек) при помощи метода Монкхорста-Пака на сетке 8×8×8.

Теоретические расчеты предсказывают нестабильность фаз из-за наличия мнимых фононных частот на границе зоны Бриллюэна. В то время как, фононная дисперсия фаз стабильна во всей зоне Бриллюэна. Область вокруг точки G в структуре фононного спектра фаз показывает мнимые частоты (изображенные как отрицательные). Это указывает на динамическую нестабильность систем и предполагает, что при смещении ионов в соответствии с волновым вектором в точке G, в системе не возникает возвращающей силы, которая приводит систему в положение равновесия, также смещение ведет к снижению полной энергии. При комнатной температуре предсказанные структуры существуют и являются ионными проводниками. Для этих соединений характерен анизотропный характер колебаний и, по-видимому, гармоническое приближение, используемое при расчетах, приводит к появлению отрицательных частот в фононном спектре. Этот факт можно использовать как один из возможных критериев для оценки и предсказания наличия ионной проводимости в соединениях.

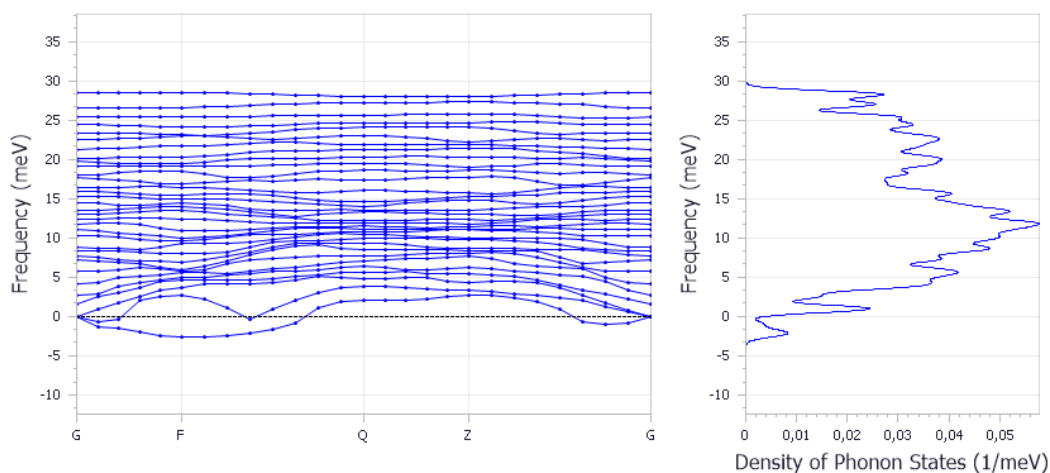


рис. 2. Фононный спектр Cu_7Te_4

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-80007.

Список публикаций:

[1] USPEX (Universal Structure Predictor: Evolutionary Xtallography) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://uspex-team.org>.

[2] Quantum-ESPRESSO [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.quantum-espresso.org>.

Расчет фононного спектра халькогенидов меди и серебра

Курбангулов Азат Рифкатович

Цыганкова Ляйсан Валиулловна, Сафаргалиев Данир Ильдарович

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Биккулова Нурия Нагимьяновна, д.ф.-м.н.

azatkurbanstr@mail.ru

В данной работе приводятся результаты исследований методом неупругого рассеяния нейтронов халькогенидов меди и серебра при температуре 300 К в несуперионной фазе. Для изучения динамики решетки суперионных проводников эффективным является метод неупругого рассеяния медленных нейтронов. Получены динамические структурные факторы и обобщенные плотности фононных состояний данных соединений.

Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием стандартных программ обработки нейтронных спектров. Для каждого из спектров вычислялся спектр частот $G(\varepsilon)$ по формуле (1) для дважды-дифференциального сечения однофононного некогерентного рассеяния нейтронов:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega d\varepsilon} = \frac{\sigma}{4\pi} \sqrt{E/E_0} e^{-2W} \frac{\hbar^2 Q}{2M \varepsilon (1 - e^{-\varepsilon/kT})}, \quad (1)$$

где Q – передача импульса нейтрона, e^{-2W} – фактор Дебая-Уоллера, M – масса ядра.

Для улучшения статистической точности спектры суммировались по нескольким углам рассеяния для каждой группы детекторов.

Важность низкоэнергетических мод, которые дают основной вклад в тепловое движение из-за высокой плотности состояний и низкой энергии активации, является общепризнанным [1–4].

Получены обобщенные плотности фононных состояний Cu_2Te , Cu_2S и Ag_2Te (рис. 1). Фононные спектры исследованных соединений имеют особенности, характерные для структурно-разупорядоченных соединений.

Плотности фононных состояний $G(\varepsilon)$ для исследованных халькогенидов характеризуются недебаевским поведением в области малых энергий и выраженными максимумами при комнатной температуре с энергией

$\varepsilon \sim 10$ мэВ для Cu_2Te и Cu_2S , энергией $\varepsilon \sim 8$ мэВ для Ag_2Te . Низкоэнергетические возбуждения наблюдаются у всех соединений в виде отдельных максимумов при $\varepsilon \sim 3\text{--}5$ мэВ.

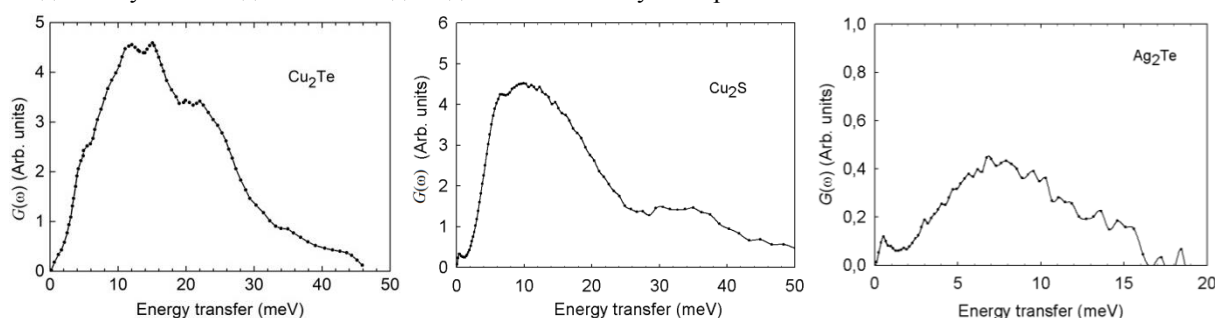


рис.1. Плотности фонновых состояний $G(\omega)$ при комнатной температуре соединений Cu_2Te , Cu_2S и Ag_2Te

Модельный расчет фоннового спектра теллурида серебра Ag_2Te (рис. 2) был выполнен в рамках теории функционала электронной плотности с помощью метода псевдопотенциала в базе плоских волн, реализованный в программном пакете Quantum Espresso [5]. При расчете были использованы ультрамягкие псевдопотенциалы для серебра, для теллурида псевдопотенциалы сохраняющие норму, которые сгенерированы данной программой [6]. Энергия обрезки плоских волн имела величину 85–100 Ry. При расчетах данным методом учитываются валентные электроны атомов. Использовался автоматический выбор точек обратной решетки (k-точек) при помощи метода Монкхорста-Пака на сетке $8 \times 8 \times 8$.

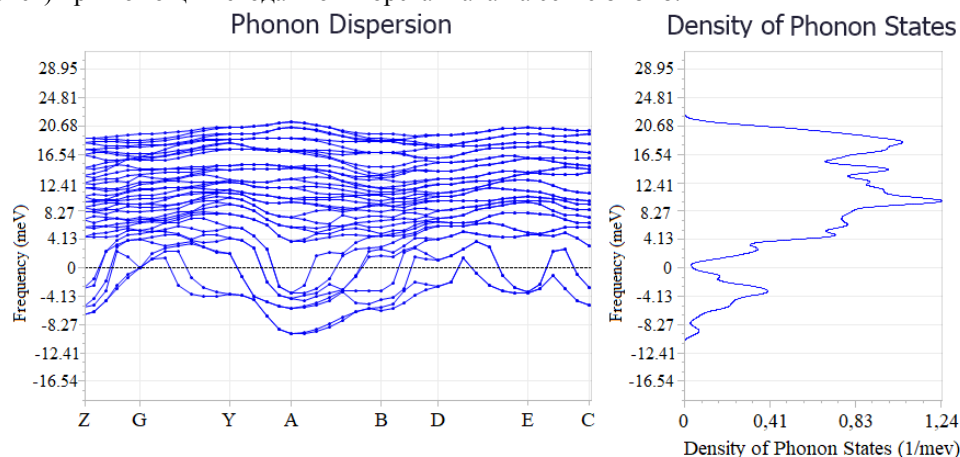


рис. 2. Фонновый спектр Ag_2Te

Для этих соединений характерен анизотропный характер колебаний и, по-видимому, гармоническое приближение, используемое при расчетах, приводит к появлению отрицательных частот в фонновом спектре. Этот факт можно использовать как один из возможных критериев для оценки и предсказания наличия ионной проводимости в соединениях.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00675».

Список публикаций:

- [1] Данилкин С.А., Биккулова Н.Н., Семенов В.А., Ядровский Е.Л., Ягафарова З.А., Гареева М.Я. Низкочастотные колебательные моды в суперионном проводнике $\text{Cu}_2\text{-xSe}$ // Вестник Башкирского университета. 2000. № 1. С. 33.
- [2] Биккулова Н.Н., Степанов Ю.М., Биккулова Л.В., Курбангулов А.Р., Кутов А.Х., Карагулов Р.Ф. Размытый фазовый переход из суперионного в несуперионное состояние в монокристалле $\text{Cu}_1.8\text{Se}$ // Кристаллография. 2013. Т. 58. № 4. С. 603.
- [3] Kikuchi H., Iyetomi H., Hasegawa A. Insight into the origin of superionic conductivity from electronic structure theory // J. Phys. Condens. Matter. 1998. V. 10, P. 11439–11448.
- [4] Davletshina A.D., Yakshibaev R.A., Bikkulova N.N., Stepanov Yu.M., Bikkulova L.V. Ab initio calculations of band structure of solid solutions of copper and silver chalcogenides // Solid State Ionics. 2014. V. 257. P. 29–31.
- [5] Quantum-ESPRESSO [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.quantum-espresso.org>.
- [6] Pseudopotentials Database [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.pwscf.org>.

Определение ширины запрещённой зоны нефтяных асфальтенов по оптическим спектрам поглощения в УФ и видимой области

Латыпов Камил Фаридович

Доломатова Милана Михайловна, Бадретдинов Булат Рамилович

Башикирский государственный университет

Доломатов Михаил Юрьевич

latypovkamil@rambler.ru

Экспериментально и теоретически изучена электронная структура асфальтенов, которые были выделены методом УФ и видимой спектроскопии из остатка атмосферно-вакуумной перегонки западно-сибирской нефти (ЗСН). На основе спектров оптического поглощения определена электронная структура молекул асфальтенов, оценена ширина запрещённой зоны методами самосогласованного поля. Установлено, что расчётные значения E_g зависят от интегральных автокорреляционных параметров (ИАКП) спектров оптического поглощения молекул в диапазоне (190–760 нм).

Установленные закономерности позволяют проводить оценки ширины запрещённой зоны асфальтенов, используя экспериментальные данные по ИАКП непосредственно из оптических спектров поглощения в УФ и видимой областях, а также сравнительно простых молекулярных моделей без применения методов DFT и Хартри-Фока.

Средняя структура молекул асфальтенов получена по данным квантово-механического анализа и спектроскопии. Для асфальтенов, как и для всех высокомолекулярных соединений целесообразно изучать средние структуры и оперировать средними значениями потенциалов ионизации, сродства к электрону и ширины запрещённой зоны. Об этом, в частности, говорит работа [1].

Электронные спектры поглощения в видимой и УФ-области (280–780 нм) для растворов асфальтенов в толуоле исследованы на спектрофотометре СФ-2000. Методом электронной спектроскопии [2] определены эффективные потенциалы ионизации (ЭПИ) и сродства к электрону (ЭСЭ). Рассчитанное значение ЭПИ равно 5.59 эВ, ЭСЭ – 1.85 эВ.

Исследование электронной структуры наночастиц асфальтенов проведено методом DFT/B3LYP с базисным набором 6-31+G*, используя программный пакет GAUSSIAN. Расчет нанокластеров, образованных молекулами асфальтенов, был проведен методом молекулярной механики MM+. Все расчеты проведены с полной оптимизацией геометрии.

При оценке ширины запрещённой зоны в нанокластерах принималось во внимание влияние на E_g межмолекулярного взаимодействия, а также взаимодействия электронов проводимости с дырками, которые являются аналогами экситонов Френкеля. Поэтому нами предложена следующая формула:

$$E_g = E_{g0} - E_{\text{ммв}} - E_{\text{нр}} \quad (1)$$

где E_{g0} – ширина запрещённой зоны изолированной молекулы:

$$E_{g0} = IP - EA \approx -E_{\text{взмо}} + E_{\text{нсмю}} \quad (2)$$

$E_{\text{ммв}}$ – энергия межмолекулярного взаимодействия, $E_{\text{нр}}$ – энергия электронно-дырочного взаимодействия, IP – первый вертикальный потенциал ионизации; EA – энергия сродства к электрону; $E_{\text{взмо}}$ – энергия высшей занятой молекулярной орбитали; $E_{\text{нсмю}}$ – энергия низшей свободной молекулярной орбитали.

Применён метод молекулярной механики MM+ для расчёта потенциальной энергии кластера ($U_{\text{кл}}$) и i -й молекулы (U_i), посредством которых найдена средняя энергия межмолекулярного взаимодействия:

$$\langle E_{\text{ммв}} \rangle = \frac{\left| U_{\text{кл}} - \sum_{i=1}^{n_k} U_i \right|}{n_k} \quad (3)$$

где n_k – количество молекул в кластере. Энергия электронно-дырочного взаимодействия была найдена с учётом энергии поляризации среды:

$$E_{\text{нр}} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \langle r \rangle} \quad (4)$$

Среднее расстояние между молекулами в кластере было определено из квантово-механических расчётов и составляет 3.6 Å.

В качестве ИАКП использовано интегральное преобразование в виде основной и запаздывающей логарифмической функции коэффициента молярного поглощения при энергетической шкале $\varepsilon(E)$ [3]:

$$I_A = \frac{2\pi}{\hbar} \int_{E_1}^{E_2} \lg \varepsilon(E) \cdot \lg \varepsilon(E + \Delta E) dE \quad (5)$$

Статистической обработкой данных методом наименьших квадратов установлена связь между расчётной E_g и интегральными автокорреляционным параметрами спектра (I_A):

$$E_g = G_1 + G_2 I_A \quad (6)$$

где константы $G_1=4,94$ эВ, $G_2=-6,96 \cdot 10^{-2}$ – экспериментально определённые для асфальтенов, коэффициент детерминации для $R^2=0,90$, средняя относительная погрешность 5,18%.

Значения ширины запрещённой зоны для опытных образцов приведены в таблице

№	образцы смол, содержащие асфальтены	ИАКП, эВ	E_g , эВ
1	образец №1	40,49	2,15
2	образец №2	42,57	1,97
6	образец №3	36,64	2,47
7	образец №4	43,76	1,87

Список публикаций:

[1] Sabbah H., Morrow A., Pomerantz A., Zare R. // *Energy Fuels*. 2011. V. 25. № 4. P. 1597.

[2] Доломатов М.Ю., Мукаева Г.П. // *Журн. прикл. спектроскопии*. 1990. Т. 53. № 6. С. 950.

[3] Латыпов К.Ф., Доломатов М.Ю.. *Определение потенциала ионизации гетероциклических молекул по оптическим спектрам поглощения электромагнитного излучения в видимой и УФ области // Фотоника. – 2017. – №4. – С.78-82.*

Теплоемкость легированного иттрием диспрозий-алюминиевого граната

Лезова Ирина Евгеньевна

Санкт-Петербургский государственный университет

Чарная Елена Владимировна, д.ф.-м.н.

i.lezova@spbu.ru

Алюминиевые гранаты, легированные различными редкоземельными ионами, с общей химической формулой $RE_3Al_5O_{12}$ (где RE — редкоземельные ионы) находят широкое применение в лазерной технике [1]. В последние годы большое внимание уделяется установлению возможностей применения данных материалов в различных прикладных технических областях, например, в качестве низкотемпературных магнитных рефрижераторов [2].

В присутствии парамагнитных трехвалентных редкоземельных ионов (за исключением иттрия и лютеция) в решетке гранатов может возникать магнитно-упорядоченная фаза в области низких температур. Для $Dy_3Al_5O_{12}$ (DAG) был обнаружен антиферромагнитный переход, что сделало его одним из самых интересных и перспективных соединений, в том числе в системах охлаждения методом адиабатического размагничивания. В настоящее время наиболее актуальными являются исследования смешанных структур, содержащих несколько различных редкоземельных ионов в матрице алюминиевого граната. В зависимости от состава и соотношения между RE в гранатах могут быть получены соединения, обладающие уникальными свойствами, сочетающими в себе преимущества каждого отдельного редкоземельного граната. В частности, было обнаружено что g фактор для монокристалла диспрозий-иттриевого граната (DAG:Y) обладает большой анизотропией, при этом основное состояние данного кристалла можно с большой точностью описать моделью Изинга. Уникальность уже изученных свойств DAG:Y, перспективность его использования, а также отсутствие на сегодняшний день полной достоверной информации о свойствах DAG:Y с различным соотношением редкоземельных ионов в матрице граната, делает актуальным исследования магнитных и тепловых свойств DAG:Y, особенно при низких температурах.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований теплоемкости серии образцов диспрозий-иттриевых гранатов с различным соотношением ионов диспрозия и иттрия во внешние магнитные поля, а также проведена теоретическая интерпретация полученных результатов. Общая формула

исследуемых соединений $Du_{3-x}Y_xAl_5O_{12}$, где $x=0, 0.75, 1.5, 2, 2.5, 2.85$. Измерения проводились на установке PPMS-9 + Ever-Cool-II (Quantum Design) в температурном диапазоне от 1.9 до 220 К, в магнитных полях от 0 до 9 Т.

Для всех исследованных кристаллов наблюдался рост теплоемкости при уменьшении температуры. Экспериментальные значения теплоемкости для образцов $Du_{3-x}Y_xAl_5O_{12}$ (где $x=1.5, 2, 2.5$) были аппроксимированы в температурном диапазоне 1.9-20 К суммой вкладов аномалий Шоттки, и решеточных вкладов, рассчитываемых в рамках моделей Дебая. На основе анализа величины теплоемкости была рассчитана энтропия и магнитная энтропия. Результаты показали, что при увеличении концентрации диспрозия наблюдается рост энтропии во всех исследуемых магнитных полях. Так же было отмечено, при x более 1,5 величина магнитной энтропии положительна, а при x меньше или равных 1.5 значения магнитной энтропии становятся отрицательными. В чистом монокристалле $Du_3Al_5O_{12}$, наблюдались характерные для подобных соединений антиферромагнитные аномалии теплоемкости λ -типа, при этом величина пика составила порядка 2.55 К, что хорошо согласуется с результатами, полученными ранее [3]

Список публикаций:

[1] А.А. Каминский. // Лазерные кристаллы. Наука, М. 1975. 356 с.

[2] A. Kushino, Y. Aoki, N.Y. Yamasaki, T. Namiki, Y. Ishisaki, T.D. Matsuda, T. Ohashi, K. Mitsuda, T. Yazawa // Erbiumdoped yttrium aluminum garnet as a magnetic refrigerant for low temperature x-ray detectors. J. Appl Phys. 90, 2001. 5812

[3] D. P. Landau, B. E. Keen, B. Schneider, and W. P. Wolf. // Magnetic and Thermal Properties of Dysprosium Aluminum Garnet. I. Experimental Results for the Two-Sublattice Phases Physica. L.Review. 3 (7) 1971. 2310-2342

Высокотемпературный отжиг тонких пленок $a-SiO_x$ различной стехиометрии

Лунев Никита Александрович

Меркулова Ирина Евгеньевна

Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН

Замчий Александр Олегович, к.ф.-м.н.

nanochirik9@gmail.com

Тонкие пленки нанокристаллического кремния в матрице его диоксида ($nc-Si/SiO_2$) представляют особый интерес в фотовольтаике и оптоэлектронике. Благодаря квантово-размерному эффекту $nc-Si$ обладают люминесценцией в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне при комнатной температуре [1]. В свою очередь материал SiO_2 химически стабилен, высоко прозрачен и используется в микроэлектронике.

Основным методом получения $nc-Si/SiO_2$ является высокотемпературный (800 - 1000°C) отжиг (ВТО) аморфного нестехиометрического оксида кремния ($a-SiO_x$, $0 < x < 2$) [2]. Наряду с основными параметрами отжига (температура и время процесса) важной характеристикой, существенно влияющей на структуру получаемого в процессе ВТО материала, является стехиометрия исходных пленок $a-SiO_x$ [3]. В данной работе исследовалась зависимость размера кристаллита и степени кристалличности от начальной концентрации кислорода в тонких пленках $a-SiO_x$, полученных методом газоструйного химического осаждения с активацией электронно-пучковой плазмой [4].

Тонкие пленки $a-SiO_x$ разной стехиометрии были получены на подложках из кварца и монокристаллического кремния путем изменения расхода G смеси моносилана с аргоном (5% SiH_4 и 95% Ar) в пределах от 18 до 89 н.см³/мин (н.см³ – это см³ при нормальных условиях), при этом расходы H_2 и O_2 оставались неизменными и составляли 386 и 3 н.см³/мин соответственно. Отжиг образцов протекал при температуре 950 °С в течение 2 часов. Структура и состав синтезированного и отожженного материала были изучены методами ИК Фурье-спектроскопии (FTIR), спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и сканирующей электронной микроскопии [4].

На рис. 1 представлена спектральная зависимость оптической плотности пленок, синтезированных при различных G . Пики в спектрах указывают на наличие Si-O и Si-H связей в материале. Полоса с центром на 640 см⁻¹ соответствует колебаниям вливания и качания Si-H, пики с центром около 790 см⁻¹ и 870 см⁻¹ характерны для колебания изгиба Si-O-Si и ножничного колебания Si-H₂, а полосы на 1045 см⁻¹ и 1160 см⁻¹ указывают на синфазные и противофазные колебания растяжения группы Si-O-Si [5].

Полученные спектры были использованы для расчета концентраций водорода и кислорода в пленках. Так, концентрация связанного водорода изменялась в интервале 1.2 – 3.5 ат.%, кислорода от 20 до 42 ат.% с ростом G .

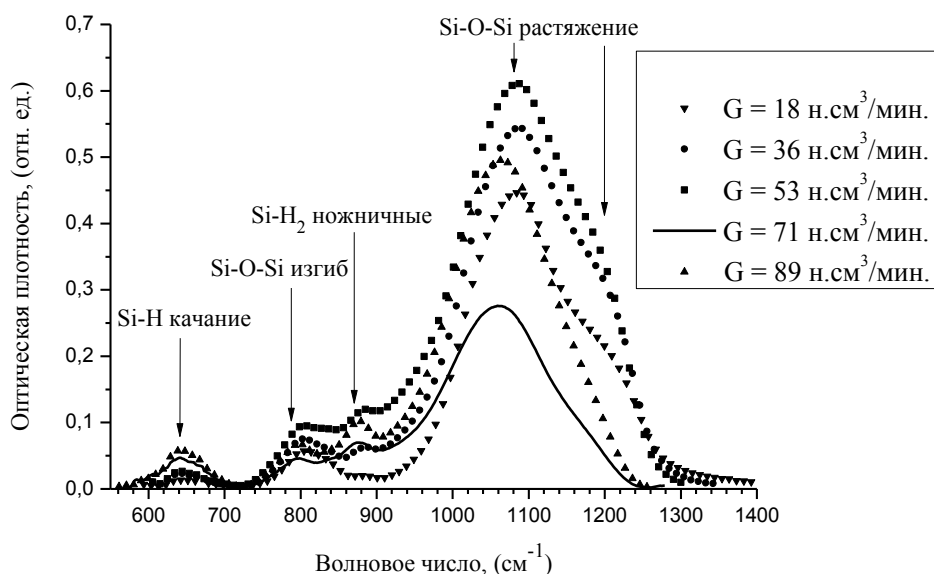


рис.1 Спектральная зависимость оптической плотности пленок от расхода смеси газов.

Метод КРС был использован для определения среднего размера кристаллита и кристалличности отожженных пленок. При увеличении расхода смеси газов было замечено, что кристалличность пленок увеличилась с 39 % до 48 %, а средний размер кристаллита (около 5.3 нм) практически не изменился.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-10143).

Список публикаций:

- [1] Janz S., Löper P., Schnabel M. Silicon nanocrystals produced by solid phase crystallisation of superlattices for photovoltaic applications // *Materials Science and Engineering: B*. – 2013. – Т. 178. – №. 9. – С. 542-550.
- [2] Neizvestny I. G. et al. Formation of silicon nanocrystals in Si–SiO₂– α -Si–SiO₂ heterostructures during high-temperature annealing: Experiment and simulation // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2016. – Т. 52. – №. 5. – С. 486-495.
- [3] Huang J. et al. Effects of chemical stoichiometry on the structural properties of Si-rich oxide thin films // *Thin Solid Films*. – 2015. – Т. 595. – С. 79-83.
- [4] Zamchiy A. O. et al. Effect of annealing in oxidizing atmosphere on optical and structural properties of silicon suboxide thin films obtained by gas-jet electron beam plasma chemical vapor deposition method // *Vacuum*. – 2018. – Т. 152. – С. 319-326.
- [5] Ундалов Ю. К., Теруков Е. И. Нанокластеры кремния, ncl-Si, в матрице гидрированного аморфного субоксида кремния, α -SiO_x: H ($0 < x \leq 2$) // *Физика и техника полупроводников*. – 2015. – Т. 49. – №. 7. – С. 887-898.

Влияние условий синтеза на микроструктуру протонпроводящих керамических материалов на основе церата бария

Луницкая Юлия Александровна

Филоненко Елена Михайловна, Булаева Елена Александровна, Калганов Дмитрий Александрович

Челябинский государственный университет

lupitskaya@gmail.com

Среди известных в настоящее время среднетемпературных твердооксидных электролитов керамические материалы на основе церата бария со структурой типа перовскита считаются наиболее высоко протонпроводящими и продолжают активно изучаться [1-3]. Появление протонов в структуре сложного оксида определяется наличием кислородных вакансий и водородсодержащей атмосферой, из которой протоны внедряются в решетку в виде гидроксильных групп [1]. Соединения на основе ВаСеО₃ обладают также высокой анионной проводимостью [1, 3] при условии частичного замещения Се⁴⁺ катионами низкой валентности М³⁺ в октаэдрических позициях (В - позициях) структуры типа перовскита. Гетеровалентное замещение в решетке АВ_{1-x}М_xО_{3- δ} обуславливает появление кислородных вакансий, концентрация которых определяется уровнем допирования x [1].

Основными критериями коммерческой реализации таких материалов для работы в топливных элементах наряду с ионной/протонной проводимостью выступают микроструктура керамики, конструкционные свойства

которой (относительная плотность, пористость, размеры зерен) в значительной степени зависят от температур синтеза и спекания материалов.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ выбранных методов синтеза (твердофазной реакции и метода Печини) с целью получения однофазных и высокоплотных образцов состава $\text{BaCe}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (M^{3+} - Y, Pr, Nd, Sm, Gd) при сравнительно низких температурах спекания (1423 и 1623 К соответственно).

Особенности процессов фазообразования при синтезе церата бария и его производных изучали ТГ-ДСК анализом с помощью синхронного термоанализатора STA 449 F5 Jupiter, NETZSCH, на воздухе в температурном интервале 297 – 1473 К. Контроль фазового состава синтезированных образцов осуществляли методом качественного рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE. Уточнение кристаллической структуры проводили методом Ритвельда с применением программного комплекса GSAS. Морфологию поверхности керамических образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (режим SEI) при увеличении $\times 10000$.

Анализ микроструктуры исследуемых образцов позволил выявить слабую связанность частиц и определить размер зерен (0.9 - 3.6 мкм) для соединений, полученных методом твердофазной реакции. При этом установлено, что материалы, полученные по технологии цитрат-нитратного синтеза (м. Печини), характеризуются высокой гомогенностью и имеют частицы меньшего размера (~ 0.4 мкм).

Для составов, полученных различными методами, определены относительная плотность и открытая пористость при 1423 и 1623 К соответственно. Показано, что после отжига при 1623 К относительная плотность всех керамических материалов увеличивается. Наибольшей относительной плотностью обладают образцы $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, $\text{BaCe}_{0.9}\text{Sm}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, полученные методом Печини. При этом открытая пористость соединений, исключение составляет $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, уменьшается.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00269.

Список публикаций:

- [1] Medvedev D. A. et al. // *Progress in Materials Science*. 2014. V. 60. P. 72.
- [2] Лягаева Ю. Г. и др. // *Физика и техника полупроводников*. 2014. Т. 48. № 10. С. 1388.
- [3] Filonenko E. M., Lupitskaya Yu. A., Kalganov D. A. // *Materials Research Proceedings*. 2018. №. 9. P. 157.

Неразрушающие методы контроля материалов

Максимов Глеб Сергеевич

Наухацкий Игорь Анатольевич

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

neondreamer00@gmail.com

В связи с недопущением разрушения готовых изделий при, разного рода, исследованиях их качества, актуальны как методы, позволяющие сохранить целостность объекта, так и дополнительные критерии их структурного совершенства.

В работе методом рентгеновской дифрактометрии исследовалось совершенство кристаллической структуры эпитаксиальных пленок со структурой феррит-гранатов кристаллографической ориентации (111), выращенных на подложках со структурой галлий-гадолиниевого граната. Эти пленки широко применяются в технических устройствах.

Основной характеристикой структурного совершенства таких структур является различие в размерах кристаллических элементарных ячеек сопрягающихся материалов пленки и подложки – Δa :

$$\Delta a = \frac{\lambda}{2} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \left(\frac{1}{\sin \theta_{\text{пленки}}} - \frac{1}{\sin \theta_{\text{подложки}}} \right) \quad (1)$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, θ – угол Брегга, (hkl) – индексы интерференции.

Практически величина Δa определяется методом рентгеноструктурного анализа по разности в положении дифракционных пиков (углов Брегга) от материалов пленки и подложки (рис. 1).

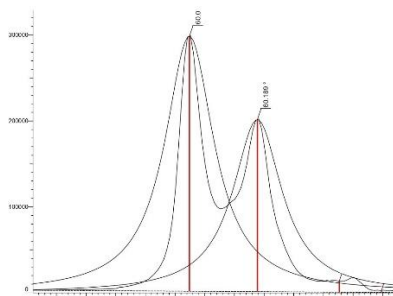


рис. 1. Дифракционные пики (444) от подложки и от пленки. Пики аппроксимированы функцией Лоренца.

В работе предложен дополнительный критерий оценки совершенства эпитаксиальных пленок – величина областей когерентного рассеяния D , определяющих дисперсность образца:

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения; β – полуширина пика, обусловленная размерами областей когерентного рассеяния; θ – угол Брегга.

Величина областей когерентного рассеяния в направлении, перпендикулярном плоскости с индексами (111) для пленки: $D_{пл.} = 121,75$ нм, для подложки – $D_{подл.} = 121,68$ нм. Близость этих величин свидетельствует о высоком качестве пленки, дисперсность которой совпадает с дисперсностью подложки.

Список публикаций:

[1] A.N. Shaposhnikov, A.R. Prokopov, A.V. Karavainikov, V.N. Berzhansky, T.A. Mikhailova, V.A. Kotov, D.E. Balabanov, I.V. Sharay, O.Y. Salyuk, M. Vasiliev, V.O. Golub *Materials Research Bulletin.*, 55., 19–25 (2014).

Фотопроводимость в ta-C пленках синтезированных плазменным осаждением CH_4 и последующей термообработкой

Местников Николай Иннокентьевич

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

Неустроев Ефим Петрович

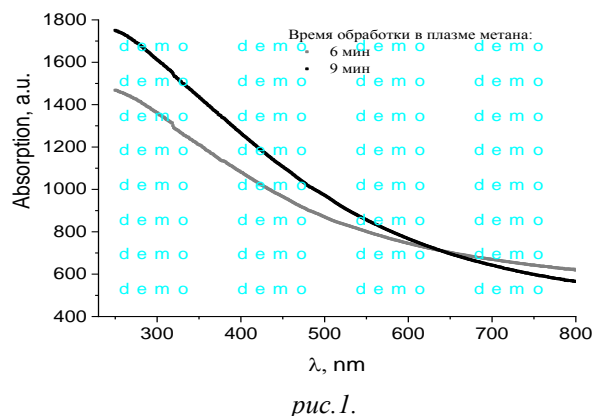
Nmest98@gmail.com

Тонкие углеродные пленки привлекают к себе внимание как перспективные материалы для микро- и наноэлектроники, оптоэлектронных и сенсорных устройств.

В данной работе углеродные пленки толщиной до 100 нм синтезированы осаждением в плазме метана (CH_4) углерода на поверхности различных подложек (Si, SiO_2 и кварцевое стекло) и последующей термообработкой в атмосфере аргона при температурах от 6500 до 8000С [1]. Осаждение атомов углерода проводилось с помощью индуктивно-связанного источника плазмы мощностью 200 Вт при частоте 13,56 МГц. Длительность обработки составляла 6 и 9 минут.(табл.1)

Тип подложки	Мощность плазмы, Вт	Время обработки в плазме, с	Температура термообработки, оС	Время термообработки, мин
SiO ₂	200	6	650, 700, 750, 800	15, 30 и 45
Si	200	6	650, 700, 750, 800	30 и 45
Кварцевая пластина	200	6 и 9	650	30

Исследования оптических свойств проведены в ИК-, видимом и УФ-диапазонах с помощью ИК-микроскопа «SPOTLIGHT 200» и спектрофотометра «Lambda 750S». Зависимости тока от освещенности проведены двухзондовым методом при различных напряжениях (от -13 до +13 В) и температурах (от 80 до 3000 К) образца (рис-1)



При включении и выключении освещения (лампа накаливания) наблюдалось изменение тока, проходящей через исследуемые углеродные пленки. Из разности токов при освещении и его отсутствия были рассчитаны величины фототоков при различных условиях. Наибольшее значение фототока наблюдалось для углеродных пленок, выращенных на кремниевых подложках и превышало 2 мА при напряжении на образце 8 В. Следует отметить, что вольт-амперные характеристики имели линейный вид, что указывает на отсутствие выпрямляющего действия контактов на протекающий ток. Для подложек из кварца величина фототока была наименьшей и составляла в максимуме ~75 нА.

С помощью формулы

$$I_{ph} = I_l + I_d,$$

где I_l – ток при освещении, I_d – темновой ток, были определены фототоки для всех образцов.

Из полученных результатов следует, что в тонких углеродных пленках, полученных методом плазменного осаждения и последующей термообработки, проявляют зависимость сопротивления от освещения. Уменьшение сопротивления связано с фотогенерацией носителей заряда, приводящее к увеличению концентрации носителей заряда. Зависимость фототока от напряжения обусловлена эффективным разделением фотогенерируемых носителей заряда электрическим напряжением. Такое воздействие приводит к уменьшению интенсивности рекомбинационных процессов электронно-дырочных пар. Зависимость фототока от температуры зависит от подложки. При уменьшении температуры до 1000 К величина фототока уменьшается для всех образцов. Возможно это связано с изменением плотности состояний при уменьшении температуры. Увеличение температуры термообработки от 6500 до 7500 С при синтезе плёнок не вызывает заметного изменения зависимости $I_{ph}(V)$ для Si подложек, в то время как для SiO₂ $I_{ph}(V)$ заметно возрастает. Возможно это связано с более эффективным формированием поликристаллических структур на Si подложке, которые ответственны за наблюдаемый фотоэффект. Это подтверждается значительно высокими значениями фототока, наблюдаемых для образцов на Si подложках

Список публикаций:

[1] Neustroev E. P., Popov V. I., Prokopiev A. R., Davydova Z. Y., Semenov S. O.. Formation of nanographite on SiO₂ substrate by plasma deposition of carbon and subsequent annealing // AIP Conference Proceedings - 2019. Vol. 2179. - P. 020019(1-8)

Поляризационные свойства экологически чистых твёрдых растворов состава $(1-x-y) \text{NaNbO}_3 - x \text{KNbO}_3 - y \text{Cd}_{0.5}\text{NbO}_3$ ($0.05 \leq x \leq 0.30, y=0.15$)

Мойса Максим Олегович

Андрюшин Константин Петрович

Южный федеральный университет

Резниченко Лариса Андреевна, д.ф.-м.н.

maksim.moysa@mail.ru

Пьезоэлектрические материалы играют важную роль в электронных устройствах, таких как измерители давления, датчики, ускорители, ультразвуковые двигатели, преобразователи и др. Наиболее широко используемые пьезоэлектрические материалы представляют собой системы на основе композиций состава $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$ (PZT), что обусловлено их превосходными пьезоэлектрическими свойствами. Развитие

законодательной базы в области охраны окружающей среды вынуждает искать бессвинцовые материалы, способные заменить PZT-керамики, что позволит снизить антропогенное загрязнение. Ввиду того, что большинство приборов работает в условиях вариации внешних воздействий (температуры, постоянного/переменного электрического поля и др.), актуальной задачей на сегодня является установление зависимости электрофизических свойств, в частности, поляризации от температуры при нагреве и охлаждении образцов, что и стало предметом нашего исследования, в котором в качестве объектов выступили твёрдые растворы (ТР) трёхкомпонентной системы $(1-x-y) \text{NaNbO}_3 - x \text{KNbO}_3 - y \text{Cd}_{0.5}\text{NbO}_3$ [1].

Рассмотрены ТР с $x=0.05 \div 0.30$, $y=0.15$, $\Delta x=0.05$. Петли диэлектрического гистерезиса исследовались осциллографическим методом Сойера – Тауэра ($f = 50$ Гц, $T = 290 \div 431$ К), при этом были рассчитаны спонтанная, P_s , и остаточная, P_r , поляризации, а также напряженность коэрцитивного поля, E_c . Зависимости (P_s , P_r , E_c)(T) были аппроксимированы полиномом второй степени.

Установлено, что во всех исследованных ТР петли диэлектрического гистерезиса формируются во всем исследователем температурном диапазоне. Необходимо отметить, что по мере увеличения концентрации KNbO_3 получение классической сегнетоэлектрической (СЭ) петли $P-E$ при комнатной температуре затруднено, то есть происходит формирование ($P-E$)- зависимости, близкой по виду к СЭ, но с округлыми концами. Однако, при увеличении температуры указанный эффект нивелируется. P_s , P_r , E_c с ростом температуры убывают, а при охлаждении образцов, наоборот, происходит возрастание указанных величин. Так, в ТР с $x=0.05$ и $x=0.20$ P_s изменяется линейно в диапазонах $(17 \div 12) \mu\text{C}/\text{cm}^2$ и $(13 \div 11) \mu\text{C}/\text{cm}^2$, E_c также линейно снижается при нагреве в интервале $(5.5-3.3) \text{kV}/\text{cm}$ и возрастает при охлаждении в интервале $(3.2 \div 5.5) \text{kV}/\text{cm}$. В ТР с $x=0.10$ и $x=0.15$ имеется ряд особенностей. Так, P_s убывает линейно в диапазонах $(22 \div 18) \mu\text{C}/\text{cm}^2$ и $(16 \div 13) \mu\text{C}/\text{cm}^2$, соответственно, а E_c снижается при нагреве по квадратичному закону в диапазонах $(5.5 \div 3.0) \text{kV}/\text{cm}$ и возрастает в диапазоне $(2.5 \div 7.0) \text{kV}/\text{cm}$ при охлаждении (рис. 1). Указанные ТР характеризуются стремительным снижением коэрцитивных полей с ростом температуры, тогда как спонтанная и остаточная поляризации убывают медленно. Необходимо отметить, что в остальных ТР снижение P_s , P_r , E_c по мере роста температуры не превышает $(5 \div 15\%)$.

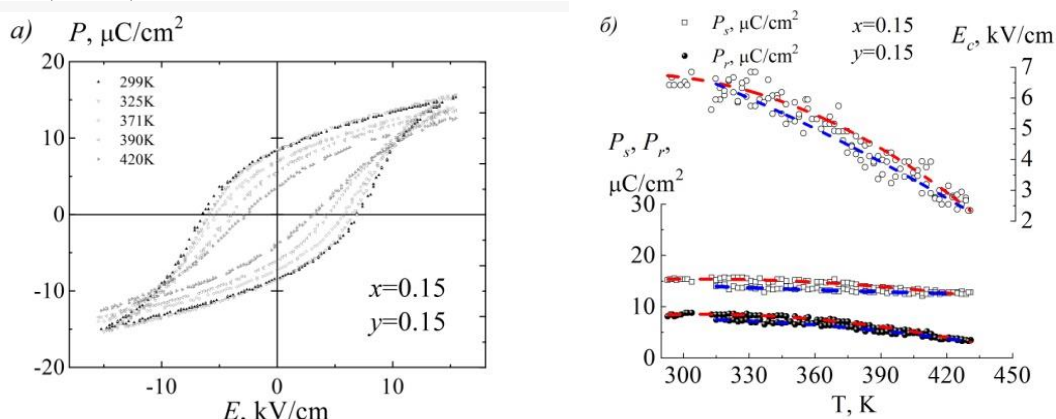


рис.1 Зависимость формы петель диэлектрического гистерезиса (а), P_s , P_r , E_c (б) ТР состава $(1-x-y) \text{NaNbO}_3 - x \text{KNbO}_3 - y \text{Cd}_{0.5}\text{NbO}_3$ ($x=0.15$, $y=0.15$) от температуры

На рис. 2 представлены зависимости поляризационных характеристик от температуры в ТР с $x=0.30$. Установлено, что при указанном содержании KNbO_3 исследованные зависимости имеют экстремум как при нагреве, так и при охлаждении в окрестности 370К.

Наблюдаемое для всех исследованных ТР снижение величины коэрцитивного поля с ростом температуры, вероятно, связано с тем, что при возрастании температуры снижается энергетический барьер для переключения доменов, вследствие чего уменьшается величина внешнего электрического поля, необходимого для перестройки доменной структуры. Формирование экстремумов в различных составах может быть связано с некоторыми структурными неустойчивостями в данных объектах, что требует дополнительных рентгенографических исследований.

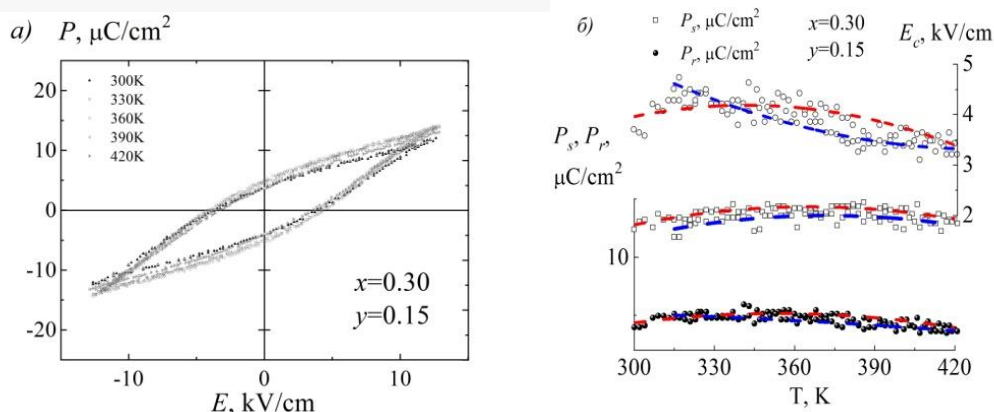


рис.2 Зависимость формы петель диэлектрического гистерезиса (а), P_s , P_r , E_c (б) TP состава $(1-x-y) \text{NaNbO}_3 - x \text{KNbO}_3 - y \text{Cd}_{0.5}\text{NbO}_3$ ($x=0.30$, $y=0.15$) от температуры

Полученные результаты целесообразно использовать при разработке соответствующих устройств электронной техники.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020)

Список публикаций:

[1] Andryushin K.P., Sodium solutions of sodium- potassium-cadmium. Preparation, structure, electrophysical and thermofrequency properties / K.P. Andryushin, I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko // LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 61 p. (Монография). ISBN 978-3-8454-0867-5. <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/gb/book/978-3-8454-0867-5/solid-solutions-of-sodium-potassium-cadmium-niobats?search=Preparation,%20structure>

Расчет спектра комбинационного рассеяния силициновых нанолент

Муксунов Никита Янович

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.

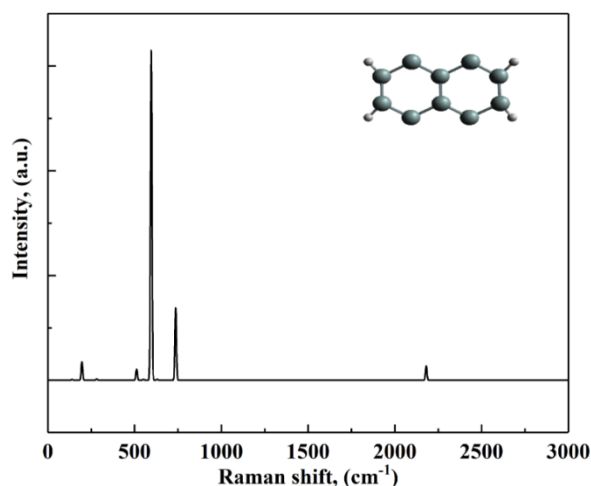
muksunov97@mail.ru

В последнее время двумерные материалы вызвали большой интерес благодаря их уникальным свойствам. Так, например, недавно был теоретически предсказан и синтезирован экспериментально силицен.

Исследования силициновых нанолент (SiNR) с помощью сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии подтвердили тесную связь между структурой и свойствами, предоставляя структурную и электронную информацию в атомном масштабе.

В данной работе на основе метода функционала плотности произведен расчет колебательного спектра силициновых нанолент. Края которых пассивированы атомами водорода. В качестве инструмента *ab initio* расчетов использовался программный комплекс Quantum Espresso [1], предназначенный для моделирования атомно-молекулярных и электронно-ядерных систем методами квантовой механики и молекулярной динамики. Взаимодействие между ионами и электронами моделируемой системы описывается посредством псевдопотенциального подхода и метода присоединенных плоских волн. *Ab initio* моделирование проводилось в рамках теории функционала плотности с использованием приближения локальной плотности (LDA). Для ускорения сходимости в расчетах выбрана величина энергии «обрезания» $E_{cut}=60 \text{ Ry}$ подобно расчетной процедуре, изложенной в работе [2]. Разбиение обратного пространства на сетку $6 \times 6 \times 1$ осуществлялось посредством использования метода Монхорста-Пака [3]. Во избежание взаимодействия между слоями расстояние между ними устанавливалось равным 20 \AA .

В работе рассчитаны Raman – спектры трех силициновых нанолент с краями типа «кресло» пассивированными атомами водорода с шириной $N=3$, $N=5$ и $N=7$ (3-ASiNR, 5-ASiNR, 7-ASiNR) соответственно. На рис.1 показан Raman - спектр силициновой наноленты с краями типа «кресло» шириной $N=3$ (3-ASiNR)



Из рисунка видно, в наноленте 3-ASiNR характерные сигнатуры подобные для однослойного графена в спектре комбинационного рассеяния все еще хорошо сохраняются.

Список публикаций:

[1] P. Giannozzi, S. Baroni, N. Bonini et. al., *J. Phys.: Condens. Matter* 21, 1-19 (2009).

[2] S. Lebegue *Phys. Rev. B* 79, 115409-115412 (2009).

[3] H.J. Monkhorst, J.D. Pack, *Phys. Rev. B* 13, 5188-5192 (1976).

Создание поверхностных наноструктур оксида цинка при обработке пластин металла горячей водой

Парфенов Андрей Вадимович

Кузнецов Дмитрий Константинович, Шур Владимир Яковлевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

parfenov132010@mail.ru

Оксид цинка (ZnO) привлекает значительное внимание как научных кругов, так и промышленности благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам. Это полупроводниковый материал с шириной запрещенной зоны 3.4 эВ и энергией связи экситонов 60 мэВ при комнатной температуре. Кроме того, ZnO является уникальным материалом с точки зрения возможности формирования наноструктур с различной морфологией: наностержни, нановолокна, нанопластины и др. [1] Все эти свойства делают его перспективным материалом для широкого спектра технологических применений. В том числе для изготовления электронных, фотонных и оптических устройств, таких как солнечные батареи, датчики, ультрафиолетовые фотоприемники, лазеры и полевые транзисторы [1,2].

Изучалось формирование поверхностных наноструктур оксида цинка при обработке поверхности цинковых пластин горячей водой.

Использовались пластины цинка толщиной 0,5 мм и размером 10 мм в диаметре. Непосредственно перед обработкой горячей водой исходный слой оксида цинка и органические загрязнения удалялись мелкодисперсной наждачной бумагой. После чего образец очищался ультразвуком в ацетоне и изопропиловом спирте в течение 5 минут.

Обработку горячей деионизованной водой проводили при температуре 60-95 ° С в течение 30 мин. Объем воды составлял 50 мл. После обработки образцы высушивались потоком воздуха.

Смачиваемость обработанных поверхностей характеризовалась углом смачивания капли воды, измеренного методом лежащей капли. Измерения проводились после тщательной сушки образца сжатым воздухом. Каплю воды объемом 2 мкл помещали на поверхность и регистрировали ее профиль с помощью камеры высокого разрешения FASTCAM Mini UX100 (Photron, Германия).

Морфология поверхности пластин визуализировалась методом сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) с использованием двухлучевой рабочей станции Auriga CrossBeam (Carl Zeiss, Германия), работающей при ускоряющем напряжении 3 кВ и токе пучка около 100 пА. Был использован режим регистрации вторичных электронов с разрешением до 2 нм.

Толщину наноструктур оксида цинка измеряли методом СЭМ-визуализации поперечных сечений, полученных сфокусированным пучком ионов Ga⁺ (СИП), работающим при ускоряющем напряжении 30 кВ и токе пучка 1 нА. Элементный состав измеряли с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) с использованием детектора X-MaxN и анализировали с помощью программного обеспечения Aztec (Oxford Instruments, UK).

Элементный анализ поверхностного слоя цинковой пластины проводился до и после обработки. Результаты анализа показали, что наноструктурированный слой, состоящий из нанопластин оксида цинка, появляется после обработки горячей водой.

Исследование полученных наноструктурных слоев позволило выявить значительное увеличение концентрации нанотрубок с увеличением температуры воды при обработке.

Для количественной характеристики эффекта проводилась статистическая обработка СЭМ изображений. Полученные изображения в градациях серого были оцифрованы локальной адаптивной функцией бинаризации с последующим применением функции скелетизации. Полученный скелет соответствует верхним краям нанотрубок. Средний период наноструктуры рассчитывался как отношение площади покрытой ею поверхности к общей длине сегментов скелета.

Было обнаружено, что появление наноструктуры оксида цинка приводит к значительному изменению смачиваемости поверхности. Угол смачиваемости необработанной поверхности пластины составлял около 50°. Было показано, что обработка горячей водой в течение 30 мин при температуре 95 °С приводит к появлению гидрофобности поверхности.

Список публикаций:

[1] K.R. Khedir et al., *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2017, 17, 4842–4850,

[2] A. Lamberti et al., *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, 615, S487–S490

Определение гранулометрического состава полититаната калия, модифицированного хромом (III) методами анализа электронно-микроскопических изображений и лазерной дифракции

Пирожков Дмитрий Алексеевич¹

Ерагер Ксения Романовна¹, Макаров Алексей Алексеевич²

Саунина Светлана Ивановна¹

Челябинский государственный университет

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.²

Саунина Светлана Ивановна¹

dmitriy.p1rozhkov@yandex.ru

Гранулометрический состав является одной из основных характеристик дисперсных систем. Существующие методы анализа размеров и формы частиц, основаны на физических принципах, в которых используются различные свойства частиц. Каждый из этих методов применим для определённого диапазона размеров частиц.

Методами лазерной дифракции (ЛД) и электронной микроскопии с использованием программного пакета ImageJ был определен гранулометрический состав (ГС) полититаната калия, модифицированного в растворе нитрата хрома (III), при значениях водородного показателя pH = 3 и 5, термообработанного при 900°C. Размеры частиц модифицированного ПТК определяли на лазерном дифрактометре Analysette 22 MicroTec plus в диапазоне 0,08 – 2000 мкм. По полученным данным построены гистограммы распределения частиц по размерам [1]. Электронно-микроскопические изображения образцов получены на сканирующем электронном микроскопе (JEOLJSM-6510). Определение размеров частиц проведено согласно методике [2].

На *рис.1* представлены гистограммы распределения частиц исследованных образцов с использованием метода ЛД. Распределение частиц по размерам для всех образцов является одномодальным с отрицательной асимметрией, значение наиболее вероятного размера не превышает 27 и 17 мкм для pH = 3, 5 соответственно.

Типичные микрофотографии образцов (*рис.2*), по изображениям которых были построены гистограммы распределения частиц с использованием программного пакета ImageJ, показаны на *рис.3*. Размеры частиц, рассчитанные с использованием анализа электронно-микроскопических изображений, составили: ~2,5 и 1,5 мкм для pH = 3 и 5 соответственно.

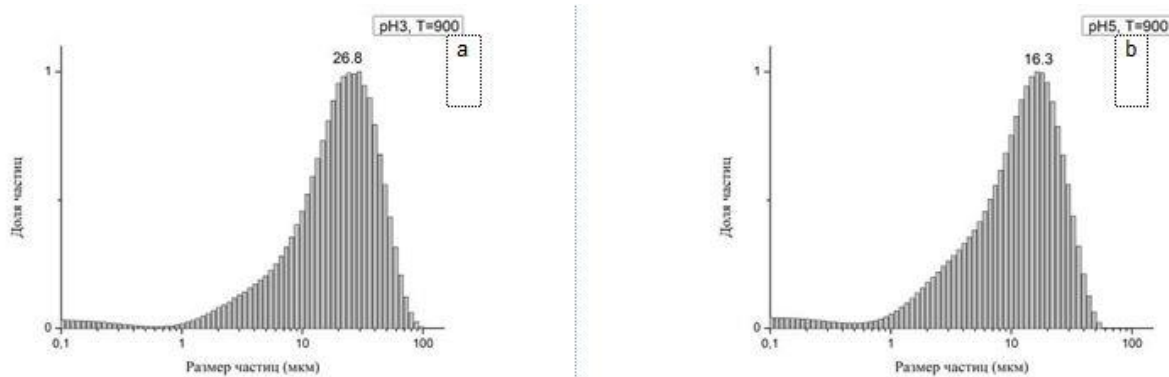


рис.1 Распределения частиц по размерам, по данным анализа методом лазерной дифракции: а–рН=3, б–рН=5

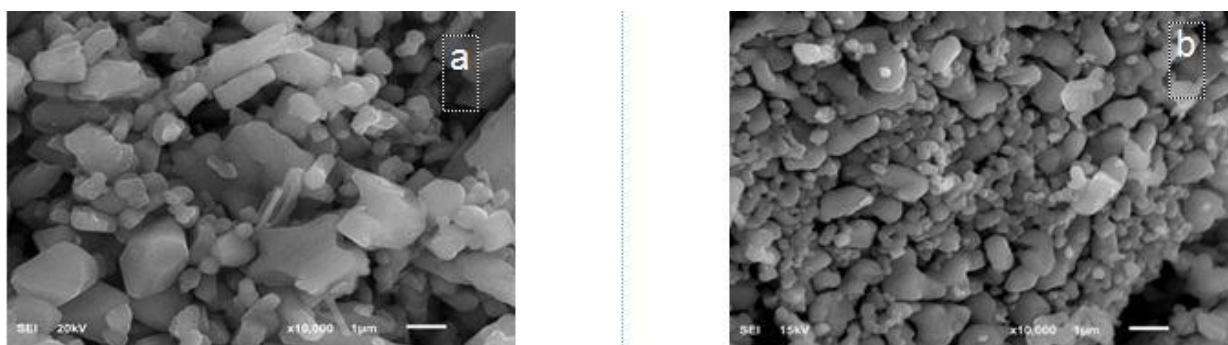


рис.2 Микрофотографии модифицированного ПТК: а–рН=3, б–рН=5

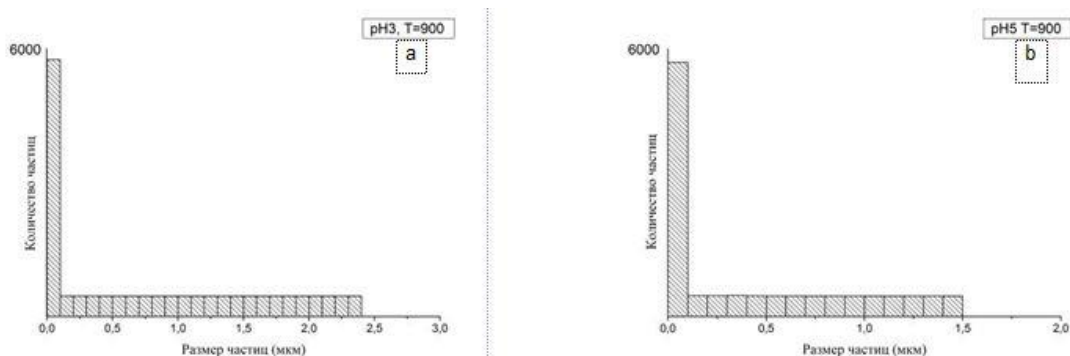


рис.3 Распределение частиц по размерам по данным анализа электронно-микроскопических изображений: а–рН=3, б–рН=5

Расхождение между размерами частиц, полученных методами лазерной дифракции и с использованием анализа электронно-микроскопических изображений, может быть связано с окраской образцов и с неизометрической формой частиц [3, 4]. Погрешность измерения размеров частиц методом анализа электронно-микроскопических изображений с использованием программного пакета ImageJ, возможно, связана с немонослойным расположением частиц при пробоподготовке.

Список публикаций:

- [1] Гаврилова Н.Н., Назаров В.В., Яровая О.В. // Учеб. пособие – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. С. 52.
- [2] Ивакин Ю.Д. //: учеб. пособие. М.: МГУ, 2017. С. 244.
- [3] Колоницкий П.Д., Суходолов Н.Г. // Вестник СПбГУ. 2015. Сер.4. Т. 2(60). С. 93.
- [4] Шинкарев А.А., Корнилова А.Г., Трофимова Ф.А., Гордеев А.С., Гиниятуллин К.Г., Лыгина Т.З. // Ученые записки казанского государственного университета. 2010. Т. 152(2). С. 251.

Расчет колебательных спектров графеновых нанолент

Пономарев Владислав Валерьевич

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.

pon_slav@mail.ru

Исследования графеновых нанолент (GNR) с помощью сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии подтвердили тесную связь между структурой и свойствами, предоставляя структурную и электронную информацию в атомном масштабе. Однако поверхностный синтез атомарно точных графеновых нанолент является лишь первым шагом к интеграции GNR в наноэлектронные устройства, за которым должен следовать их контролируемый перенос с металлической ростовой подложки (обычно Au (111)) на изолирующую или полупроводниковую подложки, которые более подходят для приложений цифровой логики.

Однако интеграция GNR в наноэлектронные устройства является критическим этапом, поскольку необходимо сохранять качество GNR и контролировать его после переноса на подложку. Рамановская спектроскопия является пока единственным методом, способным исследовать структурное качество GNR на всем пути от роста в условиях сверхвысокого вакуума (UHV) до интеграции в наноэлектронные устройства.

В данной работе на основе метода функционала плотности исследуются колебательные свойства графеновых нанолент. края которых пассивированы атомами водорода. Расчеты проводились в рамках теории функционала плотности с использованием приближения локальной плотности (LDA). Для ускорения сходимости в расчетах выбрана величина энергии «обрезания» $E_{cut}=40$ Ry подобно расчетной процедуре, изложенной в работе [2]. Разбиение обратного пространства на сетку $5 \times 5 \times 1$ осуществлялось посредством использования метода Монхорста-Пака [3]. Во избежание взаимодействия между слоями расстояние между ними устанавливалось равным 15 \AA .

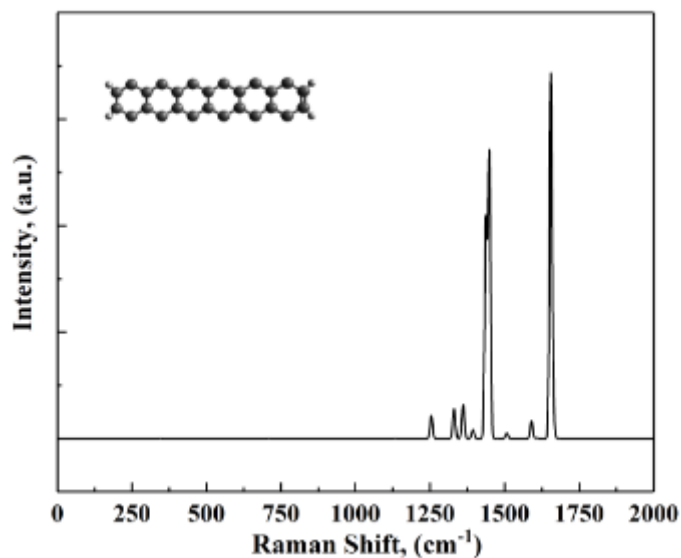


рис. 1

На рис.1 показан спектр комбинационного рассеяния графеновой наноленты с краями типа «кресло» шириной $N=7$ (7-AGNR), рассчитанный методами функционала плотности. В работе показано, что в графеновых нанолентах с различной шириной характерные сигнатуры однослойного графена в спектрах комбинационного рассеяния все еще хорошо сохраняются, что абсолютные интенсивности G- и 2D-линий масштабируются с шириной наноленты, а интенсивность D-линии - нет. Следовательно, интенсивность D-линии зависит только от краевой области наноленты, включая шероховатость кромки, которая может быть дополнительно проанализирована путем выполнения зависимых от поляризации измерений.

Из рисунка видно, в наноленте 3-ASiNR характерные сигнатуры подобные для однослойного графена в спектре комбинационного рассеяния все еще хорошо сохраняются.

Список публикаций:

[1] P. Giannozzi, S. Baroni, N. Bonini et. al., *J. Phys.: Condens. Matter* 21, 1-19 (2009).

[2] S. Lebegue *Phys. Rev. B* 79, 115409-115412 (2009).

[3] H.J. Monkhorst, J.D. Pack, *Phys. Rev. B* 13, 5188-5192 (1976).

Исследование фазового состава наночастиц Fe@C в углеродной оболочке методами ЯМР

Прокопьев Дмитрий Андреевич^{1,2}

Гермов Александр Юрьевич², Михалёв Константин Николаевич², Уймин Михаил Александрович^{1,2},
Ермаков Анатолий Егорович^{1,2}, Конев Александр Сергеевич²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

Михалёв Константин Николаевич

prokopen.dima@mail.ru

Нарастающий интерес к магнитным наноматериалам обусловлен их применением в химии, биологии и медицине [1]. Магнитные наночастицы могут применяться в качестве катализаторов химических реакций [2], в качестве контрастного агента магнитно-резонансной томографии (МРТ) [3], а также для адресной доставки лекарств [4]. Отдельный интерес обусловлен изменением магнитных и химических свойств наночастиц, в зависимости от размеров и формы [5].

Удобным, универсальным и эффективным методом в данном случае является ЯМР [16], поскольку традиционные методы исследования фазового состава и кристаллической структуры наночастиц, такие как дифракция рентгеновских лучей и нейтронов, не всегда применимы из-за малых размеров образца [6,7].

Углеродное покрытие, создаваемое в нанокompозитах на основе переходных металлов, предохраняет наночастицы от воздействия агрессивной внешней среды, а также предохраняет биологические ткани от токсичных металлов группы железа [6, 8, 9]. Важно контролировать не только толщину, но и микроструктуру этого покрытия, так как тонкие углеродные слои могут содержать двумерные углеродные структуры (графен), которые вредны для живых тканей [10].

Наночастицы Fe@C были приготовлены методом газофазного синтеза с дальнейшим отжигом при 800-1000 оС. Подробности синтеза описаны в работах [5, 7]. В ходе работы были получены результаты по намагниченности, рентгеновской дифракции и ЯМР спектроскопии образца.

Спектры ЯМР ¹³C регистрировались на импульсном спектрометре ЯМР Bruker AVANCE 500 во внешнем магнитном поле H₀ = 11.747 Т при комнатной температуре, сигналы ЯМР ⁵⁷Fe - в нулевом внешнем магнитном поле при температуре 4.2 К. Для регистрации спектров ЯМР использовалась двух - импульсная последовательность с последующим интегрированием спинового эха с перестройкой частотного тракта через 1 МГц.

Анализ полученных данных показал, что средний размер наночастиц составляет 10 нм. Согласно результатам ЯМР ⁵⁷Fe, в ядре наночастиц Fe@C присутствуют фазы металлического α-Fe (65.2 %), твердого раствора Fe₃C (25 %) и карбида Fe₃C (9.8 %). Спектр ЯМР ¹³C представляет собой неоднородно уширенную линию, относящуюся к стеклоподобному углероду.

Работа выполнена в рамках государственной темы «Функция» № АААА-А19-119012990095-0, «Магнит» № АААА-А18-118020290129-5 и «Сплавы» № АААА-А19-119070890020-3.

Список публикаций:

- [1] L. Mohammed, *Particuology*, 30, 1–14 (2017)
- [2] B.C. Bayer et al., *J. Phys. Chem. C* 120, 22571–22584 (2016)
- [3] D. González-Mancebo et al., *Particle and Particle Systems Characterization* 34, 10 (2017)
- [4] A.M. Demin et al., *Langmuir*, 34(11), 3449 (2018)
- [5] N. Vnukova et al., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 440, 164–166 (2017)
- [6] V. A. Tsurin et al., *Physics of the Solid State* 56, 287 (2014)
- [7] K.N. Mikhalev et al., *Physics of the Solid State* 59, 3, 514–519 (2017)
- [8] K.N. Mikhalev et al., *Mater. Res. Express* 5, 055033 (2018)
- [9] A. Manukyan et al., *NANO: Brief Reports and Reviews* 10, 6 (2015)
- [10] Ou et al., *Particle and Fibre Toxicology* 13, 57 (2016)

Атомистическое моделирование получения композита никель-графен разными методами обработки

Сафина Лилия Ришатовна

Бакирский государственный университет

Баимова Юлия Айдаровна

safli@mail.ru

В последнее время металлические наноструктуры рассматриваются как перспективные материалы для различных применений. Было показано, что некоторые металлы, такие как Ni, Pt, Pd и Ti, легко присоединяются к полиморфам углерода [1, 2]. Таким образом, металлы могут быть покрыты чешуйками графена или нанотрубками и объединены в трехмерную композитную структуру, где после специальной обработки некоторые графеновые чешуйки будут соединены ковалентными связями и трансформированы из углеродной матрицы sp^2 в sp^3 . В данной работе было проведено моделирование методом молекулярной динамики для исследования способов формирования композита Ni-графен. Обнаружены две возможности получения композита: 1) отжиг после гидростатического сжатия при нулевой или комнатной температуре; 2) гидростатическое сжатие при высоких температурах.

На рис. 1 представлена начальная структура в трехмерном виде. Единичный элемент - чешуйка графена была получена из короткой углеродной нанотрубки удалением ряда атомов вдоль ее оси и заполнена наночастицами Ni. Наночастицы Ni состоят из 21 атома. Ранее было показано, что такой размер наночастицы наиболее благоприятный для лучшего формирования композита [2, 3, 4]. Одна чешуйка графена состоит из 252 атомов углерода, а общее количество атомов в системе составляет $N = 17462$. Трехмерная структура создавалась повторением $4 \times 4 \times 4$ структурных единиц вдоль направлений x , y и z соответственно. Чешуйки, заполненные наночастицами Ni₂₁, были ориентированы в пространстве случайным образом. Во всех случаях использовались периодические граничные условия вдоль направлений x , y и z .

Для получения композита никель-графен, прикладывается к начальной структуре сжатие с последующим отжигом при температурах 1000; 1500; 2000 и гидростатическое сжатие при разных температурах $T = 0$; 300; 1000; 1500; 2000 К до максимально возможных плотностей. Для описания межатомных взаимодействий используются два потенциала – потенциал AIREBO для взаимодействия углерод-углерод и потенциал Морзе для описания взаимодействия никель-никель и никель-углерод. Для описания взаимодействия атомов были выбраны параметры, предложенные в работах [5, 6, 7].

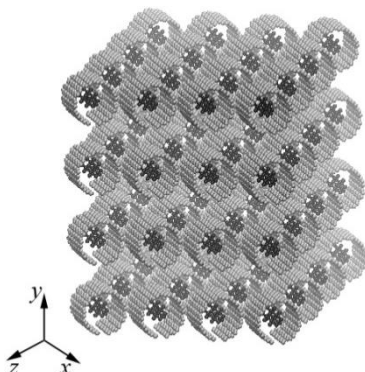


рис.1. Исходная структура графен-никель. Светлым показаны атомы углерода, темным – атомы частиц.

Для оценки прочности полученного композита структуру подвергают гидростатическому растяжению. На рис.2б представлены кривые давление-деформация при растяжении для структуры гидростатически сжатой при 0 и 2000 К. Нужно отметить, что температура положительно влияет на процесс формирования композита. Для структуры, сжатой при температуре 0 К, заметное увеличение p наблюдается до $\varepsilon = 0.2$, после чего дальнейшее растяжение фактически не приводит к увеличению напряжений. В этом случае структурные элементы остались отдельными углеродными частицами, заполненными частицей металла, образования новых ковалентных связей не обнаружено. Такая кривая напряжение-деформация соответствует случаю растяжения материала, состоящего из отдельных элементов, а не цельного композитного материала.

Методом молекулярной динамики изучено влияние гидростатического сжатия в интервале температур от 0 до 2000 К на образование композита графен-никель. Было выявлено, что только нагрев до температур, близких к 2000 К, может привести к ковалентному связыванию графеновых хлопьев и образованию связей между отдельными структурными элементами. Специальная высокотемпературная обработка является эффективным способом изготовления метал-углеродных нанокомпозитов.

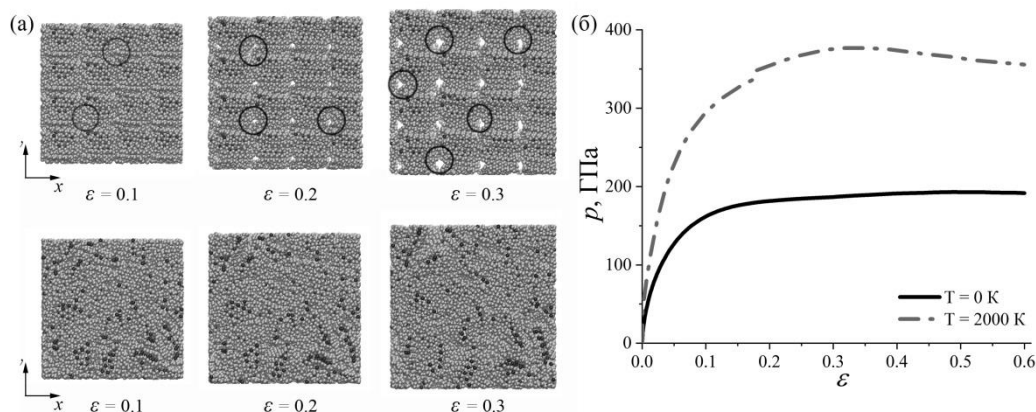


рис.2. (а) Структуры при растяжении для разной степени деформации после гидростатического сжатия при 0 К и после гидростатического сжатия при 2000 К. (б) Кривые давление-деформация при растяжении после гидростатического сжатия при 0 и 2000 К.

Список публикаций:

- [1] Park N., Sung D., Lim S. et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2009. V. 94. P. 073105.
- [2] Safina L.R., Baimova J.A., Mulyukov R.R. // *Mech. Adv. Mater. Mod. Process.* 2019. V. 5. P. 1–11.
- [3] Safina L. R., Krylova K. A. // *J. Phys. Conf. Ser.* 2020. V. 1435. P. 012067.
- [4] Сафина Л.Р., Баимова Ю.А. // *ФПСМ. Т. 16. № 1.* 2019. С. 30-36.
- [5] K. P. Katin, V. S. Prudkovskiy, M. M. Maslov. // *IET.* 2018. V. 13. P. 160-164.
- [6] A. Y Galashev, K. P. Katin, M. M. Maslov. // *Physics Letters A, Elsevier BV.* 2019. V. 383., P. 252-258
- [7] L. A. Girifalco, V. G. Weizer. // *Physical Review.* 1959. V. 114. P. 687-690.

Механизмы роста графенового слоя при термическом газофазном осаждении на меди

Смож Дмитрий Владимирович

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

smovzh@itp.nsc.ru

Графен один из самых перспективных материалов современного мира. В настоящий момент сфера его применения в реальных секторах экономики не очень высока, но все прогнозы предсказывают экспоненциальный рост в ближайшие несколько лет. В современной научной литературе экспериментально апробированы прототипы большинства бытовых устройств с использованием графена или его производных. Широкий спектр возможных применений обусловлен возможностью контроля свойств графенового слоя управлением параметрами при росте и путем обработки графеновых материалов после синтеза. К наиболее актуальным задачам синтеза графенового слоя относятся вопросы контроля размера кристалла, количества дефектов, скорости роста и взаимодействия графенового слоя с каталитической подложкой.

В настоящем докладе представлен узкий класс теплообменных устройств на основе графен-полимерных композитов. Сформулированы требования к параметрам графенового покрытия и обсуждены способы их достижения в современной технологии химического осаждения. Описаны способы контроля скорости формирования зародышей кристаллической фазы, скорости роста 2D графенового кристалла, контроля количества графеновых слоев и их взаимодействия с каталитической подложкой, на базе экспериментальных результатов полученных в Институте теплофизики СО РАН. В заключении представлена дорожная карта развития графеновой индустрии в мире и России.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00213).

Влияние межатомных потенциалов на массоперенос сверхзвуковыми 2-краудионами Сунагатова Ильдия Рахимовна

Баширский государственный университет

Дмитриев Сергей Владимирович, д.ф.-м.н., Валитов Венер Анварович, д.т.н.

sunagatova66@gmail.com

Межузельный атом, помещенный в плотно упакованный атомный ряд, называется краудионом. Краудионы очень эффективны в массообмене в кристаллической решетке, поскольку они являются очень подвижными, солитоноподобными объектами. Один межузельный атом может двигаться вдоль плотно упакованного атомного ряда со сверхзвуковой скоростью в двух различных режимах, как классический 1-краудион и как 2-краудион. Разница в том, что в последнем случае два атома движутся с высокой скоростью одновременно, тогда как в первом случае только один атом имеет высокую скорость. Наиболее важной характеристикой межатомных потенциалов, которая влияет на длину пути краудиона, является энергия межатомной связи на расстоянии между двумя атомами, равном половине равновесного межатомного расстояния. Этот вывод обосновывается условием самофокусировки распространения сверхзвуковых краудионов, то есть скорость столкновения атомов не должна превышать значения, когда они приближаются друг к другу ближе, чем на половину межатомного расстояния.

В качестве примера рассмотрен перенос массы 1- и 2-краудионами в двумерной треугольной решетке с потенциалами Морзе и Борна-Майера. Считается, что двумерная треугольная решетка ускоряет моделирование и учитывает, что результаты, полученные ранее для двумерных и трехмерных решеток Морзе, находятся в очень хорошем качественном согласии и отличаются только количественно [1,2]. Итак, рассматривается треугольная двумерная решетка с межатомным расстоянием d . Как показано на рис.1, ось x направлена вдоль плотноупакованных атомных рядов.

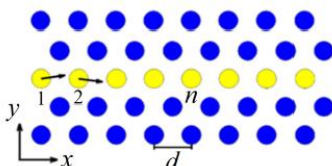


рис.1. Атомы треугольной решетки на плоскости xy . Ось x направлена вдоль плотноупакованного атомного ряда, d – межатомное расстояние или диаметр атома. Атомы в одном плотно упакованном ряду (более светлые) пронумерованы индексом n . Показаны начальные условия для инициирования 2-краудиона: атомы 1 и 2 имеют начальные скорости с компонентами $(V_0, \epsilon V_0)$ и $(V_0, -\epsilon V_0)$, где V_0 – начальная скорость и $\epsilon = 10^{-6}$.

Рассмотрены два парных межатомных потенциала. Потенциал Морзе имеет вид

$$U_{MR}(r) = D (e^{-2\alpha(r-r_m)} - 2e^{-\alpha(r-r_m)}) \quad (1)$$

Здесь U_{MR} – потенциальная энергия двух взаимодействующих атомов, r – расстояние между ними, а α , D и r_m – параметры потенциала. Функция $U_{MR}(r)$ имеет минимум при $r = r_m$, D – это глубина потенциала (энергия связи), а α определяет жесткость межатомной связи. Аналогично, потенциал Леннард-Джонса определяется выражением:

$$U_{LJ}(r) = L \left[\left(\frac{r_l}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{r_l}{r} \right)^6 \right] \quad (2)$$

Здесь параметры потенциала обозначены как L и r_l . Первый определяет глубину потенциала (энергию связи), а второй – равновесное межатомное расстояние. Параметры двух потенциалов были выбраны таким образом, чтобы удовлетворить следующие условия:

$$U_{MR}(r_{min}) = U_{LJ}(r_{min}) = -1, \quad (3) \quad \frac{dU_{MR}}{dr}(r_{min}) = \frac{dU_{LJ}}{dr}(r_{min}) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{d^2U_{MR}}{dr^2}(r_{min}) = \frac{d^2U_{LJ}}{dr^2}(r_{min}), \quad (5)$$

где без ограничения общности мы устанавливаем $r_{min} = 1$.

Потенциалы Морзе и Леннард-Джонса показаны на рис.2 пунктирной и сплошной линиями соответственно. На вставке потенциалы показаны в окрестности минимума, а на основном рисунке показаны отталкивательные части потенциалов. Части потенциалов, описывающие притяжение ($r > 1$) близки друг к другу, но отталкивательные части ($r < 1$) заметно отличаются. При изучении краудионов важна отталкивающая часть потенциала, поскольку межузельный атом создает локальное сжатие.

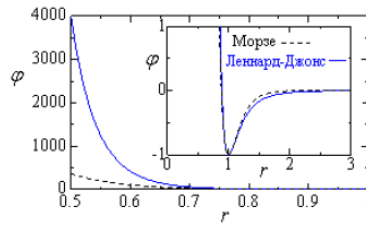


рис.2. Отталкивательная часть потенциалов Морзе и Леннард-Джонса (пунктирная и сплошная линии, соответственно).

Уравнения движения атомов интегрировались с использованием метода Штормера шестого порядка точности с шагом по времени, равным $\tau = 10^{-3}$. Тепловых колебаний не вводилось, то есть моделирование проводилось при температуре 0 К. Малая компонента вектора скорости в направлении вводилась для анализа самофокусировки краудиона. Энергия, передаваемая системе при возбуждении краудионов, равна начальной кинетической энергии возбужденных атомов,

$$E_0 = NMV_0^2/2, \quad (6)$$

где $N=1$ и 2 для 1- и 2-краудионов, соответственно. Напомним, что масса атома в наших моделях равна $M=1$. Основной результат данного исследования представлен на рис.3, длина пробега 1- и 2- краудионов, измеренная в межатомных расстояниях $N=x/a$, показана как функция начальной скорости V_0 , возбужденных атомов для (а) потенциала Морзе и (б) потенциала Леннард-Джонса.

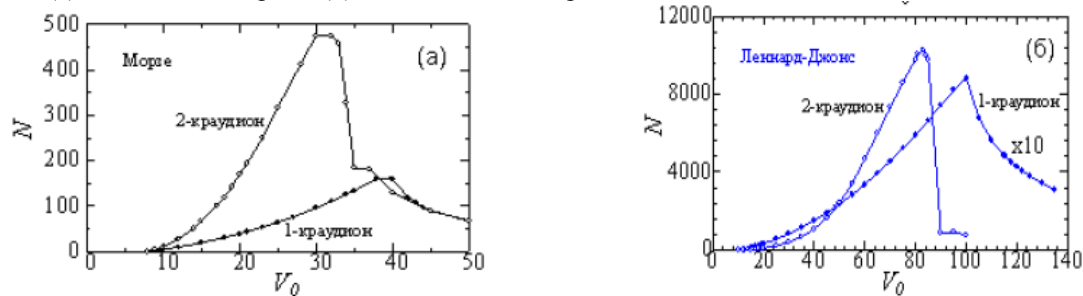


рис.3. Длина пути краудиона в межатомных расстояниях как функция начальной скорости возбужденных атомов (V_0 (а) и начальной энергии возбужденных атомов E_0 (б)). Открытые и заполненные кружки предназначены для 1- и 2-краудионов, соответственно, движущихся в кристалле Морзе. Открытые и заполненные квадраты предназначены для 1- и 2-краудионов, движущихся соответственно в кристалле Леннард-Джонса. Отметим, что на нижней панели данные для 1-краудиона в кристалле Леннард-Джонса умножены на 10.

Хорошо видно, что в обоих кристаллах 2-краудионы имеют в существенно большую длину пробега, чем 1-краудионы. В решетке Леннард-Джонса условие самофокусировки выполняется для столкновений с более высокой энергией. Имея более высокие начальные энергии, самофокусирующиеся краудионы в решетке Леннард-Джонса преодолевают большие расстояния. Таким образом, в данной работе установлено влияние отталкивательной части межатомного потенциала на динамику сверхзвуковых 1- и 2-краудионов. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 18-19-00685.

Список публикаций:

- [1] E. A. Korznikova, I. A. Shepelev, A. P. Chetverikov, S. V. Dmitriev, S. Y. Fomin, K. Zhou. *J. Exp. Theor. Phys.* 127, 1009 (2018).
- [2] И.П. Сунагатова, А.С. Семенов, А.М. Баязитов, Е.А. Корзникова, *Фундаментальные проблемы современного материаловедения* 16(4), 482-488 (2019).
- [3] E.A. Korznikova, I.R. Sunagatova, A.M. Bayazitov, A.S. Semenov, S.V. Dmitriev, *Letters on Materials* 9(4), 386-390 (2019).
- [4] A. M. Iskandarov, N. N. Medvedev, P. V. Zakharov, S. V. Dmitriev. *Comput. Mater. Sci.* 47, 429 (2009).
- [5] A. P. Chetverikov, I. A. Shepelev, E. A. Korznikova, A. A. Kistanov, S. V. Dmitriev, M. G. Velarde. *Computational Condensed Matter.* 13, 59 (2017).

Влияние старения на структуру и фазовый состав высокоазотистой аустенитной стали

Тумбусова Ирина Алексеевна¹

Национальный исследовательский Томский политехнический университет¹

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН²

Астафурова Елена Геннадьевна, д.ф.-м.н.²

Майер Галина Геннадьевна, к.ф.-м.н.²

tumbusova031098@mail.com

Коррозионостойкие хромоникелевые стали широко применяются в современном машиностроении благодаря своей высокой статической и циклической прочности. Главным недостатком таких сталей является их высокая стоимость. Высокоазотистые аустенитные стали (ВАС), полученные на основе системы Fe-Cr-Mn-N, являются бюджетным аналогом никельсодержащих сталей. ВАС выгодно отличаются от традиционных материалов уникальным сочетанием прочности, пластичности и ударной вязкости. ВАС тоже не лишены недостатков – из-за многообразия возможных структурных и фазовых состояний возникает необходимость подбора режимов термообработки для получения необходимых характеристик прочности и пластичности [1-2].

В работе исследовали влияние температуры и продолжительности старения на фазовый состав и микроструктуру высокоазотистой аустенитной стали Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N, мас. %. С целью получения аустенитной структуры образцы подвергли закалке в воду после 30 минутной выдержки при температуре 1200°C. Старение закаленных стальных образцов выполняли в среде гелия при температурах 600°C, 700°C и 800°C с продолжительностью выдержки от 10 минут до 50 часов.

В исходном состоянии после закалки исследуемая сталь имела структуру азотистого аустенита γ_{N1} -Fe с параметром решетки $a=3,629\text{\AA}$, а также содержала 25% δ -феррита с параметром решетки $2,88\text{\AA}$. Появление ферритной фазы после закалки обусловлено высоким содержанием Cr в составе стали. С помощью рентгенофазового анализа установили, что старение при температуре 600°C до 5 часов не приводит к изменению фазового состава стали. Старение более 5 часов при температуре 600°C приводит к появлению в составе стали интерметаллидной σ -фазы, высокоазотистого аустенита, нитридов хрома $Cr_2(N,C)$ и обедненного аустенита по атомам внедрения. При таких режимах старения происходит распад высокотемпературного δ -феррита на интерметаллидную σ -фазу и высокоазотистый аустенит. Помимо формирования мелкозернистых σ -фазы и высокоазотистого аустенита в бывших зернах δ -феррита, на ПЭМ изображениях наблюдали образование ячеек распада на границах аустенитных зерен в результате образования нитридов хрома $Cr_2(N,C)$ по прерывистому механизму. При этом фронт реакции прерывистого распада распространяется от границы к центру аустенитного зерна постепенно заполняя его объем. Распад зерен δ -феррита и азотистого аустенита γ_{N1} -Fe реализуется быстрее при более высоких температурах. Так, непродолжительная выдержка при температурах 700°C (30 мин.) и 800°C (10 мин.) приводит к практически полному распаду δ -феррита, появлению σ -фазы и нитридов хрома Cr_2N . Независимо от продолжительности старения при температурах 700°C и 800°C в структуре стали присутствовала небольшая доля ферритной фазы, но ее объемное содержание составляло менее 5 %. Наличие ферритной фазы после старения аустенитной стали может быть связано как с распадом аустенита и образованием феррита в обедненных по азоту областях аустенитной структуры, так и с присутствием остаточного δ -феррита, не претерпевшего фазовый распад при старении. Согласно данным рентгеноструктурного анализа старение исследуемой ВАС при температурах 600°C, 700°C и 800°C сопровождается следующей последовательностью фазовых превращений: γ_{N1} -Fe+ δ -феррит (до старения) \rightarrow σ -фаза+ γ_{N2} -Fe+ $Cr_2(N,C)$ + γ_{N1} -Fe + δ -феррит (после старения).

На металлографических изображениях после старения при температурах 600°C, 5ч.; 700°C, 0,5 ч. и 800°C, 10 мин. наблюдали формирование смешанной структуры, состоящей из зерен, претерпевших фазовый распад (зерна с повышенной травимостью) и зерен, в которых фазовый распад не произошел (зерна с низкой травимостью). При температуре старения 600°C распад протекает медленно: объемная доля зерен (V), претерпевших фазовый распад, увеличилась с 25% (0,5 ч.) до 32% (50 ч.). С увеличением температуры старения до 700°C и 800°C скорость распада и объем превращенного материала возрастают: от 33% (после 0,5 ч.) до 54% (после 50 ч.) и от 28% (после 10 мин) до 52% (после 10 ч), соответственно. После 50 часов старения при температуре 800°C наблюдали однородный затрав во всех зернах, но согласно данным рентгенофазового анализа даже после 50 часов выдержки распада аустенита γ_{N1} -Fe не завершен.

Авторы благодарны Гальченко Н.К. за помощь в подготовке материала для исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-19-01197).

Список публикаций:

[1] Казаков А.А., Орыщенко А.С., Фомина О.В., Житнев А.И., Вихарева Т.В. Управление природой δ -феррита в азотосодержащих хромомарганцевых сталях // Вопросы материаловедения. 2017. № 1 (89). С. 7 – 21.

[2] Банных О.А., Банных И.О. Металловедческие особенности и перспективы применения высокоазотистых аустенитных сталей // ИМЕТ РАН. 2018. С. 240 – 253.

Влияние условий синтеза на микроструктуру протонпроводящих керамических материалов на основе церата бария

Филоненко Елена Михайловна

Булаева Елена Александровна, Калганов Дмитрий Александрович

Челябинский государственный университет

Луцицкая Юлия Александровна

efilonenko1310@gmail.com

Среди известных в настоящее время среднетемпературных твердооксидных электролитов керамические материалы на основе церата бария со структурой типа перовскита считаются наиболее высоко протонпроводящими и продолжают активно изучаться [1-3]. Появление протонов в структуре сложного оксида определяется наличием кислородных вакансий и водородсодержащей атмосферой, из которой протоны внедряются в решетку в виде гидроксильных групп [1]. Соединения на основе BaCeO_3 обладают также высокой анионной проводимостью [1, 3] при условии частичного замещения Ce^{4+} катионами низшей валентности M^{3+} в октаэдрических позициях (B - позициях) структуры типа перовскита. Гетеровалентное замещение в решетке $\text{AB}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$ обуславливает появление кислородных вакансий, концентрация которых определяется уровнем допирования x [1].

Основными критериями коммерческой реализации таких материалов для работы в топливных элементах наряду с ионной/протонной проводимостью выступают микроструктура керамики, конструкционные свойства которой (относительная плотность, пористость, размеры зерен) в значительной степени зависят от температур синтеза и спекания материалов.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ выбранных методов синтеза (твердофазной реакции и метода Печини) с целью получения однофазных и высокоплотных образцов состава $\text{BaCe}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (M^{3+} - Y, Pr, Nd, Sm, Gd) при сравнительно низких температурах спекания (1423 и 1623 К соответственно).

Особенности процессов фазообразования при синтезе церата бария и его производных изучали ТГ-ДСК анализом с помощью синхронного термоанализатора STA 449 F5 Jupiter, NETZSCH, на воздухе в температурном интервале 297 – 1473 К. Контроль фазового состава синтезированных образцов осуществляли методом качественного рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE. Уточнение кристаллической структуры проводили методом Ритвельда с применением программного комплекса GSAS. Морфологию поверхности керамических образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (режим SEI) при увеличении $\times 10000$.

Анализ микроструктуры исследуемых образцов позволил выявить слабую связанность частиц и определить размер зерен (0.9 - 3.6 мкм) для соединений, полученных методом твердофазной реакции. При этом установлено, что материалы, полученные по технологии цитрат-нитратного синтеза (м. Печини), характеризуются высокой гомогенностью и имеют частицы меньшего размера (~ 0.4 мкм).

Для составов, полученных различными методами, определены относительная плотность и открытая пористость при 1423 и 1623 К соответственно. Показано, что после отжига при 1623 К относительная плотность всех керамических материалов увеличивается. Наибольшей относительной плотностью обладают образцы $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, $\text{BaCe}_{0.9}\text{Sm}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, полученные методом Печини. При этом открытая пористость соединений, исключение составляет $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, уменьшается.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00269.

Список публикаций:

[1] Medvedev D. A. et al. // *Progress in Materials Science*. 2014. V. 60. P. 72.

[2] Лягаева Ю. Г. и др. // *Физика и техника полупроводников*. 2014. Т. 48. № 10. С. 1388.

[3] Filonenko E. M., Lupitskaya Yu. A., Kalganov D. A. // *Materials Research Proceedings*. 2018. №. 9. P. 157.

Влияние аккумулирующей ИПДК на аморфный сплав на основе Zr

Хасанова Диана Алферовна

Гундеров Дмитрий Валерьевич, Гундерова Софья Дмитриевна

Уфимский государственный авиационный технический университет

dianamorte@mail.ru

Аморфные материалы [1-3], в том числе так называемые объемные металлические стекла (ОМС), активно исследуются несколько десятилетий. Сплавы с аморфной структурой отличаются по своим физическим и механическим свойствам от кристаллических металлических материалов, для которых характерно упорядоченное расположение атомов. Формирование аморфной структуры в металлах и сплавах приводит к фундаментальным изменениям их магнитных, электрических, механических, коррозионных и других свойств [1-3].

Невозможность реализации традиционных механизмов пластической деформации - дислокационного или двойникового типов, присущих кристаллическим сплавам приводит к снижению пластичности аморфных сплавов [1-3]. Одним из путей трансформации свойств аморфных материалов может быть интенсивная пластическая деформация кручением (ИПДК) [5-10].

Многие вопросы влияния ИПД на тонкую структуру аморфных сплавов в значительной степени не решены и требуют продолжения исследований.

В данной работе проводились исследования влияния ИПДК на ОМС Vit105 Zr52,5Cu17,9Ni14.6Al10Ti5. ОМС было получено литьем в вакууме в медную охлажденную литейную форму. Скорость охлаждения расплава составила около 10 К/с.

Образцы Vit105 были подвергнуты ИПДК при комнатной температуре $n=10$ и аккумулирующей ИПДК $n_{сум}=10$.

Метод аккумулирующего ИПДК заключается в многократном повторении ИПДК на $n=1$ оборотов с ломкой и промежуточной осадкой образца [11].

Рентгеноструктурный анализ был выполнен на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием CuK α излучения с шагом 0.02 град и выдержкой 2 сек на град.

В приведенной ниже таблице представлены параметры аморфных галло, наблюдаемых на образцах – D (ang) – среднее межатомное расстояние первой координационной сферы в ангстремах по положению гало 1, R1 (ang) – радиус первой координационной сферы, FWHM – уширение гало, ΔV – изменение свободного объема в %, $\Delta FWHM$ – изменение уширения гало в %.

Состояние	2 θ , deg.	D	R1, Å	FWHM, deg	ΔV , %	$\Delta FWHM$, %
Исходный ОМС	37.46	2,399	2,950	6.40		
VIT 105 после ИПДК 20С 10 об	37.40	2,402	3,002	6.68	0,38	4
VIT 105 после <u>аккум.</u> ИПДК 20С 1+1+1+7=10 об	37.29	2,409	3,011	7.31	1,26	14

В результате ИПДК происходит прирост как свободного объема, так и уширения галло (рис.1).

ИПДК приводит к сдвигу центра тяжести гало первой координационной сферы Vit105, что соответствует увеличению размеров первой координационной сферы R1. ИПДК ОМС приводит к заметному росту уширения. Большее значение уширения (FWHM) означает состояние с большим набором (спектром) значений атомных расстояний в соответствующей координационной сфере. Отсюда ИПДК приводит к уменьшению порядка в аморфной фазе.

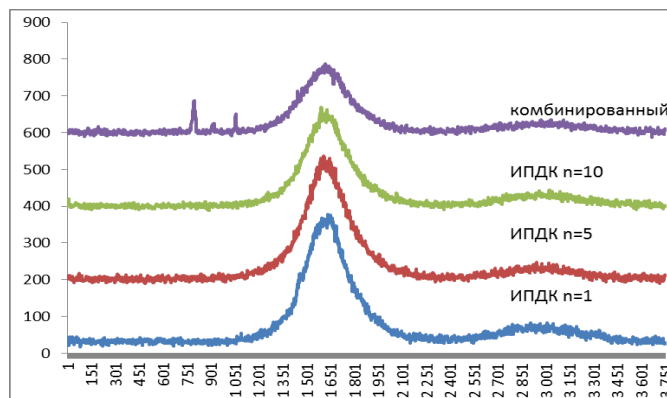


рис.1. Сравнение рентгенограмм ОМС Vit105 после ИПДК $T=20$ и разных оборотах

Сдвиг центра тяжести гало первой координационной сферы в область малых углов говорит о росте межатомных расстояний, соответственно, о росте свободного объема, и в целом о росте неравновесности аморфной фазы. Наиболее интенсивное изменение структурных параметров происходит после аккумулирующей ИПДК.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ- № 20-08-00497.

Список публикаций:

[1] Greer A.L. // *Mater. Today* 12, 2009, 14–22.

[2] Abrosimova G.E. *EVOLUTION OF THE STRUCTURE OF AMORPHOUS ALLOYS* // *Physics-Uspokhi*, 2011, T. 54, № 12, С. 1227-1242.

[3] Louzguine-Luzgin D.V., Inoue A. *Bulk Metallic Glasses. Formation, Structure, Properties, and Applications* // *Handbook of Magnetic Materials*, Edited by K.H.J. Buschow, 2013, Elsevier Vol. 21, pp. 131-171

[4] Валиев Р.З., Пушин В.Г., Гундеров Д.В., Попов А.Г. // *Докл. РАН*, 2004, Т. 398, № 1, С. 54.

[5] Попов А.Г., Гавико В.С., Щеголева Н.Н., Шредер Л.А., Столяров В.В., Гундеров Д.В., Жан Х.Ю., Ли В., Ли Л.Л. Интенсивная пластическая деформация быстрозакаленного сплава Nd9Fe85B6 // *Физика металлов и металловедение*, 2007, Т. 104, № 3, С. 251-260.

[6] Abrosimova G.E., Aronin A.S., Dobatkin S.V., Kaloshkin S.D., Matveev D.V., Rybchenko O.G., Tatiyanin E.V., Zverkova I.I. *The formation of nanocrystalline structure in amorphous Fe-Si-B alloy by severe deformation* // *Journal of Metastable nanocrystalline Materials*, 2005, v. 24-25, p.69.

[7] Gunderov D.V., Slesarenko V.Yu., Churakova A.A., Lukyanov A.V., Soshnikova E.P., Pushin V.G., Valiev R.Z. *Evolution of the amorphous structure in melt-spun Ti50Ni25Cu25 alloy subjected to high pressure torsion deformation* *Intermetallics*, 2015, V. 66, P. 77–81.

[8] Gunderov D.V., Slesarenko V.Yu., Lukyanov A.V., Churakova A.A., Boltynjuk E.V., Pushin V.G., Ubyivovk E.V., Shelyakov A.V. and Valiev R.Z. *Stability of an Amorphous TiCuNi Alloy Subjected to High-Pressure Torsion at Different temperatures* // *Advanced Engineering Materials*, 2015, V. 17, Is. 12, p. 1728–1732.

[9] Гундеров Д.В. Аморфизация и нанокристаллизация при ИПД кристаллических и аморфных сплавов // *Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. Сборник научных трудов Выпуск 2(7)*, 2013, стр 395-411.

[10] Гундеров Д.В., Болтынюк Е.В., Убийвовк Е.В., Чуракова А.А., Лукьянов А.В., Прокофьев Е.А., Киуманев А.М., Перих С.И., Мулюков В.Ф., Хасанова Д.А. Структура и микротвердость аморфного сплава на основе Zr подвергнутого ИПД и отжигу // *Сборник научных трудов «Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: Вып. 5 (10)»* — Уфа: ООО «Монография», 2016, С. 382-389.

[11] Gunderov D.V., Churakova A.A., Astanin V.V., Asfandiyarov R.N., Hahn H., Valiev R.Z. *Accumulative HPT of Zr-based bulk metallic glasses* // *Journal*, 2020, *Materials Letters* 261

Исследование влияния мартенситных превращений на свойства сплавов с эффектом памяти формы

Чуракова Анна Александровна

Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН

Уфимский государственный авиационный технический университет

churakovaa_a@mail.ru

Сплавы на основе никелида титана (TiNi) принадлежат к классу функциональных материалов с эффектами памяти формы (ЭПФ), обусловленными термоупругими мартенситными превращениями «B2-B19'», протекающими в диапазоне температур, близких к комнатным [1-4]. Данные сплавы широко используются в медицине и технике. В качестве материалов исследования были выбраны: эквиатомный сплав Ti50Ni50 и сплав Ti49,15Ni50,85 с большим атомным содержанием Ni относительно стехиометрии. Сплав Ti50Ni50 имеет температуры МП около 80°C и при комнатной температуре находится в мартенситном состоянии. Сплав Ti49,15Ni50,85 после закалки находится при комнатной температуре в аустенитном состоянии, а при нагревах до 500°C в нем происходят процессы старения и повышение температур МП. Для формирования УМЗ структуры закаленные образцы сплавов TiNi цилиндрической формы были подвергнуты 8 циклам РКУП на оснастке с углом пересечения каналов 120° при температурах 400°C, 450°C. Для получения НК структуры образцы были подвергнуты ИПДК в бойках с «канавкой» глубиной 0,6 мм и диаметром 20 мм при давлении P=6 ГПа и последующему отжигу при температуре 350°C. Термоциклирование на образцах в различных исходных состояниях осуществлялось путем последовательного погружения образцов в жидкий азот (-196°C) с последующим нагревом до температуры 150°C на электрической плитке, что, соответственно, заведомо ниже и выше температур прямого и обратного мартенситного превращений. Термоциклированию подвергались образцы сечением менее 1 мм, что обеспечивало быстрые нагрев и охлаждение образцов. Число термоциклов «нагрев – охлаждение» варьировалось от 0 до 100. Время выдержки при температуре нагрева и охлаждения составляло 5 мин.

Анализ микроструктуры сплавов в исходном крупнозернистом (КЗ) состоянии проводили на оптическом микроскопе OLYMPUS GX51. Исследования тонкой структуры проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на микроскопе JEOL-2100. Рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометрах Rigaku Ultima IV и Siemens D5000 в Cu-K α излучении с длиной волны $\lambda=1,54418$ Å, съемку проводили при комнатной и повышенной температурах (100°-150°C для анализа сплавов в заведомо аустенитном состоянии). Микротвердость Hv определяли по методу Виккерса, согласно ГОСТ 9450 - 76, на приборе Buehler «Micromet-5101» при нагрузке 1 Н и длительностью выдержки под нагрузкой 10 секунд.

Калориметрические исследования осуществлялись на дифференциальном сканирующем калориметре Netzsch DSC 204 F1 Phoenix на образцах массой 50 мг (диаметром 3,5 мм, толщиной 0,5-0,7 мм) при

охлаждении и нагреве в интервале температур от -150° до 150°C со скоростью $20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Температуры превращений определяли методом касательных (стандарт ASTM 2004 - 05), энергию превращений определяли по площади под калориметрическим пиком ДСК.

Механические испытания на растяжение малых плоских образцов с рабочей частью $1*0,25*4$ мм проводились при комнатной температуре со скоростью деформации $1*10^{-3}$ с $^{-1}$ на специальной установке конструкции ИФПМ УГАТУ и установке Shimadzu AG-50kNXD в лаборатории механики перспективных массивных наноматериалов СПбГУ. Оценочное реактивное напряжение (σ_r) определялось по известной формуле $\sigma_r = \sigma_t - \sigma_m$, где σ_t – предел текучести, σ_m – предел фазовой текучести, а обратимая деформация ($\epsilon_{ПУ}$) оценивалась по длине площадки фазовой текучести.

Показано, что, как и в крупнозернистых (КЗ) сплавах, в ультрамелкозернистых (УМЗ) и нанокристаллических (НК) сплавах TiNi происходят последовательные изменения структуры и свойств, вызванные фазовым наклепом, при увеличении количества термоциклов вплоть до $n=100$ с быстрым нагревом и быстрым охлаждением до -196°C . Показано, что при термоциклировании КЗ и УМЗ сплавов Ti50Ni50 по выбранным режимам направление изменения температур мартенситных превращений меняется в процессе термоциклирования - с нарастанием числа термоциклов сначала наблюдается снижение температур а затем их рост. Температуры превращений в ультрамелкозернистом состоянии в сплаве Ti49,15Ni50,85 в целом более стабильны к термоциклированию, чем в КЗ. Также продемонстрировано, что упрочнение, вызванное фазовым наклепом, в УМЗ состояниях исследованных сплавов TiNi происходит несколько более интенсивно, чем в КЗ.

Список публикаций:

[7] В.Н. Хачин, *Никелид титана: структура и свойства*, Москва, Наука, Россия 1992, 161 с.

[8] V. Brailovski, S. Prokoshkin, P. Terriault, F. Trochu, *Shape memory alloys: fundamentals, modeling, applications*, Montreal, Ecole de technologie superieure (ETS) Publ. Canada 2003, 851 p.

[9] K. Otsuka, *Shape Memory Materials* (Eds: K. Otsuka, C.M. Wayman), Cambridge, Cambridge University Press, UK 1999, 284 p.

[10] В.Э. Гюнтер, *Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы* (Eds: В.Э. Гюнтер, Г.Ц. Дамбаев, П.Г. Сысолятин), Томск, ТГУ, Россия 1998, 487 с.

Поиск новых стабильных монокристаллических аллотропных форм углерода методом USPEX

Шаязданов Айгиз Рашитович

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

Набиуллин Ильсур Рашитович к.ф.-м.н.

aigizshayazdanov33@gmail.com

Углерод – уникальный химический элемент, существующий в различных аллотропных модификациях, проявляющих разные химические и физические свойства благодаря способности образовывать структуры с различным типом гибридизации химических связей (sp -, sp^2 -, и sp^3). На сегодняшний момент кристаллические формы углерода включают в себя графит, алмаз, гексагональный алмаз (лонсдейлит), нанотрубки, фуллерены и даже атомные цепочки (карбины) с кардинально отличающимися друг от друга свойствами.

Среди монокристаллических материалов самым твёрдым материалом является кубическая фаза алмаза, в то время как графит является наименее твёрдым материалом в силу своей слоистой природы. Изучение механизма превращения одной формы углерода в другую, поиск углеродных структур с уникальными электронными, механическими и упругими свойствами, являются предметом исследования экспериментальных и теоретических работ. Особый интерес уделяется поиску новых сверхтвёрдых материалов с высокими значениями твердости и объёмного модуля, сопоставимыми с алмазом. Известно, что графит переходит в кубический или гексагональный алмаз при высоком давлении (> 15 ГПа) и температуре (> 1300 К). Сжатый графит выступает в качестве исходного материала при переходе в различные сверхтвёрдые фазы.

Целью данной научной работы является получение алмазоподобных структур близких по свойству к алмазу. За счет своих уникальных механических свойств, сверхтвёрдые материалы всегда играли важную роль в различных отраслях.

Компьютерный дизайн материалов – это новая, революционная область в науке. Вместо того, что бы полагаться на экспериментальные методы проб и ошибок или же на случай – а большинство материалов до настоящего момента были найдены именно этими способами – теперь можно открывать новые материалы на компьютере, задавая направление для экспериментальных работ.

Кристаллическая структура вещества является наиболее важным носителем информации о материале – зная структуру, можно предсказать широкий набор его свойств. Эволюционный алгоритм USPEX является одним из самых эффективных методов для предсказания различных структур.

Эволюционный алгоритм USPEX включает локальную оптимизацию и рассматривает структурные переменные, как физические числа, вместо не интуитивного двоичного кода. Другие важные соображения заключаются в следующем:

Алгоритм отбирает структуры (потомства), которые имеют сходство с более успешными из ранее отобранных структур, что осуществляется путем выбора низкоэнергетических структур, которые станут родителями нового поколения. Действуя на низкоэнергетические структуры, операторы вариации с высокой вероятностью приводят к появлению других низкоэнергетических структур. В методе USPEX используются четыре вариационных оператора:

1) наследственность; 2) решеточная мутация; 3) перестановка; 4) специальные координатные мутации

В своей работе я искал новые стабильные монокристаллические аллотропные формы углерода, механически действуя на углерод, т.е. задавая критические условия изменяя Р и Т. И в этих критических условиях проводилась оптимизация кристалла по энергии и по твердости. Были получены две стабильные кристаллические углеродные структуры. Предсказание кристаллических структур было проведено двумя разными способами: в первом расчете было проведено прогнозирование кристаллической структуры, используя комбинацию USPEX с кодом LAMMPS. В этом простом расчете в одной элементарной ячейке взял 8 атомов углерода и потенциал Терсоффа.

Второй прогноз кристаллической структуры углерода проводился с 8 атомами на элементарную ячейку при 10 ГПа с использованием кода CASTEP, основанный на DFT.

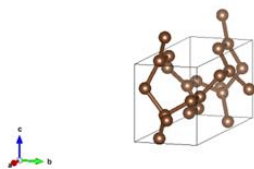


рис. 1. Лучшая структура полученная методом LAMMPS.

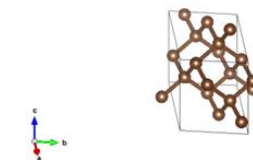


рис. 2. Лучшая структура полученная методом DFT

По полученным двум стабильным структурам, можно сделать заключение, что полученные структуры не похожи на кристаллическую структуру алмаза, что и не удивительно, так как приложенное давление и заданная температура недостаточны для получения алмазоподобной структуры. Но сравнивая две полученные структуры, можно увидеть что расчет вторым методом больше похож по структуре на алмаз. И можно сделать предположение, что можно получить алмазоподобную структуру при помощи второго метода, если увеличить давление и температуру. Поэтому в дальнейшем для получения алмазоподобной кристаллической решетки и подбора оптимальных параметров будем проводить моделирование с увеличением давления и температуры с использованием кода CASTEP, основанного на DFT.

Список публикаций:

[1] Оганов А. Р., *Совр. методы прогнозирования кристаллической структуры* А. Р. Оганов/ Wiley-VCH, 2010. – 274 с.

[2] Оганов А. Р., *Прогнозирование кристаллической структуры с использованием ab initio эволюционной техники: принципы и приложения* /Журнал«Химическая физика» [Текст]/А.Р.Оганов, С. В.Гласс. 2006. Том. 124.№ 24.Тема 47. Док. 04

[3] Оганов А. Р., *Как работает эволюционное прогнозирование кристаллической структуры - и почему* / Отчеты о химических исследованиях [Текст]/ А. Р. Оганов, А. О. Ляхов, М. Валле. 2011. Том. 44. № 3. С. 227—237.

Исследование микроструктуры и прочности сварного соединения Ni-Ni, полученного ультразвуковой сваркой

Шаяхметова Эльвина Рафитовна

Самигуллина Асия Айратовна, Жиляев Александр Петрович, Назаров Айрат Ахметович
Уфимский государственный авиационный технический университет

Жиляев Александр Петрович
elvina1408@yandex.ru

Ультразвуковая сварка (УЗС) является одним из эффективных методов соединения металлов. Этот вид сварки основан на использовании энергии механических колебаний, генерируемых в материалах с помощью сварочного инструмента колебательной системы, который выполняет возвратно-поступательные движения с ультразвуковой частотой (19-25 Гц) [1,2]. Высокочастотные колебания, возбуждаемые в соединяемых листовых материалах под статическим давлением, вызывают трение их поверхностей друг о друга, пластическую деформацию материалов и нагрев в области сварки. Температура во время сварки ниже, чем температура плавления металла, поэтому УЗС – это метод твердофазного соединения. Образование соединения при УЗС

объясняется рядом процессов, которые происходят под воздействием ультразвука, как-то разрушение окисного слоя, активация поверхности металла, пластическая деформация, диффузия и рекристаллизация [2,3].

УЗС лежит в основе недавно изобретенной ультразвуковой консолидации (последовательного соединения листов металлов), которая является одним из перспективных направлений развития аддитивных технологий [4,5]. УЗС металлов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами сварки. Во-первых, она позволяет соединять разнородные материалы. Во-вторых, проведение УЗС не требует особой подготовки свариваемых поверхностей и использования вакуума. В-третьих, при УЗС сварное соединение образуется за очень короткое время - 1-2 секунды, при этом статическая нагрузка относительно мала.

Изменения микроструктуры материалов при УЗС, прочность соединений, полученных этим методом, исследованы на примере сварки ряда сплавов алюминия, алюминия и меди, алюминия и титана [6]. Однако в литературе, за исключением работы [7], отсутствуют данные о соединении никеля методом УЗС.

В настоящей работе были исследованы образцы, полученные путем УЗС промышленных листов технически чистого никеля марки НП2 толщиной 0,5 мм. Исследованы образцы двух видов: образцы для испытаний на срез, полученные соединением двух листов под статической нагрузкой от 3,5 до 7 кН, и образцы для исследования структуры, полученные последовательной сваркой (консолидацией) четырех листов под статической нагрузкой 4,5 и 6,0 кН. Время сварки составляло $t = 1$ с.

По результатам испытаний на срез на кривых напряжение-удлинение (перемещение траверсы) видно, что образец разрушается неравномерно: сначала наблюдается отсоединение отдельных небольших участков шва, что на графике имеет вид ступенек, и далее происходит окончательный разрыв. Это свидетельствует о хорошем качестве сварного шва. Наиболее высокие значения прочности достигаются при статических нагрузках от 4,5 кН до 6 кН. Прочность соединений, полученных УЗС при статической нагрузке в 3,5 кН и 7 кН, заметно ниже. Таким образом, оптимальная статическая нагрузка в процессе УЗС для получения сварного соединения двух листов никеля толщиной по 0,5 мм составила 4,5–6,0 кН, при значении времени сварки 1 с. При этом прочность на срез составила величину около 70 МПа, что значительно превышает прочность, полученную в работе [7] (20 МПа).

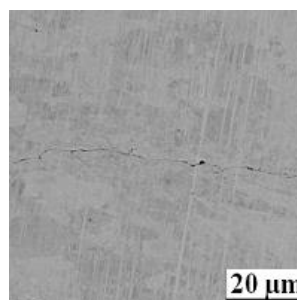
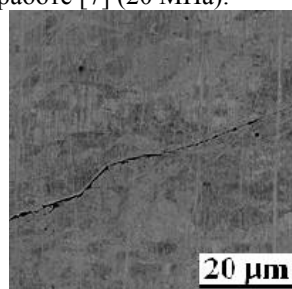


рис.1. Микроструктура консолидированного образца в поперечном сечении, параллельном направлению ультразвуковых колебаний (РЭМ): а) листы толщиной 0,5 мм сварены при нагрузке 4,5 кН; б) листы толщиной 0,5 мм сварены при нагрузке 6,0 кН

Исследование микроструктуры консолидированных образцов показало, что в области сварного соединения в результате УЗС образуется тонкая ультрамелкозернистая (УМЗ) прослойка, толщина которой зависит от статической нагрузки во время УЗС. Участки вдали от сварных соединений имеют крупнозернистую структуру, однако в них наблюдаются следы дислокационной активности.

На КАМ картах, полученных EBSD анализом, видно, что в листах при нагрузке 4,5 кН высокая плотность дислокаций наблюдается во всем образце, что свидетельствует о большой дислокационной активности внутри слоев. При этом значительной деформации в самих листах не наблюдается: размеры и распределение зерен в них такое же, как в исходном состоянии. А в образце, сваренном при нагрузке 6,0 кН, наблюдается деформация вдали от сварных соединений: видно, что мелкие зерна появляются и в объеме слоев, прослойка УМЗ структуры становится шире. Следы дислокационной активности и развития субструктуры видны на КАМ-карте.

Показано, что для образца, полученного сваркой листов толщиной 0,5 мм при нагрузке 4,5 кН и 6,0 кН, микротвердость в швах выше, чем в объеме слоев. По-видимому, это связано с тем, что наблюдается лучшее качество соединений, представляющих из себя узкую УМЗ прослойку. В состоянии поставки микротвердость листов толщиной 0,5 мм составляет 1900 ± 42 МПа, после УЗС – 2300-2600 МПа.

Список публикаций:

- [1] Мицкевич А.М. Ультразвуковая сварка металлов. - В кн.: Физики и техника мощного ультразвука. Т. III. Физические основы ультразвуковой технологии. М., Наука, 1970. С. 71-164.
- [2] Graff K. Ultrasonic metal welding. – In: New Developments in Advanced Welding, N. Ahmed, Editor. 2005, Woodhead: Cambridge. p. 241-269.
- [3] Fujii H.T., Sriraman M.R., Babu S.S. Quantitative Evaluation Of Bulk And Interface Microstructures in Al-3003 alloy builds made by very high power ultrasonic additive manufacturing. Metall. Mater. Trans. A. 2011. 42. 4045-4055.

- [4] White, D. Ultrasonic object consolidation. US Patent 6519500, 23 March 2000.
[5] Friel R.J., Harris R.A. Ultrasonic Additive manufacturing – a hybrid production process for novel functional products. *Procedia CIRP*. 2013. V.6. P. 35–40.
[6] Kumar S., Wu C.S., Padhy G.K., Ding W. Application of ultrasonic vibrations in welding and metal processing: A status review. *J. Manuf. Proc.* 2017. V. 26. P. 295-322.
[7] Park D.S., Kim J.Y., Seo J.S. Ultrasonic welding of Ni thin sheet. *Int. J. Mining, Metall. Mech. Eng.* 2013. V. 1. P. 168-172.

Структурные свойства соединений меди полученных с помощью УЗС

Юсупова Нелли Рафисовна^{1,2}

Назаров Айрат Ахметович^{1, 2}, Пархимович Николай Юрьевич²

¹Башикирский государственный университет

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

Назаров Айрат Ахметович, д.ф.-м.н.

yusupovanelli1@gmail.com

Ультразвуковая сварка (УЗС) - это метод твердотельного соединения, основанный на приложении ультразвуковых колебаний к листовым материалам при нормальной статической нагрузке, при котором материалы скрепляются нормальным усилием, в то время как применяется высокочастотная вибрация сдвига. Во время этого процесса вибрация деформируется, сдвигается и выравнивает поверхностные неровности, рассеивает внутренние оксиды и загрязняющие вещества и увеличивает площадь контакта свариваемых деталей [1]. Первая демонстрация ультразвуковой сварки была в начале 1950-х годов и была ограничена измельчением зерна и пайкой [2], но теперь метод может применяться к различным более мягким металлам, таким как медь и алюминий, а также к более твердым металлам [3]. Кроме того, ультразвуковая сварка не требует какого-либо припоя или наполнителя и, следовательно, имеет некоторые экологические и экономические преимущества [4].

Технология получила широкое распространение в следующих областях: приборостроение, электроника, производство пластиковых оболочек, выпуск пластмассовых изделий. Он успешно применяется в технологии соединения разных материалов, в том числе металлов [5]. Как правило, ультразвуковая сварка используется для сварки образцов, таких как тонкие проволоки и фольга. Однако из-за наличия мощного оборудования УЗС этот метод в настоящее время становится перспективным для аддитивных технологий производства, особенно для ультразвукового уплотнения больших металлических пластин и фольги в детали [6].

Этот способ сварки характеризуется весьма ценными технологическими свойствами: возможностью соединения металлов без снятия поверхностных пленок и расплавления, особенно хорошей свариваемостью чистой меди, как правило, УЗС используется для сварки образцов, таких как тонкие проволоки и фольга.

В данной работе проведены исследования «объемных» образцов. Для исследования ультразвуковой консолидации была технически чистой меди М1, полученных путем ультразвуковой консолидации листов толщиной 0.7 мм с крупнозернистой структурой. Консолидацию проводили путем последовательной УЗС пяти пластин. На наковальне размещали первые две пластины, сваривали ультразвуком под заданной статической нагрузкой $P = 7$ кН и временем сварки 1 секунда, затем размещали следующую пластину поверх сваренных и повторяли процесс. Поверхность сварочного наконечника волновода имела вид прямоугольника размерами 6x7 мм и параллельно сделанные насечки для лучшего контакта со свариваемыми пластинами. Консолидированные образцы подвергали отжигу в течении 1 часа при температурах 150 °С и 450 °С.

Изучили качество сварных соединений в консолидированных образцах было исследовано с помощью растровой электронной микроскопии, в том числе методом EBSD.

В данной работе получили такие закономерности как распределение макро и микроструктуры от свариваемого слоя. Исследовано качество сварных соединений: наблюдаются несплошности в виде тонких трещин.

Список публикаций:

- [1] Graff K, Bloss M (2008) *Understanding ultrasonic welding*;
[2] Ahmed N (2005) *New developmets in advanced welding*. Woodhead publishing 298;
[3] Bloss M, Graff K (2009) *Ultrasonic Metal Welding of Advanced Alloys: The Weld ability of Stainless Steel Titanium and Nickel-Based Super alloys*. In *Trends in Welding Research, Proceedings of the 8th International conference*. ASM International;
[4] Kim S, Jang H, Kim E, Park D (2010) *Vibration Analysis of Ultrasonic Metal Welding Horn for Optimal Design*. *Proc Int Conf Mechanical Industrial and Manufacturing Technologies (MIMT)*. Sanya China 23.;
[5] 2015 *Power Ultrasonics. Applications of High-Intensity Ultrasound ed J A Gallego-Juarez and K F Graff (Cambridge: Woodhead Publishing)*];
[6] 2015 *Power Ultrasonics. Applications of High-Intensity Ultrasound ed J A Gallego-Juarez and K F Graff (Cambridge: Woodhead Publishing)*- [2] White D 2000 *Ultrasonic object consolidation US patent # 6,519,500 3 Friel R J and Harris R A 2013 Procedia CIRP 6 35*].

17 - Радиофизика. Электроника

Абрамян Андрей Сергеевич, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Ошибка прогнозирования максимально применимой частоты с использованием Международной справочной модели IRI-2016
Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: lazycat161.lc@gmail.com стр. 362

Бурцева Дарья Ярославовна, магистрант 1 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, электроэнергетика и наноэлектроника
Датчики положения на основе слоистой пьезо-магнитострикционной структуры
Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: bursset@yandex.ru стр. 363

Гайсин Фадис Робертович, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Создание программно - аппаратного комплекса для масс- спектроскопии
Латыпов Камил Фаридович
e-mail: mr.gais@yandex.ru стр. 365

Лазарева Анна Эдуардовна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Изменчивость максимально наблюдаемой частоты по данным наклонного зондирования
Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: anna.anla.lazareva@mail.ru стр. 366

Островский Василий Валентинович, магистрант 1 года обучения
Архангельск, Северный Арктический федеральный университет им. М.В.Ломоносова, каф. физики
Разработка электрической схемы для фильтрации сигнала электромагнитного излучения при замерзании воды
Гусаревич Евгений Степанович, к.ф.-м.н.
e-mail: y.v.ostrovsky@mail.ru стр. 368

Соловьёв Андрей Андреевич, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Временные вариации максимально наблюдаемой частоты на среднеширотной трассе
Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: ptyf444@gmail.com стр. 369

Шахмуратов Азамат Набиуллович, магистрант 2 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Управляюще-вычислительный комплекс для полевой электронной спектроскопии
Латыпов Камил Фаридович
e-mail: azamatn96@mail.ru стр. 370

Ошибки прогнозирования максимально применимой частоты с использованием Международной справочной модели IRI-2016

Абрамян Андрей Сергеевич
Южный федеральный университет
Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.
lazycat161.lc@gmail.com

Традиционный вид связи на большие расстояния – радиосвязь на декаметровых волнах через ионосферу играет важную роль как средство внутренней и международной, подвижной и производственно-диспетчерской, а также резервной связи. Ионосферный канал связи характеризуется исключительной изменчивостью характеристик, их зависимостью от времени суток, сезона, гелио- и геофизических условий, от протяженности и ориентации трасс. При проектировании средств связи и пеленгации необходимо учитывать искажения, которые вносит среда распространения. Для прогноза ионосферной связи наибольшую известность получила наиболее проработанная и динамично развивающаяся Международная справочная модель ионосферы IRI (International Reference of Ionosphere) [1].

В данной работе приводятся результаты оценки эффективности использования модели ионосферы IRI-2016 для прогноза характеристик ВЧ канала [2]. Модель относится к эмпирическим медианным моделям ионосферы. Проверка осуществлялась сравнением рассчитанных суточных зависимостей наиболее значимой характеристики ВЧ канала – максимальной применимой частоты (МПЧ) с аналогичными экспериментальными зависимостями максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ), полученными на среднеширотной трассе наклонного зондирования.

Экспериментальные данные были получены по результатам ЛЧМ-зондирования на среднеширотной трассе Inskip-Rome, протяжённость которой составляет 1710 км, азимут 133 градуса, мощность излучения передатчика 100 Вт. Число солнечных пятен за этот год составило $W=20$. Всего было обработано 17 дней, что в свою очередь составляет 5250 ионограмм: 11 дней сентября и 6 дней июня. Значения МНЧ с ионограмм снимались вручную, измерения проводились круглосуточно с интервалом между сеансами зондирования 5 минут. Пример обрабатываемых ионограмм приведен на *рис. 1*. Линия на *рис. 1*, проведенная перпендикулярно оси МНЧ от места двойного лучепреломления, показывает, как снимались показания максимально наблюдаемой частоты с ионограмм.

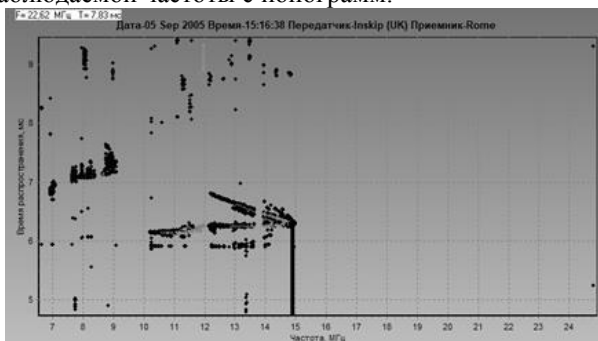


рис.2. Суточный ход 5 сентября 2005 года.



рис.2. Суточный ход 5 сентября 2005 года.

Вариации МНЧ за сентябрь 2005

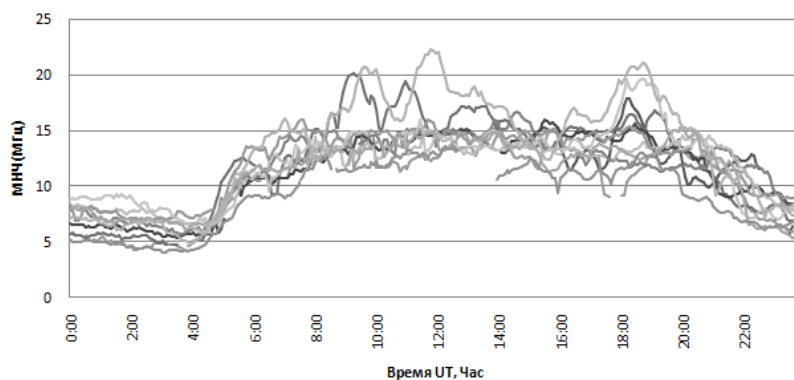


рис.3. Вариации МНЧ ото дня ко дню

Пример полученных суточных зависимостей МНЧ из обработанных ионограмм приведены на рис. 2. На рис.3 представлены все обработанные дни за сентябрь 2005 года, на которых можно увидеть вариации МНЧ ото дня ко дню.

Проверка достоверности прогноза оценивалась по результатам сравнения рассчитанных (прогнозируемых) значений МПЧ с данными наклонного зондирования. Прогноз МПЧ выполнялся с помощью ПО «Трасса» [3, 4]. Ионосфера вдоль трассы задавалась моделью IRI-2016. Суточные сеансы были разбиты на интервалы по 4 часа каждый: 06:00–10:00, 12:00–16:00, 19:00–23:00. Далее для каждого временного интервала вычислялось скользящее среднее значений МНЧ с окном 2 часа и шагом следования 5 минут. Считалось, что таким образом исключались быстрые и медленные флуктуации, а полученные зависимости от времени усредненных МНЧ принимались базовыми для дальнейшей обработки. Под флуктуациями понимались отклонения МНЧ от соответствующих скользящих средних значений вне зависимости от каких-либо геомагнитных или ионосферных критериев [5].

В табл. 1 для каждого временного интервала в течение 17 суток зондирования приведены средние отклонения (СО) измеренных МНЧ от прогнозируемых МПЧ со скользящим средним за 2 часа. Эти данные позволяют оценить отклонение прогноза от наблюдаемых значений МНЧ.

табл. 1

Временной интервал в часах		06:00–10:00	12:00–16:00	19:00–23:00
Среднее значение СО в сентябре 2005 г.	МПц	1,8	1,3	2,1
	%	13	9	22
Среднее значение СО в июне 2005 г.	МПц	1,6	2,2	2,5
	%	13	16	22

Сделаны следующие выводы.

Было обработано около 5250 ионограмм наклонного зондирования, в результате чего были получены суточные зависимости МНЧ для 17 дней. Проведено сопоставление прогнозируемых значений МПЧ с полученными экспериментально МНЧ. Усредненные за 17 суток абсолютные отклонения МПЧ от МНЧ составили 9-22%. Максимальные значения погрешности наблюдались в ночные часы и достигали 22% Минимальные – в полдень 9%.

Автор выражает свою благодарность научно-исследовательскому институту геофизики и вулканологии «Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia» за предоставленный для экспериментов материал.

Список публикаций:

- [1] D. Bilitz, *IRI the International Standard for the Ionosphere*. //Adv. Radio Sci., v16, p.1-11, 2018.
 [2] https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php
 [3] Барабашов Б.Г., М.М. Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2-30 МГц «Трасса» (часть 1). Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». Омск. ОАО «ОНИИП» - Выпуск 1 (19). 2013 г., стр. 25-34; (ч.2) – Выпуск 2(20).-2013 г. стр. 13-21.
 [4] B.G. Barabashov, M.M. Anishin, and O.Y. Pelevin (2009), High-frequency field strength prediction for ionospheric propagation at short- and medium- range radio paths, *Radio Sci.*, 44, RS0A18, doi:10.1029/2008RS004038.
 [5] Оценка эффективности использования ионосферной модели IRI для оперативного прогноза МПЧ / Б. Г. Барабашов, М. М. Анишин, О. А. Лаврентьев, Л. П. Радио // *Техника радиосвязи*. 2019. Вып. 3 (42). С. 15–21. DOI 10.33286/2075-8693-2019-42-15-21.

Датчики положения на основе слоистой пьезо-магнотриксционной структуры

Бурцева Дарья Ярославовна

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Роман Валерьевич

burset@yandex.ru

Бесперывное усовершенствование технологий — основная задача большего числа вовлечённых в науку людей, стремящихся повысить надёжность, безопасность, качество используемых человечеством устройств. С целью повысить характеристики и понизить стоимость конечного продукта исследуются новые компоненты и средства производства. На сегодняшний день датчики занимают одну из важнейших позиций в производстве современных устройств, так как выполняют множество всевозможных задач – будь то измерение температуры, давления, высоты, скорости; фиксирование изменения положения исследуемого объекта в пространстве и времени и многое другое. Значительное количество датчиков используется в системах безопасности. Всё это в свою очередь приводит к тому, что датчики должны предоставлять точную и своевременную информацию для

компьютерных систем и исполнительных устройств. Одним из таких датчиков является датчик положения, работающий на магнитоэлектрическом (МЭ) эффекте.

Целью данной работы является разработка датчика положения на основе слоистой пьезомагнотриксционной структуры.

Корпус датчика представляет собой полый цилиндр. Опорная балка расположена внутри цилиндра, жестко закреплена с обеих сторон. МЭ Элемент расположен на панели. Постоянные магниты (NdFeB) с размерами 6 x 3 x 1 мм были закреплены под МЭ элементом в нижней части корпуса. Внутри корпуса — печатная плата с компаратором. Датчик должен быть установлен в непосредственной близости от синхронного диска на расстоянии около 1 мм. Форма и размеры датчика полностью соответствуют аналогу, изготовленному по индукционному принципу VC-CS 0112. Это позволяет заменить один датчик другим без каких-либо существенных изменений в монтажной конструкции. Преимущество конструкции сенсора заключается в относительно низкой стоимости из-за низкой цены комплектующих. Конструкция МЭ датчика запатентована.

Асимметричные магнитоэлектрические структуры обладают более высоким магнитоэлектрическим эффектом по сравнению с симметричными магнитоэлектрическими структурами на низких частотах и в области электромеханического резонанса изгибной моды колебаний. Также, сильное влияние оказывает технология изготовления МЭ структур и используемые материалы.

Исследуемые слоистые структуры состоят из ЦТС/Никель/Метглас. Данная структура была получена методом клеевой технологии. Пластины Метгласа = 29 μm и Никеля различной толщины соединялись путем клеевой прослойки (клей эпоксидный), при температуре 50 $^{\circ}\text{C}$ в течении 3 часов под приложенным вертикальным давлением 100 кПа с помощью поршневого цилиндра. Были подготовлены следующие экспериментальные МЭ структуры с геометрическими параметрами: длина — 10 мм, толщина — 0.5 мм и ширина — 5 мм.

Экспериментальные и теоретические результаты

Ниже на рисунке показаны экспериментальные и теоретические зависимости МЭ коэффициента (точки – экспериментальные данные, сплошная линия – теоретическая зависимость) по напряжению от частоты переменного магнитного поля f , кГц для структур Ni/ЦТС и Метглас/Ni/ЦТС.

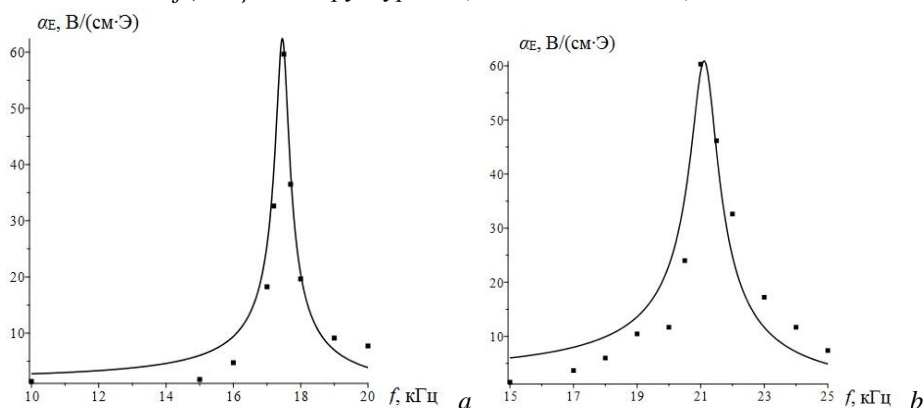


рис. 1 Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для образца с толщиной никеля: а - 0,07 мм, б - 0,15 мм. Подмагничивающее поле 55 Гс.

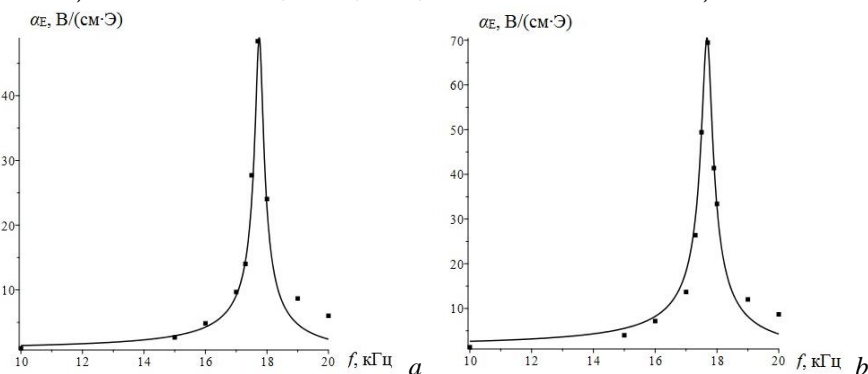


рис. 2 Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для асимметричного образца с метгласом и толщиной никеля 0,07 мм: а - без внешнего подмагничивающего поля, б - с внешним подмагничивающим полем 55 Гс.

В результате проведённых исследований подтверждено, что на частотах вблизи изгибного резонанса наблюдаются значительно лучшие характеристики МЭ коэффициента у асимметричных структур. В исследованных градиентных МЭ структурах удалось снизить величину подмагничивающего поля с 55 Гс до 0 Гс. Исследованные структуры могут быть применены для разработки датчиков положения.

Принцип действия датчика положения на основе слоистой пьезо-магнестрикционной структуры заключается в следующем: датчик положения неподвижно закреплен на ровной поверхности или в точке контроля (движущаяся часть изготовлена из материала, имеющего выраженные магнитные свойства, например: стали или никеля, допустимо использование постоянного магнита); как только движущаяся магнитная деталь приближается к МЭ элементу, в нем, за счёт магнестрикционного эффекта, возникает механическое напряжение, которое передаётся на пьезофазу структуры. Это вызывает образование заряда на поверхности МЭ элемента за счёт пьезоэффекта. Физически наблюдается скачок напряжения на обкладках структуры, что фиксируется измерительным прибором, а затем обрабатывается в электронной схеме согласно алгоритма.

Датчики могут быть расположены как на большом, так и малом удалении от движущейся части. Они не требуют питания и поэтому энергоэффективны. Наилучшее применение прогнозируется в робототехнике.

Список публикаций:

[1] S.T. Bozhkov, O.V. Slivarov, H.A. Kanevski, I.K. Milenov, P.T. Bozhkov, R.V. Petrov, M.I. Bichurin, V.S. Leontiev, N.A. Kolesnikov "The comparative analyze of the automobile crankshaft position sensors signal waveforms," *Proceedings of BulTrans-2016, Sozopol, Bulgaria, 14th-16th September, 2016.*

Создание программно - аппаратного комплекса для масс- спектроскопии

Гайсин Фадис Робертович

Башкирский государственный университет

Латыпов Камил Фаридович

mr.gais@yandex.ru

Для проведения исследований связанных с масс-спектроскопией необходимо специальное оборудование. Масс-спектрометрия [1] – это способ изучения веществ (элементарный состав, концентрация) путем вычислением массы и числа ионов при ионизации вещества. Масс-спектр — зависимость интенсивности ионного тока (количества вещества) от отношения массы к заряду (природы вещества). Поскольку масса любой молекулы складывается из масс составляющих её атомов, масс-спектр всегда дискретен, хотя при низком разрешении масс-спектрометра пики разных компонентов могут перекрываться или даже сливаться.

Для устранения подобных случаев и для более точного измерения спектральных составляющих исследуемого образца требуется высокоточное автоматизированное устройство для контроля эксперимента, регистрации и отображения результатов. Это можно осуществить с помощью современного микропроцессорного комплекса под управлением ЭВМ, который мною был спроектирован и разработан.

Функциональная схема программно - аппаратного комплекса для масс- спектроскопии представлена на рисунке 1.

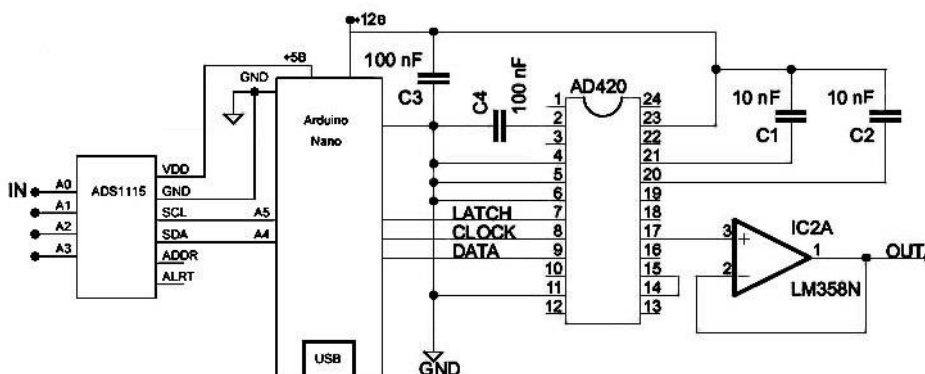


рис. 1 Функциональная схема комплекса.

Программно - аппаратный комплекс для масс- спектроскопии состоит из платформы Arduino Nano [2], построенного на микроконтроллере ATmega328 [3], 16-разрядного цифро-аналогового преобразователя AD420 [4], операционного усилителя LM358N для усиления выходного сигнала, 16 разрядного аналого-цифрового преобразователя ADS1115 [5], блок питания 12 В и различных дискретных элементов.

Устройство работает следующим образом: при помощи специально разработанной программы на ЭВМ оператор задаёт параметры сканирования образца: начальный и конечный диапазоны развертки (В), дискретность шага (В), режим отображения информации. После пуска сканирования программа с каждой итерацией отправляет 2 управляющих байта на аппаратный комплекс через виртуальный com-порт. Микроконтроллер обрабатывает прерывание от com-порта, если поступили данные и отправляет 2 принятых байта на ЦАП, который, в свою очередь, преобразует их в напряжение 0..5В, а операционный усилитель разворачивает до уровня 0..10В и отправляет на развертку вторично-ионного масс-спектрометра (ВИМС). ВИМС формирует первичный поток ионов, регистрирует вторичный поток и посылает его на вход ЦАП комплекса. 16-битный ЦАП оцифровывает его и отправляет в виде 2 байт обратно на виртуальный com-порт, с которого, в свою очередь, программа на ЭВМ его считывает и отображает на динамически изменяющемся графике зависимости входного напряжения от выходного.

Список публикаций:

- [1] Мак-Хью И.А. Вторично-ионная масс-спектрометрия: В кн. Методы анализа поверхности./Пер с англ. - М.: Мир, 1979. - с. 276-342.
- [2] Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии: Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 496 с.
- [3] Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/> свободный.
- [4] datasheet ATmega328 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mkprog.ru/wp-content/uploads/2017/09/ATmega328-328P_Datasheet.pdf свободный.
- [5] datasheet AD420 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/AD420.pdf> свободный.
- [6] datasheet ADS1115 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1114.pdf> свободный.

Изменчивость максимально наблюдаемой частоты по данным наклонного зондирования

Лазарева Анна Эдуардовна
Южный федеральный университет
Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.
anna.anla.lazareva@mail.ru

Наклонное зондирование (НЗ) считается наиболее эффективным инструментом для оперативного определения характеристик КВ-канала. Среди измеряемых с помощью НЗ характеристик важнейшей является максимальная наблюдаемая частота (МНЧ). На ее основе прогнозируется на заданное время упреждения максимальная применимая частота (МПЧ) на КВ-трассе.

Универсальным средством для работы в режимах вертикального и наклонного зондирования является ионозонд с линейно-частотно модулированным сигналом. ЛЧМ-ионозонды используют способ, носящий название «сжатие по частоте», применяемый к «непрерывным» ЛЧМ сигналам. Такой сигнал в значительно меньшей степени чем импульсный уязвим по отношению к сосредоточенным помехам, преобладающим в КВ диапазоне. [1,2]

Целью данной работы было оценить наблюдаемые временные вариации МНЧ на основе экспериментальных данных. Используемая база экспериментальных данных – это ионограммы наклонного ЛЧМ-зондирования на трассе наклонного зондирования Хабаровск – Торы. Продолжительность наблюдений составила 11 дней. Солнечная активность W=11. Ионограммы снимались круглосуточно с интервалом в 5 минут. Объем обработанных экспериментальных данных составил 3168 ионограмм. Все ионограммы обрабатывались вручную, что позволяет исключить возможные ошибки автоматической обработки, а, следовательно, увеличивает статистическую значимость полученных результатов исследования. Характеристики трассы приведены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики используемой базы экспериментальных данных.

Трасса	Координаты		Длина, км	Период наблюдения	Шаг зондир., мин	Количество ионограмм	Количество дней
	Передатчик	Приемник					
Хабаровск - Торы	47.6N 134.7E	51.81N 103.08E	2 302	17.02.2018- 27.02.2018	5	3 168	11

Результаты измерений обрабатывались в следующей последовательности. [3,4] Для каждого дня на плоскость «время суток – МНЧ» наносились все полученные из ионограмм значения МНЧ (для каждого часа снималось 12 значений МНЧ). Таким образом были получены суточные ходы для наблюдаемых дней. Пример такой обработки приведен на рис. 1. Для фиксированных моментов времени находились средние значения

МНЧ. Полученные значения соединялись сплошной кривой, которая представляет собой усреднённый за месяц суточный ход МНЧ. На рис.2 точками отмечены все измеренные значения МНЧ за каждый день, а сплошной линией-среднее значение МНЧ за все дни. По данным такой обработки можно судить о наличии быстрых и медленных флуктуаций, а также оценить вариации МНЧ ото дня ко дню. Обработка во всех случаях велась без исключения возмущенных условий распространения на трассе.

Для последующей обработки суточные сеансы были разбиты на интервалы по 4 часа каждый: 00:00–04:00, 06:00–10:00, 12:00–16:00, 19:00–23:00. Исходя из обработанных данных, вычислялось скользящее среднее значений МНЧ с окном 2 ч и шагом следования 5 мин., относящееся к 4-часовому интервалу. На следующем этапе находились среднеквадратичные отклонения (СКО) мгновенных МНЧ от усредненной МНЧ со скользящим средним за 2 ч. Среднее значение среднеквадратичных отклонений за 4-часовые интервалы за все дни представлены в табл.2.

Табл. 2. Среднее значение среднеквадратичных отклонений за 4-часовые интервалы за все дни

Временной интервал		0:00-04:00	06:00-10:00	12:00-16:00	19:00-23:00
Среднее значение СКО	МГц	0,4	0,9	0,8	0,6
	%	3	8	4	5

По результатам зондирования был найден разброс значений МНЧ, определяемый как разность между максимальным и минимальным усредненными за 4 временных интервала значениями МНЧ за весь период зондирования. Для дневного интервала он составил 22-17 МГц, т.е.5 МГц при среднем значении максимально наблюдаемой частоты 19 МГц. Для ночного интервала он составил 13 -8 МГц, т.е. 5 МГц при среднем 9,8 МГц. Для заходного интервала он составил 14 -10 МГц, т.е. 4 МГц при среднем 12 МГц. Для восходного интервала он составил 13-8 МГц, т.е. 5 МГц при среднем 11 МГц. Полученную величину разноса можно считать вариациями МНЧ ото дня ко дню.

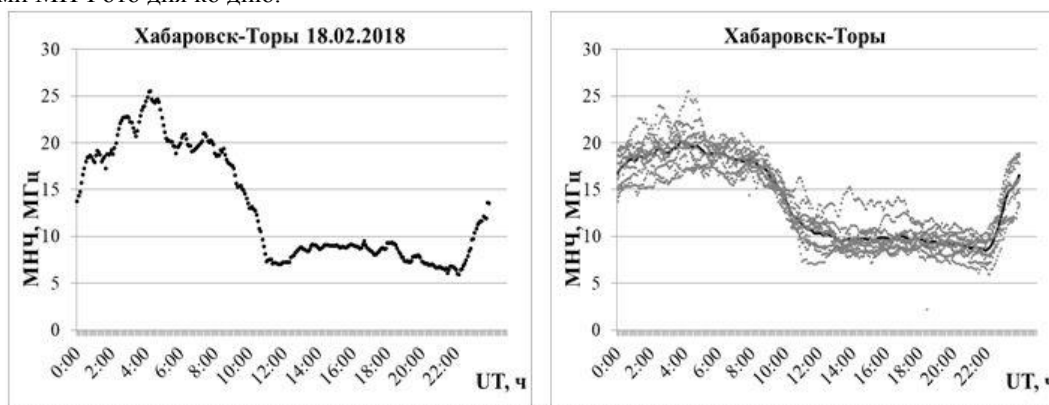


рис.1 суточный ход МНЧ; рис.2. среднемесячный суточный ход

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Получены по экспериментальным данным суточные зависимости МНЧ. Их можно рекомендовать для проверки методов прогнозирования максимально применимой частоты.
2. Получены быстрые и медленные вариации МНЧ. Они составили для ночного времени 3%, для дневного-4%, для заходного-5%и для восходного-8% от среднего значения.
3. Вариации ото дня ко дню в дневные часы достигали 5 МГц (около 27% от среднего значения).

Список публикаций:

- [1] Иванов. В. А, Куркин В. И, Носов В. Е, Урядов В. П, Шумаев В. В // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. Нижний Новгород: Изд-во НИНГУ им. Н. И. Лобачевского. 2003. № 11. С.919-952.
- [2] Куркин В. И, Науменко А. А, Подлесный А. В // Труды космической академии имени А. Ф. Можайского. Санкт-Петербург: Изд-во: Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского. 2018. № 662. С.167-171.
- [3] Барабашов Б. Г, Анишин М. М, Лаврентьев О. А, Русин С. В // Техника радиосвязи. 2018. Вып. 3 (38). С. 22-29.
- [4] Барабашов Б. Г, Анишин М. М, Лаврентьев О. А, Радио Л. П, Русин С. В// Техника радиосвязи. 2019. Вып. 1 (40). С. 19-23. DOI 10.33286/2075-8693-2019-40-19-23..

Разработка электрической схемы для фильтрации сигнала электромагнитного излучения при замерзании воды

Островский Василий Валентинович¹

Орлов Алексей Викторович¹, Елимова Татьяна Викторовна²

¹⁾ Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

²⁾ Костромской государственный университет

Гусаревич Евгений Степанович¹, к.ф.-м.н.

v.v.ostrovsky@mail.ru

Известно, что при кристаллизации воды и водных растворов на фазовой границе формируется двойной электрический слой, состоящий из ионов. Он вызывает появление значительной разности потенциалов между твердой и жидкой фазами, в следствии чего, появляется собственное электромагнитное излучение (ЭМИ), параметры которого несут информацию об эволюции неравновесной структуры твердой фазы.

Зарождение каждого зерна льда сопровождается генерированием импульса ЭМИ, и чем больше размер зерна, тем больше амплитуда импульса. На основании этого мы предполагаем, что число электромагнитных импульсов равно количеству зародившихся моноблоков льда. Значит, подсчитав количество импульсов, мы знаем количество зародившихся моноблоков в кристалле, отсюда можно найти важную характеристику поликристалла – концентрацию моноблока в единице кристалла. Так же известно, что амплитуда импульса зависит от размеров моноблока. Мы предполагаем, что амплитуда электромагнитного импульса пропорционально зависит от изменения площади моноблока за время. Отсюда можно найти еще одну характеристику поликристалла – распределение площадей сечений моноблоков, перпендикулярных направлению ЭМИ (на антенну). Проведя же триангуляцию, с применением 4 антенн, можно компьютерным анализом перейти к распределению монокристаллических блоков по их объему [1].

Для изучения полезного сигнала ЭМИ, снимаемого с 4 каналов, был разработан блок усиления и фильтрации в виде отдельной печатной платы (рис.1)

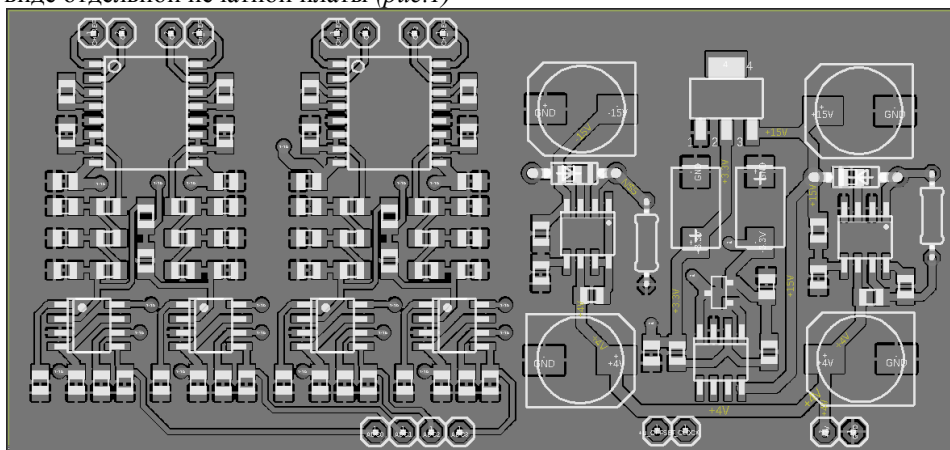


рис.1. Плата фильтрации полезного сигнала собственного ЭМИ

Блок фильтрации имеет следующие основные характеристики:

- 4 измерительных канала [2];
- входное сопротивление не менее 10^{12} Ом [2];
- подавление синфазных помех не менее 120 дБ [2];
- частотный диапазон исследуемых сигналов от 1Гц до 24кГц;
- ослабление сигнала антиэлайзинговым фильтром не менее 90дБ.

Используемые схемотехнические решения позволяют обеспечить полную идентичность фазо-частотных и амплитудно-частотных характеристик измерительных каналов без необходимости применения процедуры настройки, а также позволяют увеличивать число каналов путем добавления в систему аналогичных измерительных блоков.

Список публикаций:

- [1] Островский В.В., Гусаревич Е.С., Орлов А.В., Елимова Т.В. // Физический вестник Северного Арктического Федерального Университета. Архангельск: Изд-во Северного Арктического Федерального Университета. 2019. №19. С.45.
[2] Спецификация INA2128.

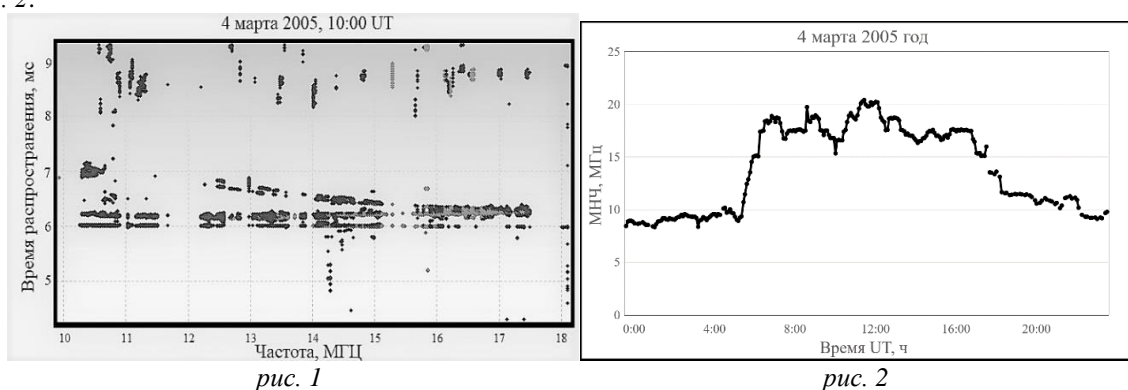
Временные вариации максимально наблюдаемой частоты на среднеширотной трассе

Соловьёв Андрей Андреевич
Южный федеральный университет
Радио Любовь Петровна к.ф.-м.н.
Ptuf444@gmail.com

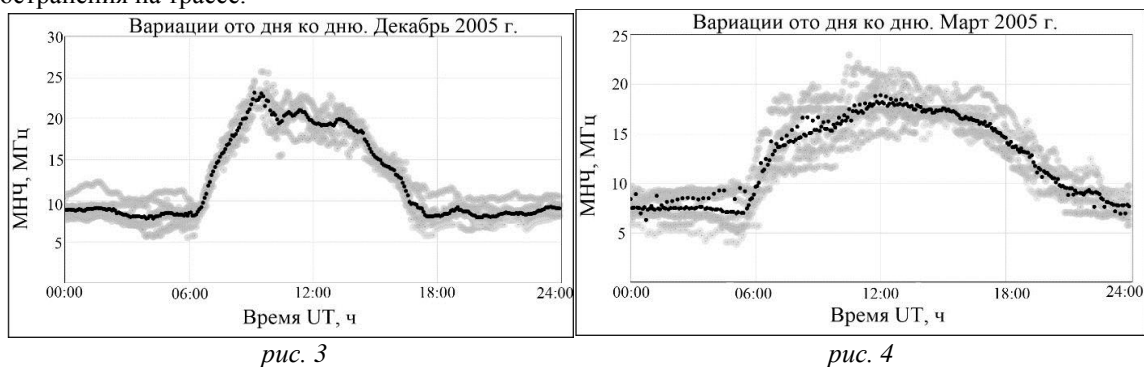
Телекоммуникации современности устанавливают всё более высокие требования к надёжности, качеству, гибкости, доступности и простоте связи как таковой и к системам связи в целом. Одной из современных систем связи является ионосферный канал. Данный тип связи крайне изменчив. Для улучшения качества связи и уменьшения информационной избыточности в работе канала необходимо знать временные вариации его характеристик. Наиболее эффективным инструментом определения параметров ионосферного канала является метод наклонного зондирования (НЗ). Одним из важнейших измеряемых параметров при использовании этого метода является максимальная наблюдаемая частота (МНЧ), на основе которой прогнозируется на заданное время упреждения максимальная применимая частота (МПЧ) на КВ трассе.

Целью данной работы была оценка временных вариаций максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) на основе экспериментальных данных. Использовались экспериментальные данные наклонного ЛЧМ-зондирования на среднеширотной трассе Inskip (53.5°N; 2.5°W) – Rome (41.8°N; 12.5°E) протяжённость которой составляет 1710 км, азимут 133 градуса. Мощность излучения передатчика составляла 100 Вт. Обработаны ионограммы за 20 дней в марте и в декабре 2005 года. Число солнечных пятен за этот год составило $W=20$. Ионограммы снимались круглосуточно с шагом в 5 минут. Объём обработанных данных составляет порядка 5800 ионограмм. Для обработки результатов измерений использовалось программное обеспечение, разработанное на кафедре радиофизики физического факультета ЮФУ [1, 2]. Пример обрабатываемых ионограмм приведён ниже на *рис. 1*.

Измеренные результаты обрабатывались в следующей последовательности: для каждого дня на плоскость «время суток – МНЧ» наносились полученные из ионограмм значения, каждому моменту времени (с шагом в 5 минут) соответствовало своё значение МНЧ. В часе снималось по 12 значений этой величины. Таким образом получались суточные зависимости для определённых наблюдаемых дней. Пример обработки приведён на *рис. 2*.



Для фиксированных моментов времени находилось среднемесячное значение МНЧ в декабре 2005 г. (*рис. 3*) и марте 2005 г. (*рис. 4*). Во всех случаях обработка не исключала возмущённых условий распространения на трассе.



Временные вариации рассчитывались следующим образом [3, 4]. Результаты наблюдений разбивались на четырёхчасовые блоки в следующих временных диапазонах: 00:00 – 04:00, 06:00 – 10:00, 12:00 – 16:00 и 19:00 – 23:00. Для каждого из интервалов рассчитывалось скользящее среднее значений МНЧ с пятиминутным шагом и

окном в 2 часа. Далее вычислялись среднеквадратичные отклонения (в МГц и процентах) мгновенных МНЧ в зависимости от усреднённых со скользящим средним за 2 часа. Находилось среднее отклонений (в МГц и процентах). Полученные результаты позволяют оценить суммарные вариации МНЧ. Данные вычислений сведены в *Табл. 1*

Временной интервал в часах		00:00–04:00	06:00–10:00	12:00–16:00	19:00–23:00
Среднее значение СКО в марте 2005 г.	МГц	1,6	2,3	1,3	0,5
	%	8	20	7,3	5
Среднее значение СКО в декабре 2005 г.	МГц	0,83	3,1	2,4	0,7
	%	7,2	20	11,2	1,5

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. После обработки порядка 5800 ионограмм ЛЧМ-зондирования были получены экспериментальные суточные зависимости МНЧ от времени суток для марта и декабря 2005 г.
2. Максимально измеренное значение МНЧ в дневное время составило 21,48 МГц для марта, 22,85 МГц для декабря и минимальное значение 14,47 МГц в марте, 12,56 МГц в декабре.
3. При обработке по предложенному алгоритму не наблюдалось значительной амплитуды вариаций МНЧ от времени суток.
4. Получены следующие количественные результаты. Суммарные вариации ото дня ко дню для марта: 8% (1,6 МГц) – ночь, 20% (2,3 МГц) – утро, 7,3% (1,3 МГц) – день, 5% (0,5 МГц) – вечер. Для декабря: 7,2% (0,83 МГц) – ночь, 20% (3,1 МГц) – утро, 11,2% (2,4 МГц) – день, 1,5% (0,5 МГц) – вечер.

Автор выражает благодарность научно-исследовательскому институту геофизики и вулканологии Италии «Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia» [5] за предоставленный для экспериментов материал.

Список публикаций:

- [1] B.G. Barabashov, M.M. Anishin, and O.Y. Pelevin (2009), *High-frequency field strength prediction for ionospheric propagation at short- and medium- range radio paths*, *Radio Sci.*, 44, RS0A18, doi:10.1029/2008RS004038.
- [2] Барабаиов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2-30 МГц «Трасса» (часть 1). Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». Омск. ОАО «ОНИИП» - Выпуск 1 (19). 2013 г., стр. 25-34; (ч.2) – Выпуск 2(20).-2013 г. стр. 13-21.
- [3] Барабаиов Б. Г., Анишин М. М., Лаврентьев О. А., Русин С. В. Результаты наклонного зондирования на трассе протяженностью 2770 км (часть 1). Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». Омск. ОАО «ОНИИП» - Выпуск 3 (38). 2018 г., стр. 22–29.
- [4] Барабаиов Б. Г., Анишин М. М., Лаврентьев О. А., Русин С. В. Результаты наклонного зондирования на трассе протяженностью 2770 км (часть 2). Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». Омск. ОАО «ОНИИП» - Выпуск 1 (40). 2019 г., стр. 19–23. [5] Электронный ресурс <http://www.ingv.it/it/>

Управляюще-вычислительный комплекс для полевой электронной спектроскопии

Шахмуратов Азамат Набиуллович
 Башкирский государственный университет
 Латыпов Камил Фаридович
azamatn96@mail.ru

Для проведения исследований связанных с полевой электронной спектроскопией необходимо специальное оборудование, например установка УСУ-4. Работа с ней требует специальных устройств для контроля эксперимента и отображения результатов. Для упрочения эксперимента требовалось автоматизировать этот процесс. Это можно было бы осуществить с помощью современных микропроцессорных комплексов под управлением ЭВМ.

Функциональная блок-схема комплекса экспериментальной установки для полевой электронной спектроскопии представлена на рисунке 1.

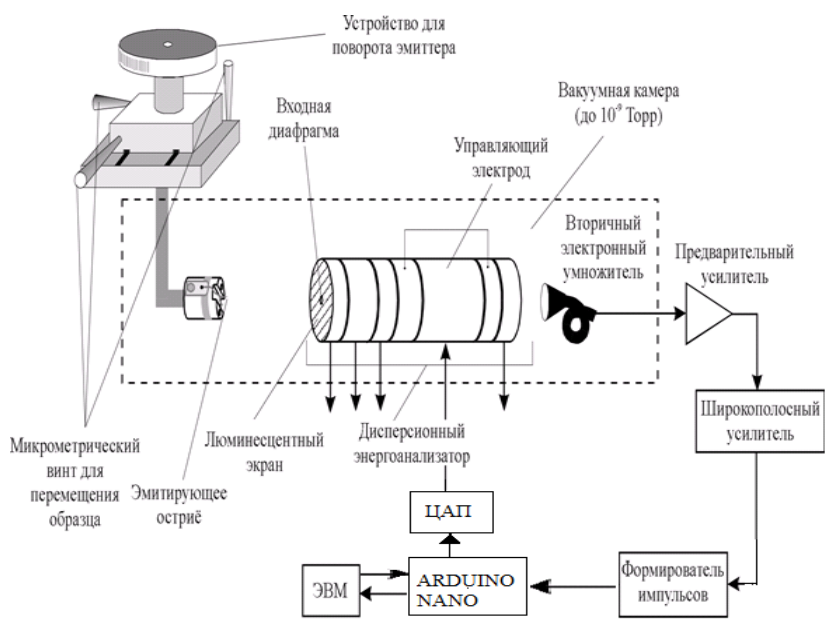


рис. 1 Функциональная блок-схема комплекса.

Управляюще-вычислительный комплекс для полевой электронной спектроскопии включает в себя платформу Arduino Nano, построенную на микроконтроллере ATmega328; цифро-аналоговый 12-разрядный преобразователь МСР4921; операционный усилитель 544УД1А(для усиления выходного сигнала); блок питания 12 В и различные дискретные элементы.

Программная часть устройства состоит из микропрограммы на Arduino Nano и программы для ЭВМ, которая осуществляет анализ и отображение полученных на устройстве данных.

Микропрограмма работает следующим образом. В бесконечном цикле запрограммировано три обработчика прерывания. Обработчик прерывания по таймеру срабатывает каждую миллисекунду, обработчик внешнего прерывания срабатывает при подаче импульса с положительным фронтом на второй вывод Arduino Nano, обработчик прерывания СОМ-порта срабатывает при наличии входящих байтов в буфере приема порта.

С запуском управляющей программы начинается пошаговое изменение потенциала катода в заданном диапазоне напряжений с помощью цифро-аналогового преобразователя. Управляемым счетчиком в каждой точке потенциала катода осуществляется счет электронов, прошедших через анализатор в течение заданного интервала времени. Для улучшения отношения сигнал/шум сканирование повторяется, и спектры суммируются, измеренные массивы данных оформляются в виде файлов в памяти компьютера.

После сканирования получили данные, которые приведены в виде графика. При подаче на анод анализатора высокое напряжение положительного знака, равные 3,9 кВ график выглядит таким образом:

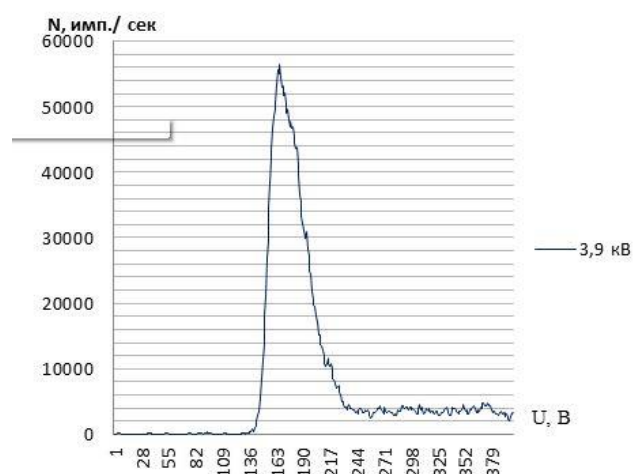


рис. 2 Энергетический спектр электронов при напряжении на аноде катализатора равных 3,9 кВ.

Экспериментально полученные результаты энергетических распределений автоэлектронов хорошо совпадают с рассчитанными теоретически энергетическим распределением в нормальных координатах.

18 - Приборы и методы экспериментальной физики. Информационные технологии в физических исследованиях.

Астафьев Павел Андреевич, аспирант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Вариант реализации специализированного микроконтроллера с цифровым сигнальным процессором с расширяемым набором команд на базе шины данных с протокольной адресацией
Резниченко Лариса Андреевна, д.ф.-м.н.
e-mail: I.b.e.w.4.a.9.p@yandex.ru стр. 375

Багаутдинов Данил Адипович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Возможности использования скачков Баркгаузена для контроля напряженно-деформированного состояния ферромагнитных материалов
Гарифуллин Наиль Миниахметович, к.ф.-м.н.
e-mail: Danil.bagautdinov.98@bk.ru стр. 376

Глушак Анастасия Андреевна, магистрант 1 года обучения
Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, физико-технический
Проект цифровой обработки сигналов электромагнитного калориметра Супер - С-т фабрики
Жуланов Владимир Викторович, к.т.н.
e-mail: nastya.glushak.97@mail.ru стр. 377

Двойнишников Сергей Владимирович, зав. лаб.
Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, -
Методы оптико-электронной диагностики геометрических параметров для промышленных технологий
e-mail: dv.s@mail.ru стр. 379

Загидуллин Айбулат Альбертович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Элементное изучение поверхности твердых тел методом электронной Оже-спектроскопии
Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н.
e-mail: aibulat.zagidullin.1998@mail.ru стр. 380

Изгагин Вячеслав Сергеевич, магистрант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический институт
Модернизированная ионизационная камера для спектрометрии альфа-излучающих радионуклидов
Жуковский Михаил Владимирович, д.т.н.
e-mail: v.iz.19@yandex.ru стр. 381

Каргаполов Иван Юрьевич, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Определение оптимального метода фильтрации шума при моделировании плазменного кильватерного ускорения
Туев Пётр Викторович
e-mail: i.kargaplov@g.nsu.ru стр. 382

Кушеева Мария Николаевна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, информационных технологий и робототехники
О применении метода анализа семантических сетей в медицинской статистике
Аксёнов Сергей Владимирович, к.т.н.
e-mail: marykush98@mail.ru стр. 383

Марудов Андрей Алексеевич, 1 курс
Ярославль, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, физический
Разработка алгоритмов кратномасштабного анализа и его реализация в программной среде Matlab
Московский Сергей Борисович, д.ф.-м.н.
e-mail: marudov.andrey@gmail.com стр. 384

Мужиченко Никита Евгеньевич, магистрант 2 года обучения
Волгоград, Волгоградский государственный университет, математики и информационных технологий
Комплекс по автоматизации хроматографа ЛХМ-8Д
Негинский Игорь Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: jonni3010@mail.ru стр. 385

Полянский Дмитрий Александрович, доцент
Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, школа естественных наук
Радиоэлектронная разведка в перехвате коммерческой информации. Современные реалии.
e-mail: rambo192@mail.ru стр. 386

Сахибгареев Эмиль Эльвирович, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Разработка численных алгоритмов обработки данных скважинной телеметрии в задачах интерпретации гидродинамических исследований скважин
Иващенко Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: dfdslotus@gmail.com стр. 387

Семенов Дмитрий Олегович, магистрант 1 года обучения
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Программно-аппаратная система диагностики отложений внутри вихревой камеры
Двойнишников Сергей Владимирович, д.т.н.
e-mail: SeemDima@gmail.com стр. 389

Фахреева Регина Рафисовна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Применение методов MLR и CRMP для анализа взаимовлияния скважин
Питюк Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.
e-mail: regina599@mail.ru стр. 390

Ханнанов Асхат Рамилевич, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмиллы, Институт естественных наук и математики
Исследование контактной разности потенциалов и создание установки для его измерения
Набиуллин Ильсур Рашитович, к.ф.-м.н.
e-mail: askhat.hannanov@gmail.com стр. 391

Шелестова Анжелика Александровна, 2 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики
Особенности измерения магнитных свойств быстрозакалённых магнитомягких сплавов в виде лент
Степанова Елена Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: shelestova2001@mail.ru стр. 393

Вариант реализации специализированного микроконтроллера с цифровым сигнальным процессором с расширяемым набором команд на базе шины данных с протокольной адресацией

Астафьев Павел Андреевич

Барценков Антон Александрович, Фальшин Семен Александрович

Южный федеральный университет

Резниченко Лариса Андреевна, д.ф.-м.н.

l.b.e.9.w.4.a.9.p@yandex.ru

Одной из современных тенденций развития радиолокационных систем является комбинирование видов модуляции радиосигналов в одном устройстве. Это приводит к необходимости применения цифровых комплексов для формирования, приема и обработки радиосигналов. Однако, комбинирование видов модуляции требует усложнения схемотехники устройства при использовании набора микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров. Необходима разработка микроконтроллера, который позволит комбинировать виды модуляции сигналов, обеспечит универсальность. Далее представлен вариант реализации специализированного микроконтроллера с цифровым сигнальным процессором с архитектурой набора команд нефиксированной длины с интегрированным ядром цифрового сигнального процессора. Благодаря модульности архитектура имеет широкие возможности для расширения. Архитектура реализована на базе интегральной схемы с программируемой логикой (ПЛИС).

Среди задач, поставленных перед настоящей работой было формирование потока данных из памяти, представляющего собой набор отсчетов синфазной и квадратурной составляющей комплексного сигнала, выдача отсчетов сигнала по параллельной шине данных на ЦАП с частотой дискретизации не менее 100 МГц, прием вещественных отсчетов сигнала с АЦП с частотой дискретизации не менее 100 МГц, а также цифровая обработка сигналов, включающая цифровую фильтрацию и спектральный анализ.

Архитектура должна обладать возможностями квадратурной демодуляции входного импульсного сигнала, выполнения децимирующей фильтрации с переменным коэффициентом децимации, приема команд по нескольким различным интерфейсам одновременно и параллельной обработки команд и данных. Кроме того, необходимо иметь возможность формирования сигналов любых форм модуляции из памяти или методом прямого цифрового синтеза.

Для выполнения выше поставленных задач в микроконтроллере имеется набор модулей цифровой обработки сигналов, связанный со внешними интерфейсами, через систему обработки и хранения команд. Все модули в совокупности представляют собой ядро процессора. Особенностью разработанной архитектуры является отсутствие выделенной шины адреса для внутренних интерфейсов. Это позволило реализовать адресацию на уровне протоколов, используя расширяемое общее пространство адресов для всех периферийных устройств.

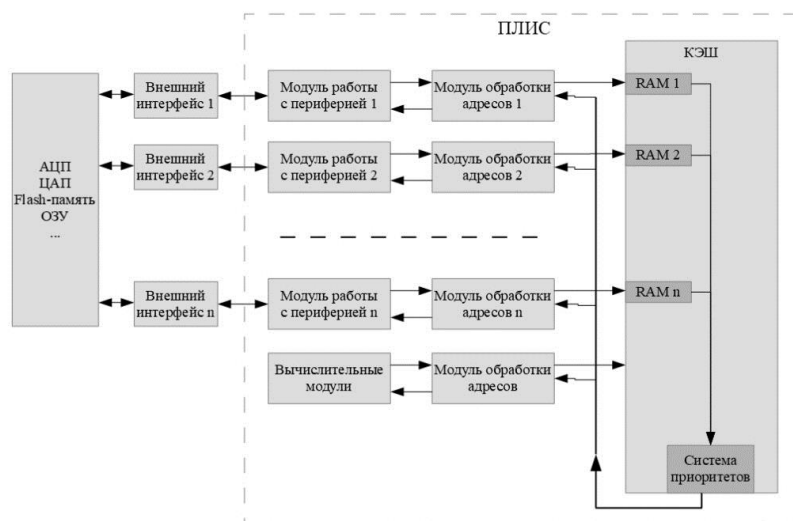


рис.1. Принципиальная схема архитектуры ЦСП.

Разработанная архитектура состоит из модулей работы с периферией модулей обработки адресов, быстрого КЭШа команд-данных, и специализированных вычислительных модулей (рис.1). Модули работы с периферией формируют 16-разрядный поток команд-данных с адресом целевого периферийного блока. Набор команд подразумевает общую адресацию для команд и данных. Разрядность шины команд-данных обусловлена разрядностью используемых АЦП и ЦАП. Все модули работы с периферией связаны с быстрым КЭШем через модули обработки адресов. В КЭШе реализована система приоритетов, позволяющая принимать и выставлять в очередь команды и данные для дальнейшей конвейерной обработки. Данные из КЭШа поступают на модули обработки адресов, после чего команда или данные в зависимости от адреса направляются в целевой периферийный модуль. Благодаря системе приоритетов, данные, требующие высокой скорости вычислений, проходят через КЭШ без буферизации, что позволяет реализовать конвейерную обработку данных. Специализированные вычислительные модули, выполняющие промежуточные действия, имеют собственную выделенную шину данных для максимизации скорости вычислений.

Результаты исследования найдут применение в наземных и бортовых радиолокационных комплексах [1,2]. В дальнейшем планируется переход от программной реализации архитектуры к аппаратной, что позволит сократить применение зарубежной электронной компонентной базы.

Список публикаций:

[1] FanWang, Huotao Gao, Lin Zhou, Qingchen Zhou, Jie Shi, Yuxiang Sun, "Design and FPGA implementation of digital pulse compression for HF chirp radar based on modified orthogonal transformation", *IEICE Electronics Express*, Vol.8, P1736-1742, October-25-2011.

[2] Samarah A.A Novel Approach for Generating and Processing Digital Chirp Signals Using FPGA Technology for Synthetic Aperture Radar (SAR) Applications, *Dissertation, Siegen, Germany, University of Siegen, 2012, 122 c.*

Возможности использования скачков Баркгаузена для контроля напряженно-деформированного состояния ферромагнитных материалов

Багаутдинов Данил Адипович

Башкирский государственный университет

Гарифуллин Наиль Миниахметович, к.ф.-м.н.

Danil.bagautdinov.98@bk.ru

В процессе эксплуатации магистральные газо-нефтепроводы подвергаются воздействию поперечных и продольных сил, изменяют свое первоначальное положение, что приводит к появлению в материале труб чрезмерных напряжений и деформаций, а в локальных дефектосодержащих участках – к концентрации напряжений и, как следствие, к их разрушению. Поэтому при эксплуатации трубопроводов для оценки их несущей способности важно непосредственными измерениями контролировать фактические напряжения и деформации.

Одними из перспективных неразрушающих методов измерения и контроля механических напряжений являются электромагнитные методы, основанные на связи магнитных характеристик ферромагнитных материалов с механическими напряжениями, возникающих в них. Как известно [1], при намагничивании и перемагничивании ферромагнетиков намагниченность не является плавной функцией поля, а представляет собой набор дискретных изменений в виде необратимых скачков намагниченности различной величины (рис.1), которые были названы скачками Баркгаузена.

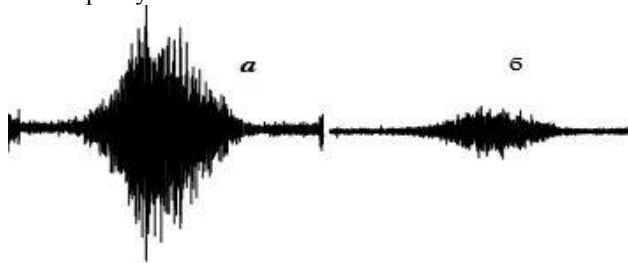


рис.1 Форма шумового сигнала от скачков Баркгаузена при напряжениях растяжения а) и сжатия б)

Результаты изучения эффекта Баркгаузена показывают принципиальную возможность применения данного метода и сопутствующих ему магнитных шумов для неразрушающего контроля напряжений в ферромагнитных материалах и изделиях из них. Эффект Баркгаузена является чувствительным индикатором изменений химического и фазового состава, структурного и напряженного состояний ферромагнетика и может быть использован для анализа изменения свойств изделий в процессе их эксплуатации. Наиболее

чувствительными параметрами скачков Баркгаузена (СБ) при изменении напряженного состояния являются амплитуда и число скачков, которые растут с ростом напряжения растяжения и уменьшаются при напряжениях сжатия (рис.1). Таким образом, измерения параметров магнитного шума позволяют судить как о величине, так и о направлении распределения механических напряжений в ферромагнитных материалах.

В данной работе приводятся некоторые результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) стального образца, основанного на измерении среднего значения амплитуды СБ. На рисунке 2 приведена методика измерения. На исследуемый образец 1 накладывается специальный датчик 2. Основными элементами датчика [2] являются обмотка возбуждения и обмотка измерения СБ. Гармонический сигнал возбуждения и измерения амплитуды СБ осуществляется прибором 3, изготовленный в лаборатории. Напряжения сжатия и растяжения на образце создавались на специальной установке путем изгиба образца определенным усилием.

На рисунке 3 приведены некоторые результаты измерений. Как видим, при растяжении увеличивается уровень магнитного шума, а при сжатии уменьшается по линейному закону.

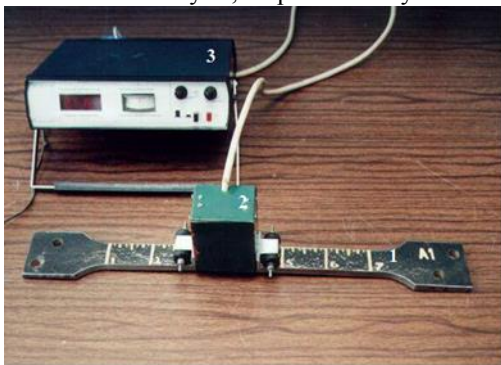


рис.2 Внешний вид экспериментальной установки

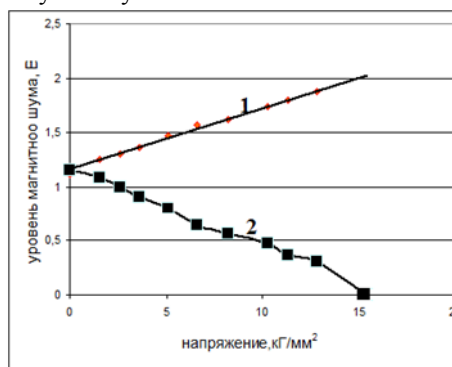


рис. 3 Зависимость уровня шумов Баркгаузена от напряжений (σ) растяжения 1) и сжатия 2)

Список публикаций:

[1] Максимочкин В.И., Гарифуллин Н.М., Щеглов П.А. Возможности эффекта Баркгаузена для определения структурных изменений в трубных сталях //Труды 4-ой Международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкции и методы их решения». – Санкт-Петербург, 2001. С.204.

[2] Максимочкин В.И., Гарифуллин Н.М., Сулейманов Н.Т. Магнитоупругий датчик для определения механических напряжений в ферромагнитных материалах // Патент на изобретение №249459 от 10 сентября 2013г.

Проект цифровой обработки сигналов электромагнитного калориметра Супер С-т фабрики

Глушак Анастасия Андреевна

Новосибирский государственный технический университет

Жуланов Владимир Викторович, к.т.н.

nastyia.glushak.97@mail.ru

Супер С-т фабрика – строящийся в Институте ядерной физики (ИЯФ СО РАН) ускорительный комплекс на встречных электрон-позитронных пучках с энергией от 2 до 5 ГэВ и светимостью около $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Целью создания такой установки является изучение процессов с с-кварками и т-лептонами со статистикой, превышающей текущую как минимум на 2 порядка.

Для выполнения физической программы на данной установке требуется универсальный магнитный детектор [1]. Одной из подсистем детектора является электромагнитный калориметр. В задачу калориметра входит преобразование с помощью сцинтилляционных счетчиков как можно большей части выделенной энергии регистрируемых частиц в пропорциональные по величине и удобные для измерения сигналы. В качестве сцинтилляторов в проекте Супер С-т фабрика будут использоваться кристаллы чистого йодистого цезия (CsI) с временем высвечивания $\tau_s=30 \text{ нс}$.

Основными задачами считывающей электроники калориметра являются: формирование сигналов с зарядочувствительных предусилителей для минимизации уровня электронного шума, оцифровка сигнала с анализом формы для вычисления основных характеристик и формирование пакетов для передачи в общую систему сбора данных. Для решения этих задач создается 16-канальная плата усилителей-формирователей и

АЦП. На данный момент разрабатывается её четырехканальный прототип для отладки работы модуля и проверки передачи данных по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). В ходе работы над прототипом была составлена принципиальная схема формирующего усилителя, рассчитаны параметры каскадов и шумовые характеристики [2], выполнено моделирование сигналов электроники канала регистрации и произведена трассировка печатной платы.

Следующим этапом работы является разработка дизайна программируемого пользователем вентиляционной матрицы (FPGA). Задачу разработки можно разделить на 2 этапа: написание алгоритма вычисления основных характеристик (амплитуды, времени появления относительно сигнала триггерной системы и качества аппроксимации) и интерфейса передачи данных по ВОЛС на языке VHDL.

Целью работы является разработка проекта цифровой обработки сигналов для FPGA. Для достижения поставленной цели ставятся задачи разработки общей структуры проекта, исследования основных методов извлечения полезных характеристик и поиск аналитической формы выходного сигнала формирующего усилителя.

Структура проекта цифровой обработки сигнала показана на рис. 1. Данные с АЦП поступают на вход FPGA в последовательном виде, где они десериализуются и записываются в кольцевой буфер. По мере готовности сигнального процессора DSP для обработки события данные с кольцевого буфера переписываются в процессор. Через Ethernet трансивер в блок памяти RAM записываются предварительно вычисленные коэффициенты. После восстановления амплитуды сигнала и времени появления выходные данные передаются в упаковщик, в котором происходит формирование пакетов и их передача в общую систему сбора данных.

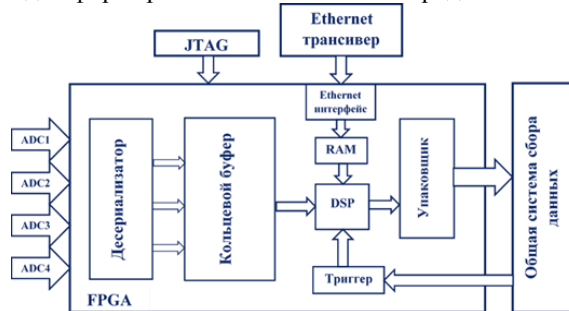


рис.1. Структура проекта цифровой обработки данных

К основным методам вычисления амплитуды сигнала можно отнести: поиск простого максимума, метод численного интегрирования и минимизация функции $\chi^2(A)$. Время появления также можно найти с помощью минимизации функции $\chi^2(t)$.

Для работы с методом минимизации функции χ^2 необходимо знать аналитическую формулу сигнала. Уравнение выходного сигнала усилителя в общем случае является сверткой сигнала с сцинтиллятора и импульсной характеристики системы ЗЧУ – формирующая часть усилителя с учетом уравнения вспышки сцинтилляционного света и паразитного интегрирования. В ходе работы было выполнено поэтапное вычисление импульсной характеристики системы ЗЧУ – формирующий усилитель. В результате была получена формула (1):

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A * ((b^2t - k) \sin(bt) - (kbt + 2b) \cos(bt) + 2b) * e^{2at}, & t \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где A, k, a, b – коэффициенты, зависящие от параметров усилителя. После вычисления импульсной характеристики было найдено уравнение выходного сигнала (формула (2)):

$$U_s(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ UA \frac{e^{-\frac{t}{\tau_s}} (ke^{kt} \sin(bt) + bkte^{kt} \cos(bt) - 2be^{kt} + 2b)}{k}, & t \geq 0 \end{cases}, \quad (2).$$

После этого с помощью метода Монте-Карло будет определена точность восстановления амплитуды и времени для каждого метода. По результатам этого метода будет сделан окончательный выбор алгоритма вычисления амплитуды и времени появления, вычислены необходимые коэффициенты.

Список публикаций:

- [1] Супер Чарм – Тау фабрика. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ЧАСТЬ 1 (физическая программа, детектор)/ В.В. Анашин, А.В. Анисёнков, В.М. Аульченко и др. –Новосибирск: ИЯФ СО РАН, 2018. – 136 с.
 [2] Глушак А. А. «Формирующий усилитель спектрометрического канала регистрации сигналов» [Текст]/ А. А. Глушак // Наука и практика: проектная деятельность-от идеи до внедрения: материалы VIII регион. науч.-практ. конф., Томск, 2019.-Томск, 2019.- Ч.II.- С. 473-476

Методы оптико-электронной диагностики геометрических параметров для промышленных технологий

Двойнишников Сергей Владимирович

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

dv.s@mail.ru

Задача прецизионных измерений геометрических параметров в технологических процессах является важной для широкого спектра промышленных применений. Высокоточный контроль геометрии сложнопрофильных изделий важен для нефтегазового и аэрокосмического комплексов, энергетики и атомной промышленности, всюду, где необходим размерный контроль точных машиностроительных изделий со сложной геометрией [1-4].

Существующие решения задачи измерения геометрических параметров оптическими методами можно разбить на несколько больших групп: интерференционные, времяпролетные, фазовые, триангуляционные, методы частотной модуляции и методы анализа визуальных образов. В представляемом докладе внимание уделено различным научно-техническим решениям, которые находят применение в задачах измерения геометрических параметров в различных технологических процессах в промышленности и науке.

Методы оптической триангуляции основаны на определении расстояния по положению пятна рассеянного на поверхности пучка излучения на фотоприемнике. Метод оптической триангуляции работает следующим образом. Излучательный канал формирует изображение светового пятна на контролируемой поверхности. Рассеянный контролируемой поверхностью свет попадает в приемный канал. В плоскости фотоприемника строится изображение освещенного участка контролируемой поверхности в форме светового пятна. При смещении контролируемой поверхности на величину ΔZ (рис. 1), световое пятно в плоскости фотоприемника смещается на величину δz . Зависимость смещения контролируемой поверхности ΔZ от смещения светового пятна в плоскости фотоприемника δz имеет следующий вид:

$$\Delta Z = r \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\alpha - \varphi)}, \quad (1)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(A \cdot \frac{\delta z}{1 + B \cdot \delta z}\right) \quad (2)$$

$$A = \sin \beta / r' \quad (3)$$

$$B = -\cos \beta / r' \quad (4)$$

где r и r' - расстояния от контролируемой поверхности до проецирующего объектива приемного канала и от проецирующего объектива до фотоприемника. Существует большое количество модификаций метода оптической триангуляции, нацеленных на улучшение метрологических характеристик в специфических условиях.

Наиболее часто используемой модификацией метода триангуляции является триангуляция с использованием пространственной модуляции оптического источника. Данный метод предполагает, что на поверхность контролируемого объекта проецируют не световой пучок, а пространственно модулированную засветку (одномерную или двумерную). На фотоприемнике анализируют наблюдаемое двумерное распределение рассеянного излучения, которое, в случае формирования засветки в виде полутоновых полос с гармоническим изменением интенсивности, может быть описано следующим выражением:

$$I(x, y) = A(x, y)(1 + V(x, y) \cos(\varphi(x, y))) \quad (5)$$

где $I(x, y)$ - распределение интенсивности на изображении контролируемого объекта; $A(x, y)$ - распределение фоновой интенсивности; $V(x, y)$ - средняя видимость; $\varphi(x, y)$ - распределение разности фаз, кодирующее информацию о дальности объекта;

Триангуляционные методы светового сечения заключаются в формировании на поверхности объекта узкой световой полосы и наблюдении ее формы с направления, отличного от направления освещения. Наблюдаемые искажения полосы определяют геометрию поверхности в плоскости светового сечения.

Известны методы бесконтактного измерения полного трехмерного профиля поверхности, реализующие принцип сканирующей подсветки, который используется в трехмерной компьютерной анимации и некоторых других приложениях для регистрации формы поверхности. Метод основан на том, что последовательно сканируют отдельные контуры поверхности светящейся полосой и судят о контролируемых размерах по степени искажения изображения полосы и ее местоположению в декартовой системе координат. Основной

недостаток данного метода заключается в высокой погрешности и длительном времени контроля, связанном с наличием операции последовательного сканирования.

В докладе будут представлены различные современные методы оптико-электронной диагностики, позволяющие выполнять измерения геометрических параметров, а также выполнять трехмерное сканирование поверхности измеряемого объекта в промышленных условиях. Будут рассмотрены методы, адаптированные для работы в тяжелых эксплуатационных условиях действующей промышленности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-08-00910).

Список публикаций:

[1] Dvoynishnikov S.V., Meledin V.G. *Optoelectronic Differential Cloudy Triangulation Method for Measuring Geometry of Hot Moving Objects / Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications*, M.Rivas-Lopez, O.Sergiyenko, W.Flores-Fuentes, J. C. Rodríguez-Quñonez, August 2018, p. 49-78.

[2] Dvoynishnikov S.V., Kabardin I.K., Meledin V.G. (2020) *Advanced Phase Triangulation Methods for 3D Shape Measurements in Scientific and Industrial Applications*. In: Sergiyenko O., Flores-Fuentes W., Mercorelli P. (eds) *Machine Vision and Navigation*. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-22587-2_21.

[3] D V Kulikov, A S Chubov, O Yu Sadbakov, S V Krotov, N N Ovchinnikov *Method of measuring the geometry of rotating parts of power stations based on the effect of self-mixing of laser radiation // 2019 Journal of Physics: Conference Series Vol. 1359, 012098.*

[4] S.V. Dvoynishnikov, V.V. Rakhmanov, I.K. Kabardin, V.G. Meledin *Phase triangulation method with spatial modulation frequency optimization // Measurement, Vol.145 (2019). - P. 63–70.*

Элементное изучение поверхности твердых тел методом электронной Оже-спектроскопии

Загидуллин Айбулат Альбертович

Башкирский государственный университет

Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н.

aibulat.zagidullin.1998@mail.ru

Основными преимуществами электронной Оже-спектроскопии относительно других методов анализа поверхности является пространственное разрешение меньше одного микрометра, хорошая чувствительность поверхности, обнаружение легких элементов и средняя глубина анализа приблизительно пять нанометров.

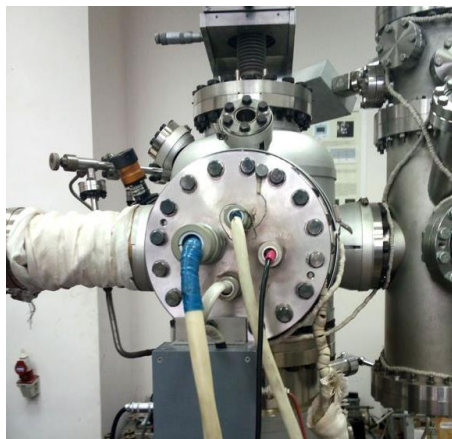


рис. 1. Энергоанализатор со встроенной пушкой Оже.

Принцип электронной Оже-спектроскопии заключается в том, что высокоэнергетический электрон, попадая в атом исследуемого твердого тела, выталкивает электрон с его орбиты, создавая вакансию. В этом случае другой электрон с высшей орбиты перемещается, чтобы заполнить вакансию. При переходе электрона с более высокой на низкую орбиту, он излучает энергию. Энергия высвобождается в виде третьего электрона с другой орбиты. Измеряя энергию излучаемого электрона, называемого Оже-электроном, можно идентифицировать атом. Таким образом, генерация Оже-электрона требует, по меньшей мере, трех электронов.

Элементный анализ поверхности твердых тел производился при сверхвысоком вакууме порядке 10^{-9} Торр.

На рисунке 2 изображены Оже-пики алюминия, полученные экспериментально: Al 1302 эВ, Al 1351 эВ, Al 1397 эВ, что соответствует табличным значениям. Пики Оже-электронов поверхности алюминия соответствуют KLL переходам этого же элемента.

Так же можно заметить, что на образце присутствуют загрязнения в виде кислорода O 511 эВ и азота N 387 эВ соответствующие табличным значениям.

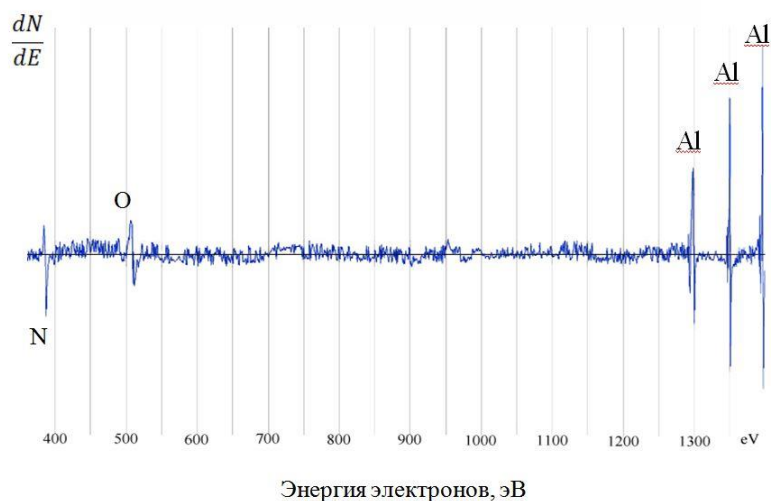


рис. 2. Спектр Оже-электронов поверхности алюминия.

Проанализировав Оже-спектры алюминиевой поверхности, приходим к выводу, что уже при наличии на поверхности исследуемого образца нескольких частиц адсорбата, линии веществ составляющих адсорбат, будут выделяться в Оже-спектре. А также на интенсивность эмиссии Оже-электронов существенно влияет зависимость сечения ионизации внутренних уровней атомов от энергии первичных электронов, обратный поток рассеянных электронов, вероятность перехода атома в невозбужденное состояние с испусканием фотона.

Химические связи на поверхности образца могут изменять форму пика и, таким образом, приводить к ошибке при использовании метода определения в дифференцированном спектре Оже-сигнала.

Модернизированная ионизационная камера для спектрометрии альфа-излучающих радионуклидов

Изгагин Вячеслав Сергеевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Жуковский Михаил Владимирович, д.т.н.

slava.izgagin-arti@yandex.ru

При обращении с альфа-активным веществом необходим контроль содержания радионуклидов в технологических средах, воздухе рабочей зоны, загрязнения рабочих поверхностей. Ингаляционное, инвазивное, пероральное поступление источников альфа излучения в организм представляет опасность для персонала за счет высокой плотности ионизации. Радиационный контроль необходим при производстве короткоживущих радионуклидов для ядерной медицины, при обращении с торий содержащими материалами, как при их хранении, так и операциях переработки [1, 2]. Низкофонные установки могут быть использованы для валидации других методов измерения активности альфа-излучающих радионуклидов.

Контроль альфа-радионуклидов осуществляется спектрометрическим или радиометрическим методом. Последний предполагает наличие счётчика частиц (пропорциональный счетчик, счетчик Гейгера-Мюллера). Используется также спектрометрический способ с использованием газовой ионизационной камеры в качестве детектора [3]. Принцип работы камеры можно описать следующим образом. Вылетающие из препарата альфа-частицы проводят ионизацию рабочей газовой смеси, состоящей из инертного газа аргона (99,4%) и из органической добавки толуола (0,6%). Под действием электростатического поля происходит дрейф электронов и ионов к соответствующим электродам детектора, аноду и катоду соответственно. Впоследствии происходит измерение заряда, наведенного на собирающем электроде. Количество образованных ион – электронных пар пропорционально энергии, потерянной α -частицей в чувствительной области камеры.

Для используемой ионизационной камеры проведена модернизация её внешних функциональных блоков. Подготовка газового объема камера осуществляется форвакуумным насосом, позволяющего достичь требуемого уровня вакуума в 0,2 Па. Оснащение газовой магистралью позволяет заполнять газовый объем рабочей смесью из аргона и толуола, при парциальных давлениях 2,1 атм и 0,01 атм соответственно. Модернизирована электронная подсистема сбора, передачи и преобразования сигнала с детектора. Для питания ионизационного детектора использован высоковольтный источник напряжения, конструктивно входящий в состав спектрометрического анализатора «BSI Multispectrum». Это позволило уменьшить габариты электронных блоков, используемых в установке. Номинальное напряжения питания используемое для работы детектора -2,4 кВ (на катод) и -1,4 кВ (на сетку). В качестве связующего звена между детектором и последующим каскадом усиления, установлен зарядочувствительный предусилитель, позволяющий преобразовать наведенную в ионизационном детекторе порцию заряда в амплитуду напряжения. Последующий блок спектрометрического усилителя-формирователя формирует импульсный сигнал с предусилителя в импульс заданной формы, длительности и амплитуды для его передачи на аналогово-цифровой преобразователь, также встроенный в блок анализатора «BSI Multispectrum» [4]. Связь с персональным компьютером осуществляется по интерфейсу RS-232. Для возможности прямого подключения к USB порту был собран адаптер RS-232-USB на основе микросхем FT232 и MAX232.

Ионизационная камера позволяет получить энергетическое распределение для данного тонкослойного образца с последующим определением его активности в геометрии измерения 2π . При этом отношение количества частиц, вызвавших процессы, приводящие к их регистрации, к количеству частиц, испущенных источником, практически равняется 1. Установка позволяет регистрировать альфа-радионуклиды уранового, трансуранового и ториевого ряда [5].

Список публикаций:

- [1] Мокров Ю.Г., Мокров К.Ю. // *Вопросы радиационной безопасности*. 2019. № 3 (95). С. 51-65.
- [2] Екидин А.А., Павлюк А.В., Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Михеев А.А. // *ТехНадзор*. 2010. № 1. С. 42.
- [3] Гаврилюк Ю.М., Гангашиев А.М., Кузьминов В.В., Панасенко С.И., Раткевич С.С. // *Известия РАН, серия физическая*, Т. 75. №4, с. 583-587 (2011).
- [4] *Ионизационная камера ИК-1: Техническое описание и инструкция по эксплуатации*. Уральский Электрохимический комбинат, Новоуральск (1994).
- [5] Martschini M. *New and upgraded ionization chambers for AMS at the Australian National University*. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B* (2018).

Определение оптимального метода фильтрации шума при моделировании плазменного кильватерного ускорения

Каргаполов Иван Юрьевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Тувев Пётр Викторович

i.kargapolov@g.nsu.ru

Одной из проблем современной физики ускорителей является ограничение электрического поля в классических резонаторах величиной порядка 100 МВ/м. Главным образом, это обусловлено возможными пробоями на металлических стенках камеры при больших значениях поля, что разрушает установку. По этой причине активно развиваются новые методы ускорения, в частности, кильватерное ускорение в плазме. Плазма представляет собой квазинейтральный газ заряженных частиц, то есть, по существу, её можно считать полностью разрушенным веществом. Вследствие этого использование плазмы в качестве ускоряющей структуры позволяет достигать полей порядка 100 ГВ/м и выше, что выгодно отличает данное направление от других. При кильватерном ускорении драйвер (интенсивный лазерный импульс или пучок заряженных частиц), проходя через плазму и возбуждая плазменные волны, создаёт высокое продольное электрическое поле. Были достигнуты важные экспериментальные результаты [1], показавшие возможность использования плазмы в качестве эффективных высокоградиентных ускоряющих структур. Тем не менее, всевозможным передовым концепциям кильватерного ускорения необходим существенный прогресс для реализации своего потенциала.

При проектировании новых плазменных ускорителей и совершенствовании существующих активно используются численные эксперименты. Они предоставляют эффективный инструмент изучения и понимания происходящих процессов, не требуя при этом прямых экспериментальных измерений. Современные коды позволяют исследовать плазменную динамику в условиях, приближенных к экспериментальным. Развитие методов плазменного ускорения привело к значительному повышению энергии ускоряемых сгустков и к укрупнению экспериментальных установок. В связи с этим существенно усложнились численные расчёты, в том числе увеличались размеры области взаимодействия. В данных условиях одним из главных требований к

вычислительным алгоритмам является обеспечение стабильности по отношению к численным шумам при сохранении разумного потребления компьютерных ресурсов.

Одним из способов удовлетворения приведённых выше условий состоит в развитии адекватных упрощённых моделей, таких как 2d3v код LCODE [2]. Основой численного алгоритма данного кода является метод частиц в ячейках, в котором частицам плазмы соответствует набор макрочастиц, а электромагнитные поля, плотности заряда и тока представляются на сетке. Кроме того, в коде LCODE используется квазистатическое приближение. Данное приближение основано на существовании большой относительной разницы характерных времён эволюции для плазмы и драйвера. Следуя квазистатическому приближению, на одном шаге по времени драйвер можно считать неизменным и исследовать плазменную динамику в создаваемых им полях.

На данный момент разрабатывается код LCODE-3D. По сравнению с его предшественником, двумерным кодом LCODE, трёхмерный код позволяет подробнее моделировать эксперименты и точнее исследовать физические явления. Тем не менее, необходимы дополнительные усилия для повышения стабильности по отношению к численным шумам. В кодах, основанных на методе частиц в ячейках, возникающие шумы могут иметь природу, связанную как с численным решением уравнений Максвелла, так и с «саморазогревом» плазмы. Первостепенной задачей в борьбе с шумами является определение параметров, характеризующих устойчивость решения и позволяющих сравнивать эффективность различных методов подавления шумов.

В данной работе рассмотрены методы подавления и фильтрации численных шумов для кода LCODE-3D. Определены параметры эффективности для данных методов. На примере тестовой задачи, имеющей аналитическое решение, найден оптимальный метод стабилизации.

Список публикаций:

[1] Костюков И. Ю., Пухов А. М. Плазменные методы ускорения электронов: современное состояние и перспективы // УФН, т.85, №1, с.89-96 (2015).

[2] Lotov K. V. Fine wakefield structure in the blowout regime of plasma wakefield accelerators // Phys. Rev. ST - Accel. Beams 6 (2003), p.061301.

О применении метода анализа семантических сетей в медицинской статистике

Кушеева Мария Николаевна

Аюшеев Донир Цыденович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Сибирский государственный медицинский университет

Аксёнов Сергей Владимирович, к.т.н.

marykush98@mail.ru

В настоящее время текстовые медицинские данные, такие как анамнез, результаты осмотров и обследований, хранятся в неструктурированном виде. Проблемам создания систем обработки естественного языка, представленных в текстовом виде, посвящены работы огромного количества исследователей (Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Смирнов И.В., Девяткин Д.А., Шелманов А.О.) [1,2]. Анализ их работ показал, что семантические сети также могут быть применимы в данной области и имеют огромный потенциал в использовании. Поскольку методам их построения посвящено уже много научных работ, хотелось бы обратить внимание на то, как именно семантические сети могут быть применены в структуризации медицинских данных, улучшении работы медицинского персонала и увеличении качества оказываемых медицинских услуг. Таким образом, данное исследование является достаточно актуальным, потому что метод анализа семантических сетей текстов в перспективе должен упростить задачу анализа медицинских данных, подняв медицинскую статистику и даже диагностику на новый уровень.

Итак, *объектом исследования* являются семантические сети, а *предметом исследования* – метод анализа семантических сетей.

Основной целью исследования можно считать изучение способа применения семантических сетей в обработке и классификации медицинских данных для медицинской статистики.

Суть метода анализа семантических сетей заключается в сравнении семантических сетей, построенных на основе историй болезней пациентов, друг с другом. Итак, имея в распоряжении данные о половозрастной категории пациента, список его жалоб, а также объективный и локальный статус осмотра, необходимо построить семантическую сеть, которая впоследствии будет сравниваться с другими семантическими сетями,

построенным по данным пациентов, диагноз и протекание болезни которых уже известны. Естественно, что такие семантические сети, уже будут разделены на группы по диагнозам.

В настоящее время существует метод оценки качества семантических сетей [3], суть которого заключается в выведении коэффициента совпадения одной семантической сети, называемой эталонной, с другой сетью, называемой кандидатом. Используя этот метод, но принимая в качестве эталонной сети сеть, построенную по истории с известным диагнозом, а в качестве сети-кандидата сеть, построенную по истории, не имеющих таких данных, можно вычислить некоторый коэффициент совпадения.

Далее для коэффициентов сравнения с семантическими сетями, принадлежащими одной группе, рассчитываем среднее арифметическое значение. Т.к. имеется множество различных групп семантических сетей, разбитых по диагнозам, в конечном итоге мы получаем множество средних значений коэффициентов совпадения сети-кандидата с различными группами. Данная совокупность значений итоговых коэффициентов позволит сделать вывод о том, насколько в процентном отношении рассматриваемый пациент может иметь тот или иной диагноз.

Побочным же результатом данного исследования также может являться ранжирование признаков определенной болезни. Т.к. в конечном итоге мы имеем разделенные на группы семантические сети, при объединении в каждой группе семантических сетей в одну и посчитав веса терминов, можно будет судить о важности и встречаемости определенного признака для каждого типа болезни.

Однако, в настоящий момент данное исследование нуждается в качественно проведенных экспериментах, для проведения которых необходимо создать программный прототип, сделать выборку историй болезни, и построить соответствующие им семантические сети. Исследование и разработка метода внесут свой вклад в автоматизацию и компьютеризацию медицинской статистики, но данный метод все равно будет иметь некоторую погрешность, которую также необходимо вычислить в ходе экспериментов.

Список публикаций:

- [1] Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Смирнов И.В. и др. Технологии комплексного интеллектуального анализа клинических данных // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2016. – с. 160-171
- [2] Лапаев М.В. Система обработки текстовых медицинских данных // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 9. – с. 11-15
- [3] Аюшеева Н.Н., Гомбожапова Т.Н., Кушеева М.Н. Метод оценки качества семантических сетей // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 11 (часть 1) – с. 77-81

Исследование реализации алгоритмов обработки дифрактограмм на основе кратномасштабного анализа в программной среде Matlab

Марудов Андрей Алексеевич

Сидорова Екатерина Игоревна

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Московский Сергей Борисович

marudov.andrey@gmail.com

Характерной особенностью задач, требующих обработки значительного объема данных, являются большая множественность событий и высокий уровень шума. Внедрение методов вейвлет-анализа в алгоритмы обработки данных наглядно показывает их способность комплексно подходить к решению задач. Одним из методов обработки зашумленного сигнала является трешолдинг (ТШ). Он заключается в вейвлет-декомпозиции сигнала до уровня j и удалении достаточно маленьких вейвлет-коэффициентов на каждом уровне разложения.

В качестве материала для обработки были взяты данные образцов пленок V-O, полученные на дифрактометре ARL X`TRA (Thermo Scientific - Швейцария, 2009), находящемся в ЦКП ДМНС.

Задачей является численное исследование влияния параметров трешолдинга и способов пороговой обработки на качество шумоподавления. Основным критерий оценки – относительное среднеквадратичное отклонение шума. Всего было рассмотрено три различных алгоритма, представленных в пакете расширения Wavelet Toolbox компьютерной системы MATLAB.

Первый и самый простой из них – алгоритм ТШ с использованием функции, которая находит значения параметров по умолчанию для всех общих процедур, связанных с удалением шума, используя вейвлеты. Параметры по умолчанию следующие:

- глобальный порог $thr = \sqrt{2 \ln L} \cdot E$, где L – длина сигнала, E – уровень шума;
- сохранение аппроксимирующих коэффициентов;

– «мягкий» пороговый метод.

Также был рассмотрен дискретный алгоритм с порогом по стратегии Бирге-Массарта [2]. Его применение сводится к отбрасыванию на i -ом уровне всех коэффициентов, кроме n_i самых больших. Их число определяется выражением:

$$n_i = \frac{m}{(j+2-i)^\alpha} \quad (1)$$

где j – уровень разложения, m и α параметры.

Еще один вариант обработки использует алгоритм, использующий адаптивный порог, который задается путём выбора критерия оценки R в качестве которых используются [3]:

- SURE порог, основанный на принципе Штейна несмещённой оценки риска;
- глобальный порог, аналогичный используемому в первом алгоритме;
- эвристический порог;
- минимаксный порог.

Из всех рассмотренных способов выбора порога, наиболее подходящим для нашей задачи оказался алгоритм адаптивного ТШ с эвристическим критерием оценки и использованием перемасштабирования шума на основе коэффициентов первого уровня разложения.

Вейвлет-фильтрация, как современная методика компьютерной обработки данных, позволила уменьшить влияние высокочастотного шума и неоднородной фоновой интенсивности на форму дифракционных максимумов, полученных от тонких плёнок V-O. Такой подход значительно упрощает дальнейший анализ дифрактограмм и существенно повышает точность определения характеристик исследуемых плёнок.

Список публикаций:

[1] Дьяконов В., Абраменкова И. *MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник.* – СПб.: Питер, 2002, 608 с.

[2] L. Birgé, P. Massart, "From model selection to adaptive estimation", *Festschrift for L. Le Cam*, pp. 55–88, 1997.

[3] D.L. Donoho, "De-Noising by Soft Thresholding", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 41, No. 3, pp. 613-627, 1995.

Комплекс по автоматизации хроматографа ЛХМ-8Д

Мужиченко Никита Евгеньевич

Волгоградский государственный университет

Негинский Игорь Владимирович, к. ф. -м. н.

Для разделения и анализа смесей веществ, а также изучения их физико-химических свойств одним из самых эффективных методов является хроматография. Основными методами хроматографии, применяемые в современных хроматографах являются газовый и жидкостный. Проведение хроматографии осуществляется с помощью хроматографов. Одним из самых популярных и доступных является хроматограф ЛХМ-8МД. Принцип работы данного хроматографа основан на использовании методов газо-адсорбционной и газо-жидкостной хроматографии [1] в изотермическом режиме разогрева разделительных колонок с последующим детектированием и регистрацией анализа на ленте самопишущего потенциометра. В качестве чувствительного детектора, способного реагировать на изменение концентрации определяемого вещества используется детектор по теплопроводности.

Одним из недостатков данного хроматографа является то, что он значительно устарел по сравнению со своими современными аналогами, но главным недостатком является его самопишущий потенциометр. Данное устройство является механическим и не позволяет проводить анализ физико-химического состава веществ с помощью современных цифровых методов. Именно это обуславливает актуальность разработки автоматизированного комплекса для получения и обработки данных от хроматографа в режиме реального времени.

Таким образом, актуальна разработка автоматизированного комплекса для регистрации хроматографических кривых на базе оборудования хроматографа ЛХМ-8МД. В задачи комплекса входит и управление параметрами проведения исследований – температурой в блоках Колонок и Детектора, зондирующим током детекторного моста. Сопряжение с ПК целесообразно реализовать посредством интерфейса USB.

Для реализации данного комплекса была разработана структурная схема, представленная на рис. 1.

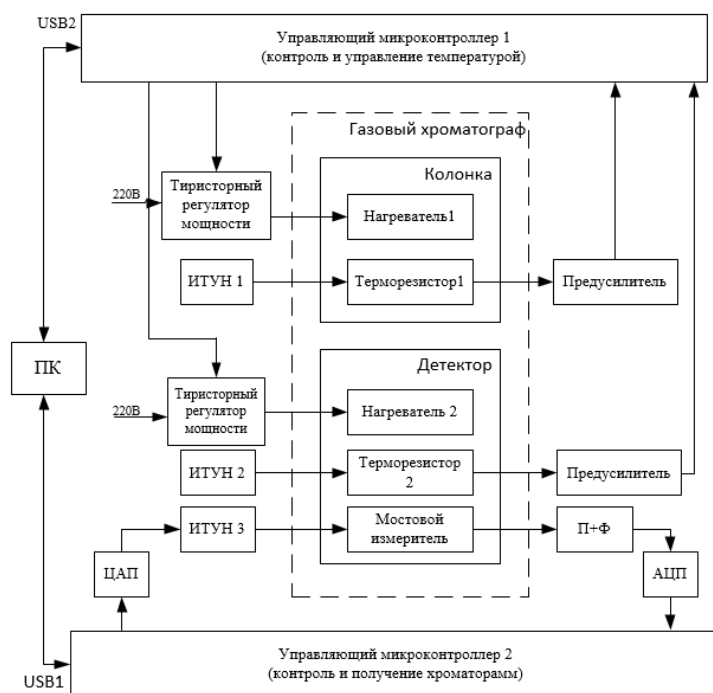


рис.1 Структурная схема комплекса

Ключевую роль играют два микроконтроллера – управляющий микроконтроллер 1 и 2. Микроконтроллер 1 отвечает за контроль и управление температурой как в блоке Колонок, так и в блоке Детектора. Для управления нагревателями 1 и 2 используются Тиристорные регуляторы мощности на базе оптосимистора МОС-3061. Для контроля температуры в соответствующих блоках используются Терморезисторы 1 и 2 (платиновые резисторы ГР21 сопротивлением 46 Ом), сигналы с которых фиксируются АЦП Микроконтроллера 1. Полученные напряжения после пересчета в температуру выводятся на ПК. Необходимое значение тока 40mA для терморезисторов формируются источниками тока ИТУН 1 и ИТУН 2.

Микроконтроллер 2 используется для управления получением хроматограмм с визуализацией результатов на ПК. По командам Микроконтроллера 2 источник тока ИТУН 3 формирует ток Мостового измерителя. Напряжение небаланса моста после обработки предусилителем и фильтром (блок П+Ф) регистрируется Микроконтроллером 2 через внешний АЦП Microchip MCP3201.

Связь ПК и микроконтроллеров осуществляется с помощью преобразователей интерфейса USB-UART Silicon Labs CP2102. В интерфейсной программе отображаются как хроматографические кривые, так и текущие и целевые параметры установки в реальном режиме времени.

Список публикаций:

[1] Царев Н.И., Царев В.И., Катраков И.Б. *Практическая газовая хроматография: Учебно-методическое пособие для студентов химического факультета по спецкурсу «Газохроматографические методы анализа».* — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2000. – 156 с.

Радиоэлектронная разведка в перехвате коммерческой информации.

Современные реалии

Полянский Дмитрий Александрович

Дальневосточный федеральный университет

rambo192@mail.ru

В настоящее время большинство офисов мелкого и среднего бизнеса, а так же филиалов крупных компаний расположены либо на первых этажах жилых зданий, либо в бизнес-центрах, следствием чего является ограниченный размер контролируемой зоны, что делает более уязвимой информацию, обрабатываемую на компьютерах в данных офисах. Это усугубляется тем что сотрудники отделов информационной безопасности сводят всё внимание к борьбе с сетевыми угрозами, упуская из внимания такой технический канал утечки информации как побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН), в англоязычной литературе -

«TEMPEST». Один из самых опасных видов ПЭМИН – это излучение кабелей видеointерфейсов, так как по ним передается не кодируемая информация для отображения на устройствах вывода, и они работают, по сути, как слабые передающие антенны. Перехват по каналу ПЭМИН изображения мониторов не является чем то новым, он был осуществлён впервые в середине 80-х и известен с тех пор как «перехват Ван Эйка», но опасность его для коммерческой информации на сегодня в РФ всё ещё недооценена. Целью данной работы было исследовать различные видеointерфейсы на предмет интенсивности их ПЭМИН и оценка возможности перехвата и восстановления изображения.

В работе исследовались ПЭМИН кабелей VGA, DVI, HDMI, DP, а так же ПЭМИН видеointерфейсов нескольких ноутбуков. Так же была исследованы возможности обнаружения фактов несанкционированной установки в автомобиле GPS-трекеров с автономным питанием и питанием от бортовой сети.

Из ноутбуков в работе исследовались 3 модели: Samsung N220, HP 250 G1 (H6Q66EA), Lenovo IdeaPad S340-15 AMD. Из оборудования обнаружения и перехвата сигнала применялись спектральный коррелятор Oscope-5000, USB тюнер Astrometa, логопериодическая активная антенна Zenit-14AF. Так же использовалась программное обеспечение TempestSDR. Были обнаружены информационные сигналы на следующих частотах: 237,195 МГц (Samsung), 240,010 МГц (HP), 216,910 МГц (Lenovo). Дальность уверенного приёма сигнала составляла в зависимости от модели ноутбука 1 – 1,2 метра (Samsung), 0,5-0,7 (HP), 0,3 (Lenovo).

Было проведено аналогичное исследование для интерфейсов VGA, DVI, DP. При исследовании VGA для разрешения экрана 800x600 была найдена частота в 21.24 МГц, для 1920x1080 - 131.14 МГц. Слабая интенсивность ПЭМИН не позволила перехватить информационную составляющую сигнала с помощью используемого оборудования. При исследовании DVI, информационный сигнал был обнаружен на частотах в 121.015 МГц, для разрешения экрана 800x600, и 146.135 МГц, для 1920x1080. Интенсивность ПЭМИН позволила осуществить перехват информационного сигнала на расстоянии до 0.5 метра. Исследование ПЭМИН интерфейса DisplayPort показало, что за передача информации идет не на конкретных частотах, как у других интерфейсов, а в непрерывном диапазоне частот с 229 МГц до 232 МГц, что крайне затрудняет перехват. Для интерфейса HDMI был обнаружен самый мощный информационный сигнал из всех исследованных, на частоте 445 МГц. Интенсивность уровня ПЭМИН ожидаемо изменялась с увеличением длины кабеля, и у 10-метрового была в полтора раза выше чем у 3-метрового. Уверенный приём сигнала был на расстоянии до 7 метров (3-метровый кабель), либо до 8,5 метра (10-метровый). На основе проведенных исследований был сделан вывод что подключение по HDMI крайне нежелательно использовать для подключения мониторов не компьютеров, на которых обрабатывается информация, представляющая коммерческую тайну, в условиях ограниченной контролируемой зоны.

Отдельно стоит отметить результат, полученный при исследовании автомобильных GPS-трекеров. С использованием спектрального коррелятора проводилась проверка частот, на которых идет излучение, и определялся его максимум. Максимумов излучения на ожидаемых штатных частотах работы GPS и GSM не было обнаружено. Зато при работе трекера были обнаружены максимумы на частотах 1538.18 МГц, 1542,18 МГц, 1545,18 МГц, интенсивность которых была максимальной на расстоянии метра от трекера, спадала на 50% на расстоянии 1,5 метра, и спадала до уровня фона на расстоянии 2 м. Обнаруженное излучение может рассматриваться как существенный деконспиративный признак при поиске негласно установленных систем слежения.

Разработка численных алгоритмов обработки данных скважинной телеметрии в задачах интерпретации гидродинамических исследований скважин

Сахибгареев Эмиль Эльвирович

Башкирский государственный университет

Иващенко Дмитрий Сергеевич

dfdslotus@gmail.com

На сегодняшний день фонд скважин на месторождениях ПАО «НК «Роснефть» широко оснащен высокоточными термоманометрическими системами (ТМС, ВТМС) – погружными датчиками давления и температуры, устанавливаемыми на приеме электроцентробежного насоса (УЭЦН). Использование систем скважинной телеметрии позволяет не только осуществлять непрерывный мониторинг работы скважин, но и получать более точную оценку забойного давления по сравнению с замерами с помощью устьевых манометров и уровнемеров.

Сигнал, регистрируемый погружным датчиком, несет полезную информацию о параметрах пласта и призабойной зоны, что способствует развитию методов интерпретации динамических данных эксплуатации

скважин на основе показаний ТМС – анализа добычи и давления (АДД) [1], [5]. Качество сигнала определяется технологическими особенностями эксплуатации датчиков (рис.1), а объем данных на выходе ТМС зависит от настройки дискретности замеров и может достигать нескольких миллионов точек в год. В таких условиях интерпретация данных невозможна без их предварительной обработки.

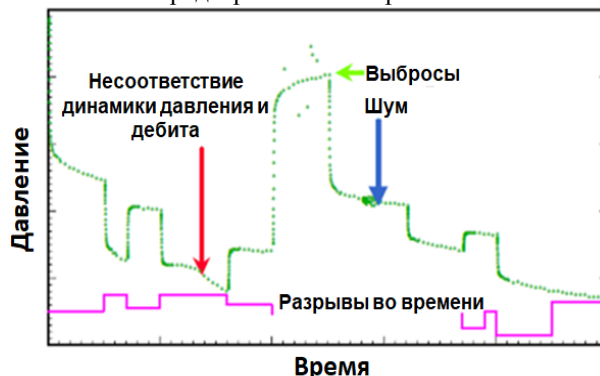


рис.1. Примеры проблем с данными

В данной работе реализованы алгоритмы обработки данных ТМС, заключающиеся в удалении выбросов – точек, лежащих вне основного тренда [1] (рис. 2), сглаживании зашумленных данных посредством вейвлет-преобразования I (дискретное вейвлет-преобразование, ДВП) и II (на основе лифтинг-схемы, multiscale local polynomial transform, MLPT) поколений [4], [6] (рис.3), а также редукции точек (уменьшения их количества с сохранением основного тренда) [5]. Перечисленные алгоритмы подготавливают данные гидродинамических исследований скважин (ГДИС) для их дальнейшего анализа: построение логарифмической производной Бурде [2], выделение границ информативных интервалов давления [3], сопоставление режимов дебита и давления.

Программная реализация алгоритмов выполнена на языке программирования C++ в рамках разработки программного обеспечения для интерпретации гидродинамических исследований скважин в ООО «РН-БашНИПНефть».

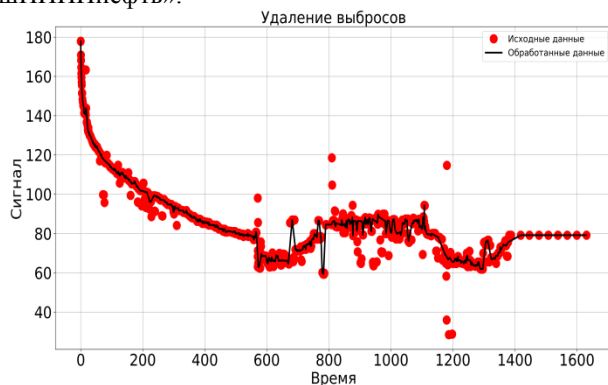


рис.2. Удаление выбросов

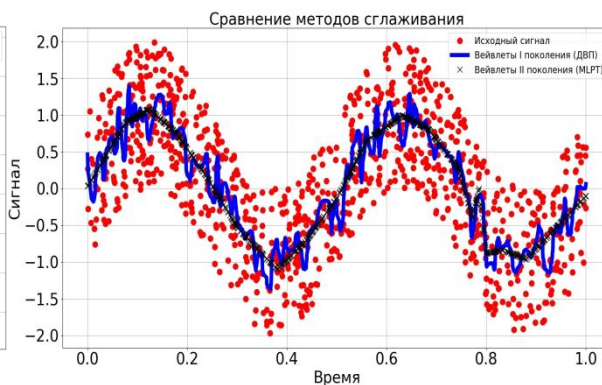


рис.3. Сравнение сглаживания сигнала

Список публикаций:

- [1] Athichanagorn S., Horne R.N., Kikani J. Processing and Interpretation of Long-term Data from Permanent Downhole Pressure Gauges. // SPE-56419-MS. 1999. Vol 4. P. 16;
- [2] Bourdet D., Ayoub J.A., Pirard Y.M. Use of Pressure Derivative in Well-Test Interpretation. // SPE-12777-PA. 1989. Pp. 293-302;
- [3] Houze O., Allain O., Josso B. New Methods Enhance the Processing of Permanent Gauge Data // SPE-139216. 2011. P. 12;
- [4] Jansen M., Oonincx P. Second generation wavelets and applications. 2004. P. 142;
- [5] Байков В.А., Иващенко Д.С., Ямалов И.Р. Анализ данных ГДИС с применением методов сглаживания и редукции // Труды VIII международного технологического симпозиума «Передовые технологии разработки, повышения нефтегазоотдачи месторождений и исследования скважин (отечественный и мировой опыт)». 2013 г. С. 52-60;
- [6] Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. 2005. С. 338.

Программно-аппаратная система диагностики отложений внутри вихревой камеры

Семенов Дмитрий Олегович

Новосибирский государственный университет

Двойнишников Сергей Владимирович, д.т.н.

SeemDima@gmail.com

Вихревые камеры используются во многих энергетических системах, углеводородных топках и технологических печах. Исследование аэродинамических процессов внутри вихревых камер является актуальной задачей. Эксперименты на таких установках обычно сопровождаются сложными условиями работы внутри самой камеры. Высокая температура внутри камеры помимо перегрева оптических и электронных компонентов систем диагностики, приводит к интенсивному тепловому излучению от поверхности вихревой камеры в видимом спектре, что затрудняет использование систем видеонаблюдения. Наличие сильно загрязняющих оптические поверхности отложений в исследуемом объеме также накладывает повышенные требования к системам диагностики отложений внутри вихревых камер.

В ИТ СО РАН разрабатывается технология визуализации отложений внутри вихревой камеры, предназначенная для работы при высоких температурах до 1200 °С, а также в среде быстрого загрязнения поверхностей отложениями, использующимися в процессе эксперимента веществами. Конструкция данной системы обеспечивает охлаждение корпуса, наблюдение через отверстие малого диаметра и освещение внутренней полости вихревой камеры. Также осуществляется контроль состояния системы и защита от перегрева.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для системы диагностики отложений внутри вихревой камеры. В рамках работы необходимо разработать программу микроконтроллера аппаратной части программного комплекса системы визуализации и создать программное обеспечение на персональном компьютере для удаленного наблюдения. Микроконтроллер должен уметь принимать и передавать данные, управлять затвором камеры и осуществлять включение осветителей по алгоритмам, зависящим от команд, поступающих с компьютера. Также необходимо реализовать опрос датчиков температуры и, в случае превышения критических значений, сигнализировать об этом оператору на компьютере.

Конструкция разработанной системы визуализации состоит из охлаждаемого проточной водой корпуса цилиндрической формы с поворотной “головой”, позволяющей осматривать не только дно, но и боковые стенки исследуемой камеры. Корпус на дне имеет отверстие диаметром 1мм, через которое ведется наблюдение с помощью видеокamеры DMM 25GP031-ML со сложным оптическим объективом с сильными оптическими aberrациями. Также на дне установлено охлаждаемый водой иллюминатор, за которым установлен осветитель для подсветки полости камеры. Осветитель защищен охлаждаемым теплофильтром, существенно снижающий поток теплового излучения на осветитель. Для контроля температуры на камере и на осветителе установлены датчики температуры. Изображение с камеры наблюдается на персональном компьютере, куда видеопоток передается по сети Ethernet. Управление аппаратной частью системы визуализации осуществляется с помощью программируемого микроконтроллера Iskra JS.

Разработано программное обеспечение микроконтроллера Iskra JS на базе 32-битного микроконтроллера ARM Cortex-M4. Реализовано несколько режимов работы аппаратной части системы визуализации: остановка видео, начало записи и загрузка новых параметров кадра изображения. С помощью микроконтроллера осуществляется управление затвором камеры, включением и выключением осветителей и опрос датчиков температуры ds18b20 по протоколу MODBUS. Учтены все необходимые задержки драйверов питания осветителей на создание синхроимпульса перед началом кадра видеокamеры. Связь с компьютером реализована с помощью платы расширения Ethernet Shield, позволяющая работать в локальных сетях для приёма и передачи данных по сети Ethernet. Создано приложение на стороне ПК, визуализирующее в реальном времени изображение с камеры. Пользовательский интерфейс открывает доступ к изменению настроек кадра камеры, периода опроса датчиков температуры, частоты съемки кадров и включению осветителя. Пользователю демонстрируется текущее состояние температур. Обмен данными между компьютером и микроконтроллером осуществляется по созданному протоколу связи на основе TCP-IP.

В результате искажений на оптике объектива камеры, изображение имеет сильную “бочкообразную” дисторсию. Для исправления этого эффекта было разработано отдельное приложение для получения коэффициентов исправления оптической aberrации. В основном приложении можно включить исправление дисторсии. Также для лучшей оценки загрязненности вихревой камеры был реализован алгоритм вычитания фона. Для этого делается два кадра на видеокamере, с осветителем и без, и вычитаются друг из друга. Это позволяет отделить тепловую засветку на камере и наблюдать только области света и тени для оценки геометрии отложений.

Разработана программно-аппаратная система диагностики отложений внутри вихревой камеры. Создано программное обеспечение для микроконтроллера, позволяющее управлять всей аппаратной частью системы, и приложение для компьютера, демонстрирующее пользователю изображение внутренней полости вихревой камеры. Реализованы алгоритмы исправления дисторсии и вычитания фона для более качественной и информативной визуализации отложений внутри вихревой камеры. Разработанная программно-аппаратная система диагностики отложений внутри вихревой камеры успешно прошла натурные испытания для визуализации отложений внутри вихревой камеры с температурой 1180 °С градусов. Получены изображения отложений на нижней стенке камеры и подтверждена работоспособность системы диагностики.

Применение методов MLR и CRMIP для анализа взаимовлияния скважин

Фахреева Регина Рафисовна^{1,2}

Бухмастова Светлана Васильевна¹

¹ООО «РН-БашНИПИнефть», ²Башкирский государственный университет

Путюк Юлия Айратовна^{1,2}

FakhreevaRR@bnipi.rosneft.ru

В настоящее время ряд ключевых производственных задач строится на информации о межскважинном пространстве, восстановленной в результате использования интерпретационных моделей. Таким образом, автоматизация рутинных работ подготовки данных и их интерпретации является актуальной задачей. Целью работы является определение коэффициентов взаимовлияния скважин на основе взаимного учета данных по давлению и дебита группы скважин. В связи с этим разработаны программные модули на основе методов Multivariate Linear Regression (MLR) [1] и Capacitance-Resistance Model Injector-Producer (CRMIP) [2].

Метод MLR основан на анализе давлений в скважинах с использованием уравнения многопараметрической линейной регрессии, где на выходе определяются весовые коэффициенты:

$$\hat{p}_j(t) = \beta_{0j} + \sum_{i=1}^{N_i} \beta_{ij} p_i(t), \quad (1)$$

где \hat{p}_j – давление на j -ой реагирующей скважине, p_i – давление на i -ой возмущающей скважине, β_{ij} – весовые коэффициенты, β_{0j} – свободный член, t – время, N_i – число возмущающих скважин.

Для решения задачи методом CRMIP требуется история по закачке, добыче жидкости и давлению на забое добывающих скважин, при этом учитывается уравнение материального баланса:

$$\tau_{ij} \frac{dq_{ij}(t)}{dt} + q_{ij}(t) = f_{ij} w_i(t) - \tau_{ij} J_{ij} \frac{dp_j(t)}{dt}, \quad (2)$$

где $w_i(t)$ – расход i -ой возмущающей скважины; $p_j(t)$ – давление на забое j -ой реагирующей скважины; $q_{ij}(t)$ – вклад в дебит j -ой реагирующей скважины от i -ой возмущающей. На основе этих данных и решения задачи оптимизации определяются коэффициенты взаимовлияния скважин f , временной параметр τ и коэффициенты продуктивности J .

Модули протестированы на данных гидродинамической модели (ГДМ) реального месторождения. Рассматривались две возмущающие (нагнетательные) скважины (I_1 , I_2) и одна реагирующая (добывающая) скважина (P_1). На рис. 2 представлено сравнение давления и дебита, полученных на основе данных ГДМ и программными модулями MLR и CRMIP соответственно. Из графиков видно хорошее согласование численных данных с исходными. В табл. 1 представлены коэффициенты взаимовлияния β и f , вычисленные методами MLR и CRMIP соответственно. Оба метода определили, что взаимовлияние между второй возмущающей и реагирующей скважинами лучше, поскольку коэффициенты, отвечающие за их влияние, больше. Данный вывод подтверждается картой проницаемости, представленной на рис.1, откуда видно, что проницаемость между данными скважинами выше.

Таким образом, разработаны программные модули для определения взаимовлияния скважин. Проведена апробация модулей на синтетических данных. Анализ результатов показал, что все коэффициенты взаимовлияния определены корректно. Использование реализованных модулей позволяет автоматизировать процесс анализа данных эксплуатации скважин и контролировать процесс выработки месторождения.

Таблица 1. Значения коэффициентов взаимовлияния

Скважины	β_{ij}	f_{ij}
$I_1 \times P_1$	0.169	0.103
$I_2 \times P_1$	0.811	0.980

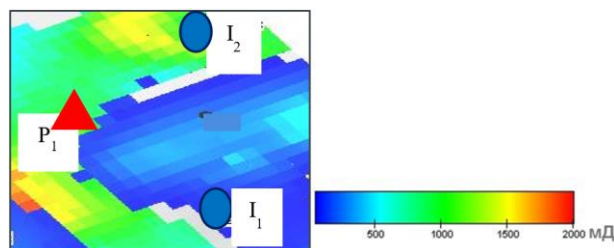
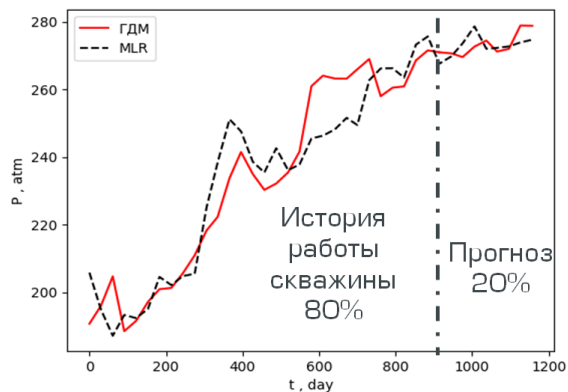
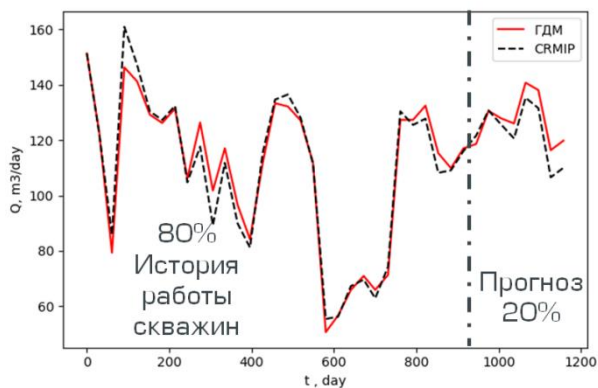


рис.1. Карта проницаемости



а) Сравнение динамики давления на реагирующей скважине P_1



б) Сравнение динамики дебита на реагирующей скважине P_1

рис.2. Результаты тестирования модулей MLR (а) и CRMIP (б) на синтетических данных: сплошная кривая - ГДМ, пунктирная кривая - программные модули.

Список публикаций:

- [1] Dinh A. and Tiab D., 2008. *Inferring interwell connectivity from well bottomhole-pressure fluctuations in waterfloods*. SPE Reservoir Evaluation and Engineering: 847-881, SPE 106881.
 [2] Holanda, R. W. d., 2015. *Capacitance Resistance Model in a Control Systems Framework: a Tool for Describing and Controlling Waterflooding Reservoirs*. Master's thesis, Texas A&M University, College Station, Texas, USA: 156.

Исследование контактной разности потенциалов и создание установки для его измерения

Ханнанов Асхат Рамилевич

Набиуллин Ильсур Рашитович, Шаязданов Айгиз Рашитович

Башикирский государственный педагогический университет им.М. Акмуллы

Набиуллин Ильсур Рашитович, к.ф.-м.н.

askhat.hannanov@gmail.com

Теория разности контактных потенциалов имеет значительный интерес и множество применений во многих научных областях, таких как биофизика, биохимия, электрохимия, к примеру, в машиностроении это учитывается в электровакуумных установках, в частности в высоковакуумных установках, а также в твердотельных выпрямителях и детекторах кристаллов. Имеет также широкое применение в физике твердого тела и при изучении физико-химических свойств различных металлов.

В настоящее время существует множество различных методов измерения контактной разности потенциалов. Они отличаются не только методами воздействия на исследуемые образцы, но и условиями, в которых эти измерения проводятся. Все существующие методы обладают своими преимуществами и недостатками, которые необходимо учитывать при проведении измерений. Некоторые пригодны для измерений только в вакууме, другие требуют тщательного экранирования, для третьих необходимо применять ультрафиолетовые лучи и радиоактивные элементы, а четвертые можно применить лишь на малых областях. Как следствие, детальный обзор на существующие методики измерения имеет практическую важность.

Целью работы было исследование КРП и создание устройства для его измерения, для этого был выбран метод Томсона-Зисмана, основанный в изменении емкости конденсатора, образованного исследуемыми образцами, с последующей компенсацией измеряемой контактной разности потенциалов. В результате

изучения различных методов и схем была получена следующая рабочая схема для измерения КРП, полная схема которой показана на рисунке 1.

Она состоит из преобразователя тока в напряжение, фильтра верхних частот, неинвертирующего усилителя, фильтра нижних частот и делителя напряжения для изменения V_k . Делитель напряжения позволяет выбирать напряжения V_k обоих знаков. Операционный усилитель в преобразователе тока в напряжение должен иметь входное сопротивление, намного превышающее выбранное значение R (в этом случае $20 \text{ M}\Omega$); в противном случае, значительная потеря сигнала будет на входе преобразователя тока в напряжение. Фильтр верхних частот (75 Гц) отделяет постоянное напряжение V_k от сигнала переменного тока, который дополнительно усиливается. Наконец, фильтр нижних частот (2 кГц) уменьшает высокочастотный шум до того, как сигнал отобразится на осциллографе.

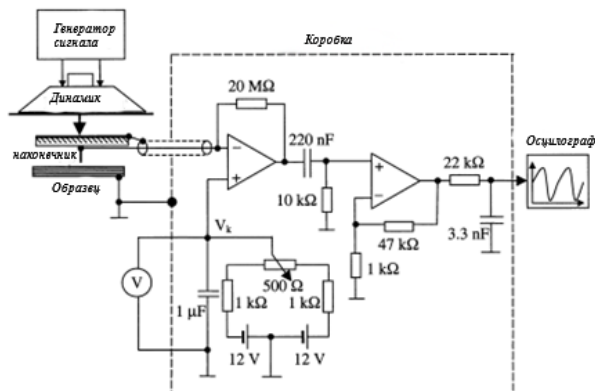


рис. 1. Электронная схема экспериментальной установки измерения КРП.

Выбранный метод представляет собой следующее: имеются наконечник и пластина из разнородных металлов, которые взаимодействуя образуют конденсатор, от источника питания на пластины подается разность потенциалов. Далее, с помощью вибраций, происходит процесс изменения емкости конденсатора, что способствует возникновению электрического тока в цепи, сила которого считается по формуле (1) и равна:

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{Udc}{dt}, \quad (1)$$

Чтобы наблюдать переменный ток, при помощи какого-либо измерительного прибора, его необходимо усилить при помощи усилителя с высоким входным сопротивлением. Теперь для измерения контактной разности потенциалов необходимо подать такое напряжение, при котором перестанет протекать ток в цепи, что происходит, когда $U = -U_k$.

Выходной сигнал может быть обработан двумя способами. Во-первых, напряжение на конденсаторе может быть измерено повторителем напряжения. Это решение очень близко к историческому расположению Зисмана. Во-вторых, ток может быть измерен в цепи, состоящей из конденсатора и источника переменного напряжения, преобразователем тока в напряжение. Этот преобразователь ведет себя как идеальный амперметр, устраняя влияние сопротивления в источнике переменного напряжения. Таким образом, сравнивая два способа, измерение тока приводит к гораздо более простой зависимости между $U_a(t)$ и зависящей от времени емкостью $C(t)$ конденсатора. Рассчитать это можно по формуле (2) и в итоге отношение гласит:

$$U_a(t) = (V_{крп} - V_k) * R * C(t) + V_k, \quad (2)$$

где переменная часть $U_a(t)$ является выходным сигналом, который пропорционален разности $V_{крп}$ и V_k , сопротивлению R преобразователя ток-напряжение и производной по времени от емкости.

Список публикаций:

- [1] Мамонова, М.В. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы: монография [Текст] / М.В. Мамонова, В.В. Прудников, И.А. Прудникова. – Москва: Физматлит, 2011. – 400 с
- [2] Царев, Б.М. Контактная разность потенциалов и ее влияние на работу электровакуумных приборов [Текст] / Б.М. Царев. – 2-е перераб. и доп. изд. – М.: Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1955. – 280с.
- [3] Galembeck, A. Scanning electric potential microscopy imaging of polymers: electrical charge distribution in dielectrics. *Polymer*, 2001, vol. 42, pp. 4845-4851.
- [4] Klein, U. Contact potential differences measurement: Short history and experimental setup for classroom demonstration. *IEEE Transactions on Education*, 2003, no. 46(3), pp. 338-334.
- [5] Zharin, A.L. Contact potential difference techniques as probing tools in tribology and surface mapping. *Scanning probe microscopy in nanoscience and nanotechnology*, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010, pp. 687-720).

Особенности измерения магнитных свойств быстрозакалённых магнитомягких сплавов в виде лент

Шелестова Анжелика Александровна

Степанова Елена Александровна, Феценко Анастасия Александровна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Степанова Елена Александровна

shelestova2001@mail.ru

Магнитомягкие сплавы – это ферромагнитные сплавы, характеризующиеся узкой петлёй гистерезиса и малой коэрцитивной силой. Аморфные материалы были открыты более сорока лет назад, но исследования их структурных, магнитных и кинетических свойств не ослабевают и по настоящее время. Особый интерес представляют быстрозакалённые магнитомягкие сплавы, что объясняется возможностью широкого использования аморфных материалов в современной микроэлектронике при относительно низкой цене их изготовления. Эти материалы применяются в тех случаях, когда требуется наибольшая концентрация магнитного потока при минимальных размерах технических устройств [1].

В соответствии с ГОСТами на методики измерения магнитных свойств магнитомягких сплавов исследуемые образцы должны иметь замкнутую форму: в виде торов, листов или полос для аппарата Эпштейна [2, 3, 4]. Такие методики реализованы в автоматизированных магнитоизмерительных установках ММКС-100-05 и УКМ-005-100 для измерения квазистатических и динамических магнитных свойств, соответственно. Однако, для научных исследований, особенно магнитных свойств лент быстрозакалённых магнитомягких сплавов, иногда нет возможности использовать аппарат Эпштейна или изготавливать образцы в виде торов вследствие малого количества полученного материала. Поэтому в данной работе была поставлена задача установить возможность проведения измерений на магнитоизмерительных установках ММКС-100-05 и УКМ-005-100 образцов быстрозакалённых магнитомягких сплавов в форме лент размерами 120x10x0,025 мм при помощи пермеаметров.

В данной работе был использован быстрозакалённый магнитомягкий сплав 71КНСР ($\text{Co}_{72}\text{Ni}_{12,2}\text{Fe}_{5,7}\text{Si}_{6,5}\text{B}_{3,6}$) производства Ашинского металлургического завода. Индукция насыщения для данного сплава составляет 0,58 Тл, коэрцитивная сила – 0,8 А/м, температура Кюри – 225 °С, плотность – 7,7 г/см³, удельное сопротивление 1,35·10⁶ Ом·м. Этот сплав предназначается для работы на высоких (до 200 кГц) частотах, в высокочастотных силовых трансформаторах, магнитных ключах, магнитных экранах, магнитных головках, магнетометрах.

Пермеаметры удобны тем, что допускают быструю смену образца и минимизируют затраты времени на проведение измерений. Образец вкладывается в пермеаметр и замыкается ярмом-рамой, поэтому образуется замкнутая магнитная цепь. Основными частями пермеаметра являются само ярмо, намагничивающая и измерительная катушки. В эксперименте пермеаметры подсоединялись к установкам ММКС-100-05 и УКМП-0,05-100.

ММКС-100-05 была использована для измерений квазистатических петель гистерезиса, основных кривых намагничивания и зависимостей остаточной индукции от максимальной индукции частных петель гистерезиса. Относительная погрешность измерения магнитного потока на диапазоне 10 мкВб составляет не более ±1,0 %. Для работы на установке был проведён расчёт параметров исследуемых образцов: площади поперечного сечения, длины и массы ленты. Ранее [5] для используемых пермеаметров была установлена длина, на которой замыкался магнитный поток. Эту длину можно принять в качестве средней линии тора: таким образом мы заменяем наш образец виртуальным тором. На рис. 1 и 2 показаны результаты измерений исследуемых образцов в форме лент.

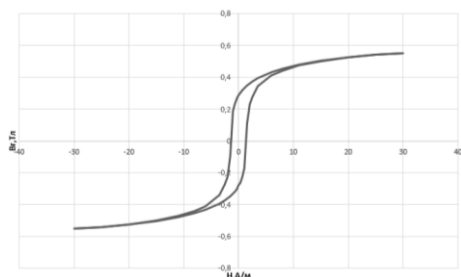


рис.1 Квазистатическая петля гистерезиса ленты исследуемого сплава при значении магнитного поля 30 А/м

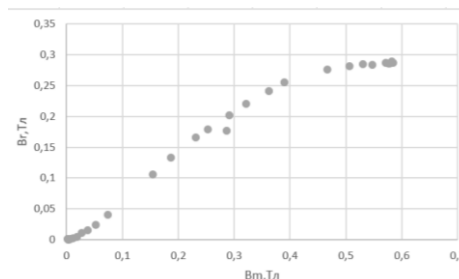


рис.2 График зависимости остаточной индукции от индукции насыщения

УКМП-0,05-100 используется для проведения измерений динамических магнитных характеристик магнитопроводов. Установка обеспечивает определение динамических магнитных характеристик в рабочих

диапазонах частот сигнала намагничивания 0,05...100 кГц. Относительная погрешность измерения напряжения на измерительной обмотке при напряжении от 1 В до 50 В составляет не более $\pm 3\%$. Для пермеаметра, используемого для работы на УКМП-0,05-100, также была установлена длина замыкания магнитной линии. И аналогично случаю с ММКС была проведена виртуальная замена ленты тором. Результаты измерения удельных магнитных потерь в зависимости от индукции и частоты приведены на рис.3.

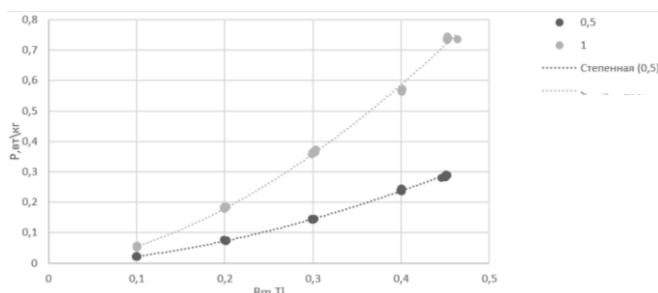


рис. 3 Зависимость удельных магнитных потерь от индукции насыщения для частот $f = 500$ и 1000 Гц.

В результате работы показано, что измерения магнитных свойств быстрозакаленных магнитомягких сплавов в форме лент на автоматизированных магнитоизмерительных установках ММКС-100-05 и УКМП-0,05-100 с использованием пермеаметров возможны.

Список публикаций:

- [1] Мишин Д.Д. *Магнитные материалы*. Издательство: Высшая школа. 1981 год.
- [2] Катаев В. А. *Методы измерений электрических и магнитных свойств функциональных материалов: учебное пособие* В. А. Катаев. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2010.
- [3] ГОСТ 12119.4-98 В39 *Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения удельных магнитных потерь и действующего значения напряженности магнитного поля*. — М.: Изд-во «Стандартов». — 1998
- [4] ГОСТ 12119.5-98 В39 *Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения амплитуд магнитной индукции и напряженности магнитного поля*. — М.: Изд-во «Стандартов». — 1998
- [5] Игнатенкова Л.А. *Исследование метрологических характеристик однополосочного пермеаметра: дипл. работа / УрГУ*. — Екатеринбург, 1993. — 27 с.

19 - Теплофизика и теплотехника. Процессы тепломассобмена.

Валиуллина Вилена Ильшатовна, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Моделирование теплового движения дисперсной системы в замкнутой полости прямоугольного сечения при подогреве нижней грани

Мусин Айрат Ахматович, к.ф.-м.н.

e-mail: vilenches@gmail.com стр. 396

Дмитриев Игорь Олегович, аспирант 3 года обучения
Тюмень, Тюменский государственный университет, физико-технический институт
Анализ технологических показателей разработки месторождения при осуществлении водогазового воздействия на нефтяной пласт в рамках трехфазной фильтрационной модели

Фёдоров Константин Михайлович, д.ф.-м.н.

e-mail: I.O.Dmitriev@utmn.ru стр. 397

Ковальчук Татьяна Николаевна, 4 курс
Тюмень, Тюменский государственный университет, Физико-технический институт
Физико-математическая модель пароциклической обработки с параллельным наклонным смещением фронта прогрева

Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.

e-mail: t.n.kovalchuk@mail.ru стр. 399

Русова Дарья Александровна, аспирант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт

Моделирование древовидных структур на поверхности воды с помощью пакета ANSYS

Мартюшев Леонид Михайлович, д.ф.-м.н.

e-mail: dariarusova@mail.ru стр. 400

Туев Михаил Алексеевич, аспирант 3 года обучения
Киров, Вятский государственный университет, компьютерных и физико-математических наук

Сущность эффекта вихревого энергоразделения

Ворончихин Сергей Геннадьевич, к.т.н.

e-mail: nolinsk94@vandex.ru стр. 402

Юнусов Игорь Олегович, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт естественных наук и математики

Тепломассоперенос на межфазной границе жидкость-газ

Поликарпов Алексей Филиппович, к.ф.-м.н.

e-mail: igor.iunusov@urfu.ru стр. 403

Моделирование теплового движения дисперсной системы в замкнутой полости прямоугольного сечения при подогреве нижней грани

Валиуллина Вилена Ильшатовна

Замула Юрий Сергеевич, Мусин Айрат Ахматович, Тухбатова Эльмира Равиловна

Башикирский государственный университет

Замула Юрий Сергеевич, Мусин Айрат Ахматович

vilenches@gmail.com

Одним из наиболее распространенных явлений в природе и промышленности является естественная конвекция, например, при химических реакциях в некоторых растворах [1]. В настоящее время существует большое количество исследований [2,3], направленных на изучение влияния различных физических полей на процесс расслоения дисперсных систем, вместе с тем, некоторые важные процессы, такие как образование и развитие конвективных течений в дисперсной системе при тепловом воздействии, остаются недостаточно изученными.

Целью данной работы является изучение динамики движения диспергированных частиц, взвешенных в вязкой жидкости, в вертикальной ячейке методами экспериментального и численного моделирования.

Экспериментальная установка состоит из ячейки, выполненной из монолитного поликарбоната, с возможностью подогрева граней. В верхней и нижней частях ячейки расположены цилиндрические медные трубки. Температура в них регулируется за счет двух термостатов LAUDA Alfa A6 и LOIP LT-117b, работающих в диапазоне температур от 20 до 100°C (рис. 1). В качестве дисперсной среды использовалась суспензия концентрацией 1,5% об., состоящая из частиц, взвешенных в глицерине. Вязкость суспензии составила 1,696 Па·с при 20°C.

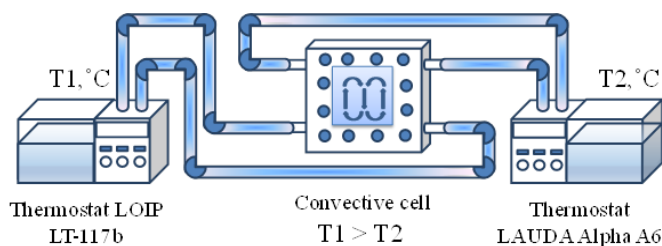


рис.1. Схема экспериментальной установки

Было проведено экспериментальное моделирование динамики движения дисперсной системы в условиях тепловой конвекции. Во время исследования был использован различный вертикальный градиент температур. На верхней грани ячейки поддерживалась постоянная температура 20°C, а на нижней грани – температура изменялась от 30 до 70°C с шагом в 10°C. Результаты моделирования, полученные при перепаде температур 20°C, представлены на рис.2.

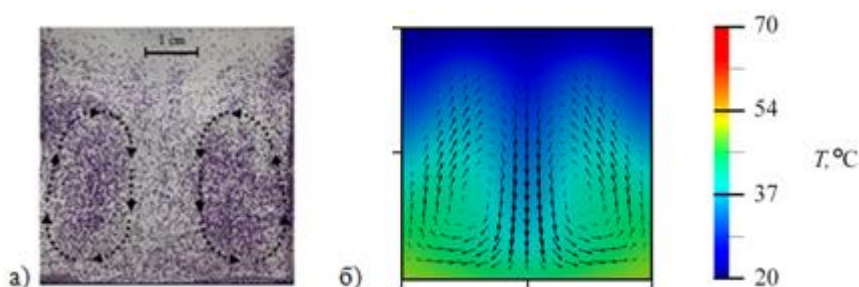


рис.2. Результаты моделирования динамики движения частиц в конвективных потоках при температурах на нижней грани – 40°C, верхней – 20°C: а) эксперимент; б) численный расчет

Из рис.2а видно, что образуются два симметричных вихря, направленных внутрь ячейки, основная масса частиц сконцентрирована в ядрах потоков. Стрелки указывают на направление скорости. С учетом экспериментальных данных была построена численная модель (рис.2б), наглядно показано распределение тепла в ячейке: холодные потоки опускаются вниз по центру ячейки, горячие – поднимаются вверх в противоположном направлении относительно друг друга, образуя симметричные вихри. Картины течений хорошо согласуются с результатами эксперимента.

Таким образом, было выявлено, что характер расслоения дисперсной системы зависит от вида конвективных течений, возникающих в жидкости при изменении величины градиента температур.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00298). Все исследования проводились на базе центра “Микро- и наномасштабная динамика дисперсных систем” Башкирского государственного университета.

Список публикаций:

[1] Костарев К. Г., Шмыров А. В. Конвекция жидкого мономера при фотополимеризации гелей в центробежном поле // Конвективные течения. – 2005. – №. 2.

[2] Winkel, F., Messlinger, S., Schopf, W., Rehberg, I., Siebenburger, M., and Ballauff, M., Thermal convection in a thermosensitive colloidal suspension, *New J. Phys.*, vol. 12, 053003, 2010

[3] Тухбатова Э.Р., Мусин А.А., Юлмухаметова Р.Р., Ковалева Л.А. Исследование влияния тепловой конвекции на процесс разрушения водонефтяной эмульсии при СВЧ воздействии // Вестник Башкирского университета // 2017, Т.22, №4, С.930–934.

Анализ технологических показателей разработки месторождения при осуществлении водогазового воздействия на нефтяной пласт в рамках трехфазной фильтрационной модели

Дмитриев Игорь Олегович

Шевелёв Александр Павлович

Тюменский государственный университет

Фёдоров Константин Михайлович

I.O.Dmitriev@utmn.ru

Применяемые в настоящее время технологии увеличения нефтеотдачи включают в себя множество различных методик, ориентированных на повышение эффективности извлечения нефти. Одной из таких методик является воздействие на пласт путём одновременной или попеременной (оторочечной) закачки воды и природного газа. Для достижения наилучших показателей эффективности требуется проведение комплексных исследований, определяющих оптимальный состав применяемого газа, технику его закачки, а также достижимость смешиваемости газа с нефтью. Согласно многочисленным экспериментальным и численным исследованиям, максимальный контроль подвижности, а следовательно, и равномерность фронта вытеснения достигается в широком диапазоне газодляных соотношений [1].

Одним из важнейших этапов рабочего процесса для исследования массопереноса при трёхфазной фильтрации в коллекторе является определение и наглядное представление взаимосвязи между содержанием нефтяной, водной и газовой фаз и фазовыми проницаемостями коллектора. В статье использованы треугольные диаграммы насыщенности, на которых отображены линии, соответствующие определённым значениям относительной фазовой проницаемости. Сложность данного этапа исследования представляет трудоёмкость и дороговизна экспериментального определения ОФП в трёх фазах, вследствие чего было предложено несколько эмпирических моделей построения моделей трёхфазных ОФП (далее 3-ОФП) по имеющимся экспериментальным данным о двухфазных ОФП [2]. Однако, в зависимости от условий смачиваемости коллектора, модельные 3-ОФП нередко дают различные результаты для процессов дренажа и пропитывания, что приводит к неточности в прогнозировании технологических параметров ВГВ. Кроме того, часто применяемая на практике концепция представляющая изопермы на треугольной диаграмме прямыми линиями, не является однозначно подходящей для процесса смешивающегося вытеснения [3].

Для увеличения достоверности результатов моделирования 3-ОФП в работе, была написана программа на языке Delphi, обеспечивающая построение изоперм в соответствии с двумя моделями Стоуна. Методика применения моделей Стоуна и их сравнение с другими моделями 3-ОФП ранее было подробно изложено [4]. Для двухфазной проницаемости были приняты следующие параметры: остаточная водонасыщенность – 0,22, остаточная нефтенасыщенность при вытеснении водой – 0,26, газом – 0,26, остаточная газонасыщенность отсутствует. Смачивающей фазой для коллектора является вода, несмачивающей – газ, нефтяная фаза принята в качестве промежуточной. На рис. 1 и рис. 2 представлены изопермы для нефти согласно модели Stone 1 (красный цвет) и модели Stone (коричневый цвет). Изопермы соответствуют слева направо значениям ОФП нефти равным 0,6, 0,4, 0,2 и 0,02. Синий треугольник условно ограничивает исследуемую зону линиями остаточной нефтенасыщенности (левая сторона), водонасыщенности (правая сторона) и газонасыщенности (нижняя сторона). Как видно из рисунков, прогноз для 3-ОФП достаточно точно совпадает в областях порядка 0,1 и значительно отличается (более 30%) в области с проницаемостью порядка 0,01, соответствующей области с низким содержанием нефти. Данная зона была определена как зона сниженной точности и показана оранжевым цветом на рис.3.

Применение треугольных диаграмм позволяет наглядно представить тип смешиваемости, наблюдаемой в пласте и соответствующей межфазные переходы, которые могут наблюдаться при изменении содержания фаз,

вследствие закачки воды и газа. На рис.4 представлены пути-траектории, соответствующие различным техникам вытеснения, голубые точки соответствуют закачке сухого газа, красные – газа, обогащённого промежуточными компонентами, зелёные – заводнению и фиолетовые – совместной закачке газа и воды. Как видно из рисунка, влияние зоны пониженной точности на итоговый прогноз может различаться для различных методов вытеснения, в зависимости от длины отрезка траектории, пересекающего зону неопределённости.

На данный момент, в распоряжении авторов имеется инструмент, позволяющий наглядно смоделировать поведение фаз при трёхфазной фильтрации как в гидрофильном, так и гидрофобном коллекторе. Для гидрофобного коллектора смачивающей фазой является нефть, промежуточной – вода, а газ остаётся несмачивающей. Соответственно, треугольные диаграммы будут отображать 3-ОФП водной фазы, а зона неопределённости будет расположена вдоль левой стороны треугольника остаточных насыщенных. В дальнейшем планируется представление, сравнение и анализ результатов моделирования для коллекторов с обоими типами смачиваемости на примере реального месторождения.

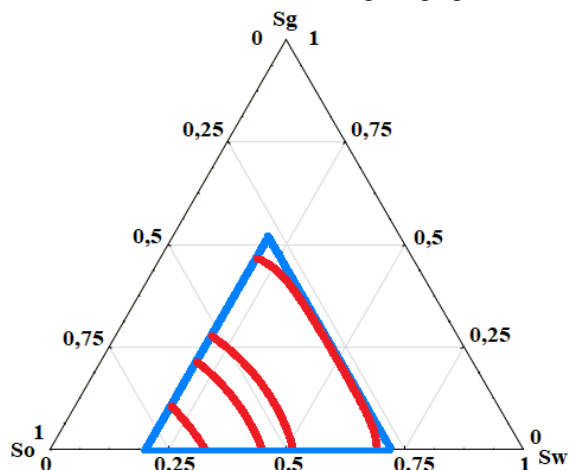


рис. 1. Изопермы, согласно модели Stone 1 в треугольнике остаточных насыщенных

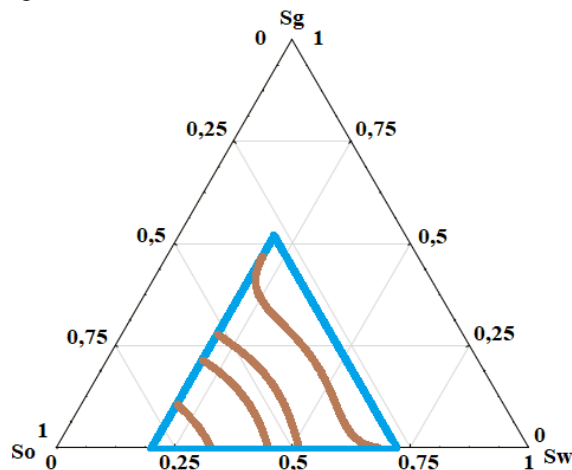


рис. 2. Изопермы, согласно модели Stone 2 в треугольнике остаточных насыщенных

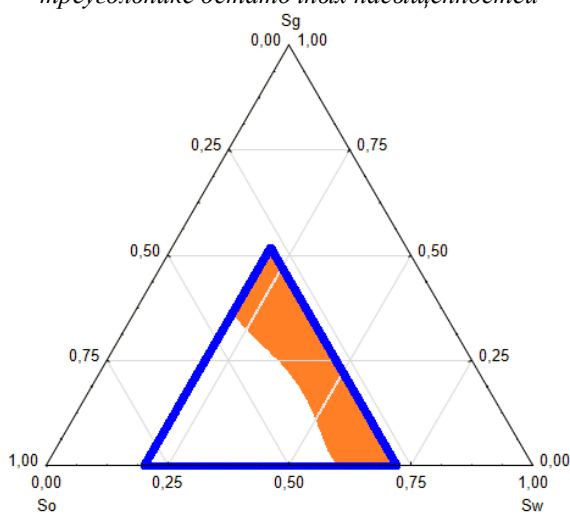


рис. 3. Зона пониженной точности данных

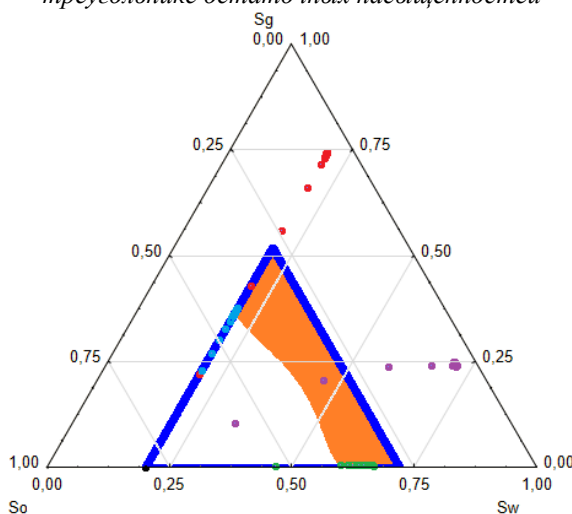


рис. 4. Пути-траектории, соответствующие различным технологиям вытеснения нефти

Список публикаций:

- [1] Дроздов А.Н., Телков В.П., Егоров Ю.А., Вербицкий В.С., Деньгаев А.В., Хабибуллин А.Р., Матвеев Г.Н., Чабина Т.В. Исследование эффективности вытеснения высоковязкой нефти водогазовыми смесями. *Нефт.хозяйство*, 1, 2007, с.58-59.
- [2] Fayers F.J., Matthews J.D. Evaluation of Normalized Stone's Methods for Estimating Three-Phase Relative Permeability. *SPE Journal*, Apr. 1984, p.224-232.
- [3] Janssen M.T.G., Azimi F., Zitha, P.L.J. Immiscible Nitrogen Flooding in Bentheimer Sandstones: Comparing Gas Injection Schemes for Enhanced Oil Recovery. *SPE Conference Paper 190285-MS*, 2018.
- [4] Blunt M.J. An Empirical Model for Three-Phase Relative Permeability. *SPE-56474-MS*, 1999.

Физико-математическая модель пароциклической обработки с параллельным наклонным смещением фронта прогрева

Ковальчук Татьяна Николаевна

Гильманов Александр Янович

Тюменский государственный университет

Шевелев Александр Павлович

t.n.kovalchuk@mail.ru

На данный момент из-за падения темпов добычи углеводородов возникает потребность в совершенствовании методов нефтедобычи. В последнее десятилетие разработка пластов трудноизвлекаемой нефти имела значительный успех, однако проблемы остаются, поскольку скорость потока быстро снижается, при этом коэффициенты извлечения нефти низки. Применение термических методов воздействия на пласты высоковязких нефтей позволяет повысить эффективность разработки.

Построение моделей пластовых процессов в случае пароциклического воздействия на нефтяные пласты – это актуальная задача. Для решения комплекса практических задач имеется необходимость в наличии моделей циклического теплового воздействия на нефтяные пласты. Главным образом на выбор оптимального режима нефтедобычи влияют следующие параметры: протяженность прогреваемой области в пространстве, дебит нефти, интервал времени за который происходит закачка теплоносителя в пласт, а также время паротеплового воздействия. Для определения искомых параметров в настоящее время используются гидродинамические симуляторы или вводятся допущения, которые в значительной степени упрощают моделирование движения теплового фронта и при этом приводят к существенным погрешностям.

Снижение значения вязкости нефти при увеличении температуры оказывает значительное влияние на дебит и коэффициент извлечения нефти. В случае маломощных пластов высоковязкой нефти имеется необходимость в применении именно технологии пароциклического воздействия, поскольку не имеется возможности для бурения нагнетательной скважины.

Распределение пара в пласте является неравномерным и зависит от глубины. Физико-математическая модель пароциклической обработки с параллельным наклонным смещением фронта прогрева основана на определенных предположениях. Имеется отчетливая граница между прогретой и «холодной» нефтью. Граница – прямая линия. В декартовой системе координат при начальных условиях она определяется максимальными мощностью h и радиусом прогрева. Впоследствии граница раздела перемещается параллельно своему начальному положению, область прогретой нефти уменьшается. Равенство тепловых потерь W с закачиваемой теплотой H приводит к выражению:

$$\frac{dW}{dt} = \int_{r_w}^{r_f} \pi r \alpha (T(r) - T_0) dr = \frac{dH}{dt} = Q_3 \rho_s (c_s (T_s - T_0) + l) \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, T_s и T_0 – температуры пара и пласта, Q_3 – дебит закачки пара, ρ_s и c_s – плотность и теплоёмкость пара, l – удельная теплота парообразования, r_w – радиус скважины. Выражение (1) позволяет определить радиус фронта прогрева r_f .

Текущая координата фронта пара r_* определяется из объёмной скорости движения теплового фронта:

$$D_f = \frac{\pi h r_f^2 - \pi x r_*^2}{3t} = \frac{Q_3 K_T}{m} \quad (2)$$

где x – текущая координата вдоль вертикальной оси из-за параллельного смещения, t – текущий момент времени, m – пористость, K_T – отношение теплосодержания нефти R_0 к теплосодержанию породы R_r . Тогда

$$r_*(t) = \sqrt[3]{\left(\pi h r_f^2 - \frac{3t Q R_0}{m R_r} \right) \frac{r_f}{\pi h}} \quad (3)$$

Описание прогретой области посредством предлагаемой конусообразной модели является более точным в сравнении с простейшей цилиндрической моделью.

Теплофизические процессы, учитываемые в пределах представленной выше модели, описываются с помощью законов сохранения. Численные методы позволяют промоделировать вышеуказанный теплофизический процесс при составлении системы состоящей из законов сохранения. Определение протяженности зоны прогретой нефти происходит с учетом расхода и теплосодержания теплоносителя, мощности пласта и тепловых свойств породы. Вывод итогового равенства для дебита осуществляется из

уравнения Дарси. Дебит жидкости в скважину с учетом зонального изменения температуры и вязкости нефти в рамках данной модели будет определяться выражением:

$$Q = \frac{\pi k (p_c - p_w) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r_c}\right)^2}}{\mu \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_*}\right) + \mu_T \left(\frac{1}{r_*} - \frac{1}{r_w}\right)} \quad (4)$$

где μ_T , μ – вязкость нефти при температуре пара T_s и при пластовой температуре, p_c – давление на контуре питания, p_w – давление на забое скважины, k – проницаемость. Это выражение учитывает, что нагретая нефть находится в конусообразной зоне от скважины до координаты r_* , непрогретая – в остальной области фильтрации до радиуса контура питания r_c .

Предложена физико-математическая модель пароциклической обработки с параллельным наклонным смещением фронта прогрева с учетом размеров прогретой зоны. Предложенная методика предоставляет возможность более точным образом предсказать технологические параметры разработки месторождения. Это позволит выбрать более рациональный режим разработки пласта и, следовательно, увеличить коэффициент извлечения нефти.

Зависимость дебита от времени при определенных модельных параметрах будет иметь вид (рис.1), в случае если для моделирования взяты следующие параметры; $\mu = 0,01 \text{ Па}\cdot\text{с}$, $\mu_T = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$, $r_c = 900 \text{ м}$, $r_w = 0,1 \text{ м}$, $Q_s = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$, $\rho_s = 40 \text{ кг/м}^3$, $c_s = 4400 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, $l = 2300000 \text{ Дж/кг}$, $T_0 = 350 \text{ К}$, $T_s = 450 \text{ К}$, $\alpha = 0,5 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $m = 0,3$, $h = 20 \text{ м}$, $p_c = 200 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $p_w = 10 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $\rho_r = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$ – плотности породы и нефти; $c_r = 1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, $c_o = 4500 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ – теплоемкость породы и нефти.

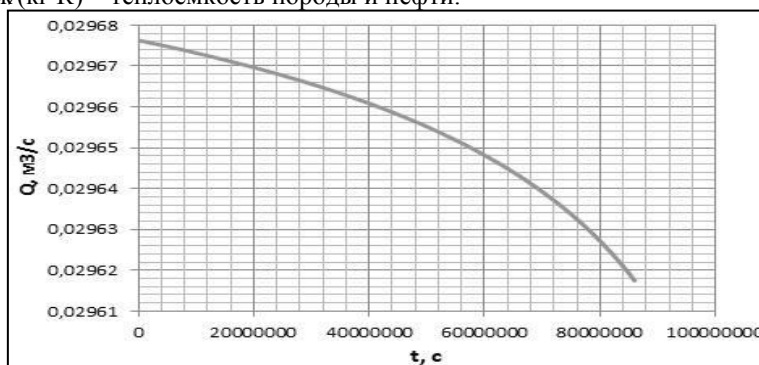


рис.1. Зависимость дебита от времени для разработанной модели

Моделирование древовидных структур на поверхности воды с помощью пакета ANSYS

Русова Дарья Александровна

Мартюшев Леонид Михайлович, Звонарев Константин Валерьевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Мартюшев Леонид Михайлович, д.ф.-м.н.

dariarusova@mail.ru

Ранее в работе [1] было обнаружено на поверхности воды распределение температуры древовидной (фрактальной) формы. Условия эксперимента были следующие. Вода, нагретая до температур 30-40°C, находилась в круглой стеклянной емкости (диаметром 100 мм). Глубина жидкости была 5-10 мм. Жидкость граничила с воздухом, находящимся при комнатной температуре. Наблюдение поверхности жидкости велось в тепловизор Infratec ImageIR. Древовидные ветви структур имели температуру примерно на 3 °C меньшую, чем окружающая жидкость. Природа этих структур до конца не понятна, с этой целью было предпринято их математическое моделирование.

Численное моделирование задачи выполнялось в пакете ANSYS FLUENT. Конвективное движение несжимаемой жидкости описывалось системой уравнений движения механики сплошных сред:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{U}) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{U}) + \nabla(\rho \vec{U} \vec{U}) = -\nabla p + \nabla \bar{\tau} + \rho \vec{g}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla(\rho \vec{U} h) = \nabla(\lambda \nabla T), \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости, \vec{U} – скорость движения жидкости, p – давление, $\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{U} + \nabla \vec{U}^T) - \frac{2}{3} \nabla \vec{U} I \right]$ – тензор вязких напряжений, μ – коэффициент динамической вязкости, I – единичный тензор, \vec{g} – ускорение свободного паления, $h = \int_{T_{ref}}^T c_p dT$ – энтальпия, $T_{ref} = 298.15 \text{K}$, c_p – теплоемкость при постоянном давлении, T – температура жидкости, λ – коэффициент теплопроводности жидкости. Зависимость плотности от температуры учитывалась в приближении Буссинеска $\rho(T) = \rho_0(1 - \beta(T - T_0))$, где ρ_0 – равновесная плотность при температуре T_0 , β – коэффициент объемного расширения жидкости.

Использовались следующие граничные условия. На дне и боковых стенках слоя задается условие полного прилипания жидкости $\vec{U} = 0$, а температура жидкости считается равной температуре стенок $T = T_w$. Расчеты проводились при однородной температуре $T_w = 40^\circ\text{C}$. На верхней границе слоя $z = d$ (свободная поверхность) задается условие не протекания (равенство нулю нормальной компоненты скорости) и сдвиговое напряжение (Shear Stress):

$$\tau_w \equiv \tau(d) = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=d} = \frac{\partial \sigma}{\partial T} \nabla_S T, \quad (4)$$

здесь σ – поверхностное натяжение жидкости, $\nabla_S T$ – температурный градиент на свободной поверхности. Для градиента поверхностного натяжения использовалось известное экспериментальное значение для воды $d\sigma/dT = -0.00015 [\text{N m}^{-1} \text{K}^{-1}]$.

Температура свободной поверхности не известна заранее и должна определяться в процессе расчета. Поэтому вместо этой температуры задается плотность теплового потока, слагающегося из конвективного и испарительного отвода тепла:

$$q = H(T_\infty - T_S) + L\dot{m}, \quad (5)$$

где $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ – температура окружающей среды, T_S – температура поверхности жидкости, $H = 4.3 [\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$ – коэффициент теплоотдачи для горизонтальной поверхности, обращенной вверх, $L = 2263 \cdot 10^3 [\text{J kg}^{-1}]$ скрытая теплота парообразования воды, \dot{m} – скорость испарения жидкости, выражение для которой бралось на основе [2].

Расчетная область представляет из себя цилиндрический слой воды толщиной 1 см и диаметром 10 см. Одна из полученных структур расчета представлена на рис.1. Важным результатом расчета стало обнаружение того, что при пренебрежении поверхностным натяжением (сдвиговое напряжение равно нулю) древовидные структуры исчезали.

В дальнейшем построенную модель предполагается использовать для анализа причин возникновения других наблюдаемых структур, возникающих при изменении глубины жидкости [1].

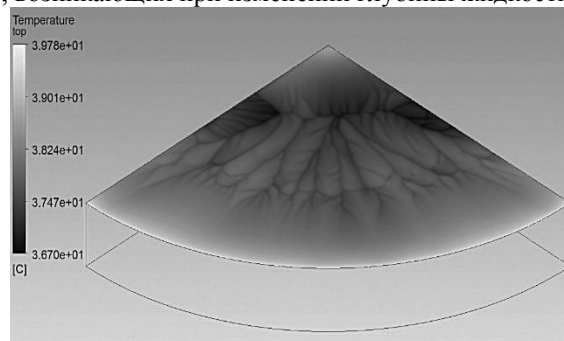


рис.1. Древовидная структура на поверхности, полученная в результате расчета. Число ячеек расчетной сетки $3 \cdot 10^6$.

Список публикаций:

- [1] Rusova D. A., Martyushev L. M. // AIP Conf. Proc. 2174, 020162, 2019.
 [2] Хащенко А.А., Вечер О.В., Дискаева Е.И. // Известия АГИ, 2016, № 89(1), С.84.

Сущность эффекта вихревого энергоразделения

Тувев Михаил Алексеевич

Толмачева Марина Ивановна, Ворончихин Сергей Геннадьевич

Вятский государственный университет

Ворончихин Сергей Геннадьевич, к.т.н.

nolinsk94@yandex.ru

Эффект вихревого энергоразделения (эффект Ранка-Хилша) – эффект разделения газа или жидкости на две фракции при закручивании в цилиндрической или конической трубе. На периферии образуется закрученный поток с большой температурой, а в центре – охлажденный поток, закрученный в противоположную сторону. Впервые данный эффект был открыт при исследовании работы циклонов французским инженером Ранком в 30-е гг. прошлого века. [1]

Эффект энергетического разделения закрученных потоков вязкого сжимаемого газа, реализуемый в вихревых трубах, значительно отличается от осевого движения потоков сплошной среды анизотропностью характеристик переноса импульса, активным возникновением вторичных течений, высокими градиентами давления, скорости и температур, а также трехмерной сущностью осредненных пульсационных характеристик [2].

Целью работы является определение сущности эффекта вихревого энергоразделения с точки зрения современных исследователей данного эффекта. Для достижения указанной цели были применены теоретические методы анализа и классификации.

Из всех возможных гипотез, объясняющих суть эффекта вихревого энергоразделения, наиболее точное и математически полное описание предлагает гипотеза взаимодействия вихрей А.П. Меркулова, дополненная и уточненная в ходе последующей работы учеников знаменитого профессора. Гипотеза представляет возможность рассчитать предельные характеристики вихревого эффекта исходя из того, что в сопловом сечении полностью завершается теплообмен между свободным вихрем, обладающим профилем тангенциальных скоростей по радиусу трубы, и вынужденным вихрем, вращающимся с постоянной угловой скоростью по радиусу трубы[2].

Современные исследователи выяснили, что ведущую роль в закрученных потоках занимают трехмерные винтовые структуры винтовой формы [3, 4]. Закрученный поток сжимаемой среды в камере энергоразделения вихревой трубы обладает сложной нестационарной трехмерной винтовой структурой течения. В трехмерной структуре закрученного потока экспериментально подтверждено наличие когерентных вихревых структур в виде вихревых жгутов, опоясывающих приосевое ядро, которое под воздействием первых находится в состоянии прецессирующего ядра - приосевого вынужденного вихря [5]. В результате выполнения работы была составлена следующая таблица:

Автор	Вклад
А. Гупта с соавторами	Указали на значительное влияние прецессии вихревого ядра на процесс энергоразделения
Н.А. Артамонов, Б.Ф. Абросимов, М.З. Максимченко	Наблюдения винтовой структуры потока в трубе Ранка
С.В. Лукачев	Объяснил существование регулярных пульсаций потока (типа прецессии) в вихревых трубах результатом возникновения крупномасштабных вихревых структур
С.В. Лукачев	Предложил гипотезу о возможности существования двойных и даже тройных вихревых образований на основе анализа сдвига фаз между пульсациями давления, измеренными в двух диаметрально противоположных точках вихревой трубы. Развитие этих представлений было продолжено в работе Ю.А. Кныша
С.В. Лукачев	Соотнес образование прецессирующего винтового вихря с распадом вихря
В.А. Арбузов с соавторами	Явное подтверждение существования винтообразных винтовых структур в вихревой трубе с помощью визуализации

Резюмируя проведенное исследование, можно сказать, что закрученный поток в вихревой трубе обладает сложной нестационарной трехмерной структурой. Сущностью эффекта вихревого энергоразделения является температурная стратификация сплошной среды. При этом очевидно, что энтальпия вынужденного вихря меньше энтальпии исходного потока, а энтальпия периферийного вихря выше энтальпии исходного потока. [2, 6].

Список публикаций:

[1] Хаит А. В. Исследование эффекта энергоразделения с целью улучшения характеристик вихревой трубы: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.04.13 / Хаит А. В.; Уральский фед. ун-т им. первого президента России Б. Н. Ельцина. - Екатеринбург, 2012. - 199 с.

[2] Бирюк В. В., Васильев В. К., Угланов Д. А., Горшкалева А. А., Шиманов А. А. Применение вихревого эффекта энергетического разделения газов. Методология проектирования новых устройств на уровне изобретений. Научно-практический журнал "Новые исследования в разработке техники и технологий". Сочи, №1, 2017. С 22-31.

[3] Алексеенко С. В., Окулов В. Л. Закрученные потоки в технических приложениях (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. - 1996. - Т.3, №2. С 101-138.

[4] Ахметов Ю. М., Зангиров Э. И., Свистунов А. В. Возможный механизм течения вихревых закрученных потоков. Аэродромеханика. Москва. Труды МФТИ. Том 6, №2, 2014. С 99-104.

[5] Пираллишвили Ш. А. Вихревой эффект. Теория, эксперимент, численное моделирование. Сборник научных трудов SWORLD. Технические науки - Машиноведение и машиностроение. Иваново. Том 3, №3, 2013. С 79-99.

[6] Кузнецов В. И., Макаров В. В. К вопросу о сущности эффекта Ранка. Омский научный вестник. Серия "Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение". Омск. Том 2, №2, 2018. С 48-52. DOI: 10. 25206/2588-0373-2018-2-2-48-54.

Тепломассоперенос на межфазной границе жидкость-газ

Юнусов Игорь Олегович

Поликарпов Алексей Филиппович

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Поликарпов Алексей Филиппович

igor.iunusov@urfu.ru

Проблема тепломассопереноса на межфазной границе жидкость – газ является фундаментальной и играет важную роль для многих областей науки и технологии. Помимо фундаментального интереса, проблема тепломассопереноса носит и прикладной характер в задачах, связанных с движением потока газа в различного рода микросистемах широкого спектра применения. Большинство существующих теорий, описывающих процессы переноса, предполагают условие термодинамического равновесия жидкой и газовой фазы. Рассмотрим задачу тепломассопереноса в газе, заключенном между двумя слоями своей жидкости, нижний и верхний слои которой поддерживаются при температурах T_1 и T_2 соответственно. Давления, соответствующие температурам T_1 и T_2 , равны p_1 и p_2 . Задача заключается в исследовании распределения макропараметров в объеме газа, определении величины потоков массы и тепла, переносимых с межфазной границы.

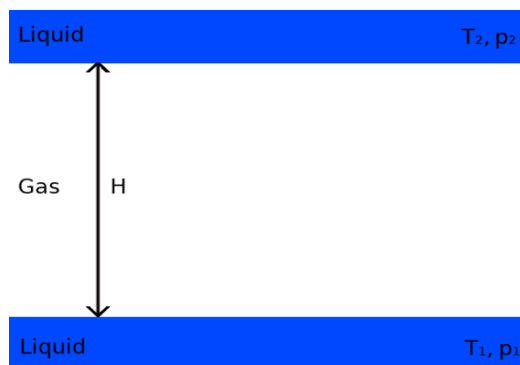


рис.1. Геометрия задачи

В общем случае, решение данной задачи основано на применении уравнения Больцмана и зависит от целого набора определяющих параметров: отношения давлений p_2/p_1 , отношения температур T_2/T_1 , параметра разреженности δ , определяемого как $\delta = H/l$, где l является длиной свободного пробега. При этом граничные условия, в основном, задаются полуфеноменологическими моделями, близкими по своей сути к модели зеркально-диффузного отражения, в которой роль коэффициента аккомодации играет коэффициент конденсации. Применение данных моделей делает невозможным учет физических процессов, связанных с

фазовым переходом на межфазной границе жидкость-газ. Между тем, в ряде задач, связанных с кипением жидкости, пульсацией мениска, большой разности температур источника и стока тепла, условия на межфазной границе являются сильно неравновесными, что ведет, в частности, к возникновению скачков температуры и давления и делает использование кинетических граничных условий неоднозначным. В этом случае, представляет интерес подход, основанный на расчете межфазной границы методом молекулярной динамики, а затем использовании полученных результатов для решения кинетических уравнений.

Цель данной работы заключается в развитии мультимасштабного подхода, основанного на совместном применении кинетического уравнения Больцмана [1] и метода молекулярной динамики [2], проведении соответствующих расчетов макропараметров на основе численного решения уравнения Больцмана методом дискретных скоростей и методом молекулярной динамики, сравнении полученных результатов.

Список публикаций:

[1] A.P. Polikarpov, I. Graur // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018. P. 124.

[2] Allen M. P., *Computer Simulations of Liquids* / M. P. Allen, D. J. Tildesley. – Ipswich: The Ipswich Book Co Ltd, 1987. – P. 237.

20 - Физика и экология. Экологические проблемы в энергетике

Антонова Елизавета Юрьевна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радионуклиды в грибах Северного Кавказа
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *antonova.elizaveta00@mail.ru* стр. 407

Горбунов Алексей Сергеевич, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиационная обстановка в г. Новочеркасске Ростовской области
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *list_2299@bk.ru* стр. 408

Десятов Денис Дмитриевич, аспирант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический институт
Анализ классификации удаляемых твердых радиоактивных отходов в Российской Федерации
Кружалов Александр Васильевич, д.ф.-м.н.
e-mail: *desyatovdenis1995@gmail.com* стр. 409

Джура Кирилл Олегович, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Содержание радионуклидов в донных отложениях Цимлянского водохранилища
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *dzhura99@mail.ru* стр. 410

Есин Егор Сергеевич, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиационная обстановка на территории Кавказских Минеральных Вод
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *egesserg@mail.ru* стр. 412

Зайвий Виктор Сергеевич, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Тритий и радиоуглерод в природных водах юга Европейской части России
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *viktor-zayvii@rambler.ru* стр. 413

Исаева Екатерина Викторовна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радионуклиды в объектах бриофлоры Республики Адыгея
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *ek.aterinaisaeva@mail.ru* стр. 414

Костырев Борис Павлович, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения промышленных городов Краснодарского края на примере г. Новороссийска.
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *b-kostyrev@mail.ru* стр. 415

Лихацкий Виталий Витальевич, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Быстродействующий многоканальный анализатор импульсов
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *adc-not@bk.ru* стр. 416

Ляхова Наталья Викторовна, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиационная обстановка на особо охраняемых территориях Ростовской области
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *llia.2013@yandex.ru* стр. 417

Михайлова Татьяна Андреевна, аспирант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Статистическая обработка данных радионуклидного и элементного состава атмосферных аэрозолей
e-mail: *tanymisha@mail.ru* стр. 419

Назарович Александра Владимировна, 4 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт
Поступление радиоактивного йода в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС
Екидин Алексей Акимович, к.ф.-м.н.
e-mail: *kolalls26@mail.ru* стр. 419

Огиенко Артём Вадимович, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Сравнительный анализ мощности эквивалентной дозы гамма излучения в городах и сельских поселениях
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *bort123470@gmail.com* стр. 420

Пыхов Олег Александрович, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический институт
Методы полевой спектрометрии в радиозологических исследованиях
Екидин Алексей Акимович, к.ф.-м.н.
e-mail: *pyhovoleg31@gmail.com* стр. 421

Ревнивцев Илья Сергеевич, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиационная обстановка на территории г. Волгодонска
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *ahk063@gmail.com* стр. 422

Сидорина Ульяна Андреевна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Естественные радионуклиды в компонентах экосистем на примере горной Адыгеи
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *ulianasidorina72@gmail.com* стр. 423

Шадин Антон Евгеньевич, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *antonshadin@yandex.ru* стр. 425

Швецова Дарья Алексеевна, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Динамика удельной активности ¹³⁷Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: *dashik.shvet@yandex.ru* стр. 426

Радионуклиды в грибах Северного Кавказа

Антонова Елизавета Юрьевна

Пронина Екатерина Вячеславовна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

antonova.elizaveta00@mail.ru

Грибы широко используются в питании, например, в кондитерских изделиях, виноделии, кисломолочных продуктах, так же их широко используют в медицине, так как обладают целебными свойствами. Объекты микофлоры делятся плесневые и шляпочные. Шляпочные – на пластинчатые и трубчатые. Грибы хорошие сорбенты и часто используются в экологических исследованиях в качестве биоиндикаторов загрязненности различных экосистем.

В работе представлены результаты рекогносцировочных выездов на различные территории Северного Кавказа по оценке загрязненности объектов микофлоры естественными и искусственными радионуклидами. Экспедиции проводились в 2017-2019 годах на территориях Ростовской области, Республик Адыгея, Северная Осетия – Алания и Краснодарского края.

Среди трубчатых грибов исследовались: Белый гриб (*Bolétus edulis*) Подберезовик обыкновенный (*Léccinum scábrium*) и Дубовик оливково-бурый (*Bolétus líridus*), среди пластинчатых – Сыроежка красная (*Rússula*), Груздь перечный (*Lactárius píperátus*) и Лисичка обыкновенная (*Cantharēllus cibārius*).

Образцы грибов, преимущественно отбирали на площадках с различными почвами, растительным покровом, условиями водного режима и на разных элементах рельефа. Удельную активность радионуклидов в грибах измеряли на гамма-спектрометре сцинтилляционном «Прогресс-гамма» с использованием стандартных методик отбора и подготовки проб.

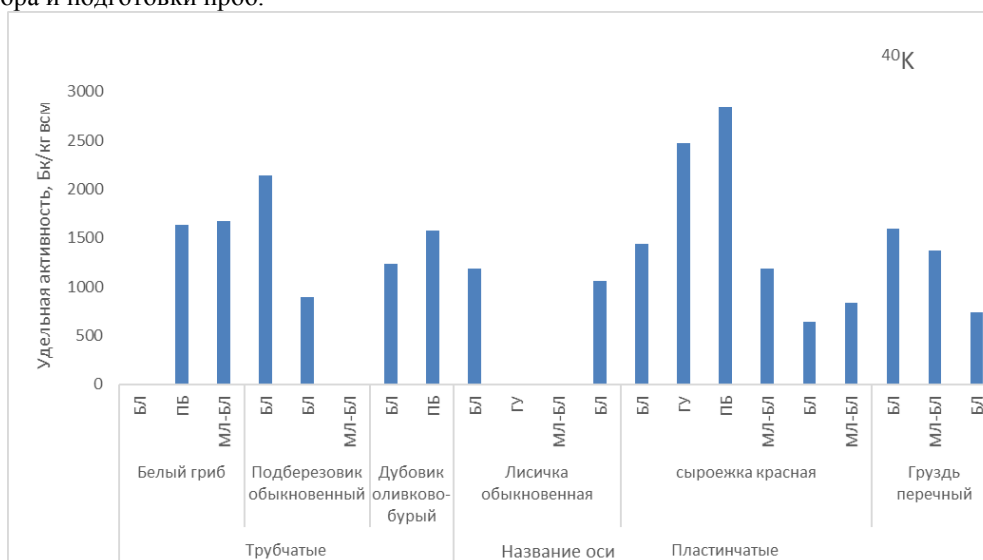


рис. 1. Содержание ^{40}K в грибах на территории Республики Адыгея

Практически во всех образцах грибов отмечается высокое содержание ^{40}K (800-3000 Бк/кг высушенной массы (всм)). При этом, в почвах исследуемых территорий ^{40}K , в среднем содержится 300-500 Бк/кг. Калий – хорошо растворим в воде, подвижен и может накапливаться в растительности в значительных количествах.

Содержание естественных ^{226}Ra и ^{232}Th грибах может быть обусловлено как прямым поступлением данных радионуклидов из почвы, так и механическим загрязнением. Искусственный ^{137}Cs несмотря на то, что это активный хорошо растворимый щелочной металл – фиксируется только в отдельных пробах грибов. При этом, высокие содержания радия, тория и радиоцезия отмечаются только в высокогорных районах Северного Кавказа (на высоте более 800 м над уровнем моря). Это связано с тем, что в условиях сильно-расчлененного горного рельефа происходит переотложение радиоцезия в понижениях рельефа. А грибы отбирали в ущельях, долинах на лугах. Также стоит отметить повышенное содержание естественных радионуклидов в почвах и породах высокогорных районах Северного Кавказа.

Полученные результаты показывают, что во многих образцах грибов содержание радионуклидов в пять и более раз выше, чем в почвах. Все исследуемые грибы являются съедобными и активно собираются населением. Необходимы комплексные исследования по оценке загрязненности объектов микофлоры не только радионуклидами, но и тяжелыми металлами для снижения дозовых нагрузок на население.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020)

Радиационная обстановка в г. Новочеркасске Ростовской области

Горбунов Алексей Сергеевич

Дергачева Анастасия Валерьевна, Машаров Кирилл Сергеевич

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

List_2299@bk.ru

Новочеркасск – промышленный город на территории Ростовской области. С середины 20 века данный город и близлежащие к нему районы стали активно застраиваться различными предприятиями. Деятельность Новочеркасской ГРЭС, электродного завода и НЭВЗа (Новочеркасского электровозостроительного завода) уже многие годы негативно сказывается на экологии всей Ростовской области. Наибольший вред, с точки зрения радиозащиты, приносит ГРЭС, работающая на угле, продукты горения которого содержат большинство радионуклидов, которые при уменьшении температуры конденсируются на золе и аэрозолях [1]. Однако остальные предприятия также вносят огромный вклад в загрязнение окружающей среды в виде легко заметной копоти и специфического неприятного запаха. Опасность представляет тот факт, что нередко ветер с промышленной зоны дует не только в сторону окраин города, но и на центральную. Таким образом, Новочеркасск является одним из самых экологически неблагополучных городов на всем Северном Кавказе и входит в число самых загрязненных городов России [2], что вызывает большой интерес у исследователей.

В данной работе представлены данные радиозащитной экспедиции 2019 года на территорию г. Новочеркасска. Контрольные участки закладывались в районе промышленных предприятий и в центре города (рис.1). Была измерена мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) дозиметрами-радиометрами ДРБП-03 и ДКС-96 с блоком детектирования БДКС-96с.



рис.1. Карта-схема расположения контрольных участков

Контрольные участки можно разделить на 3 группы (рис. 1): вокруг завода НЭВЗ (точки 1,2,3), вокруг Электродного завода (точки 4,5,6,7), а также в центре города, удаленном от предприятий, (точки 8,9,10). На каждом участке проводилось не менее 100 измерений МЭД. Результаты статистической обработки измеренных МЭД представлены на рис. 2.

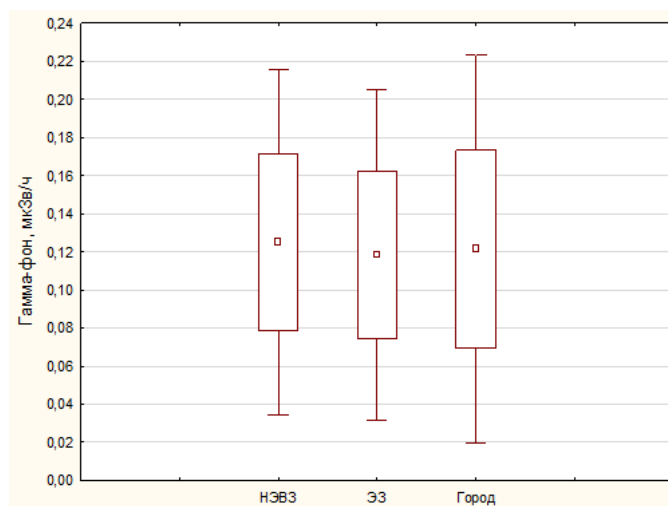


рис.2. Распределение МЭД на территориях г. Новочеркасска

Как видно из рисунка, данные с разных групп контрольных участков практически не отличаются. Из чего можно сделать вывод, что заводы не влияют на гамма-фон близлежащих территорий. В среднем в Новочеркасске на уровне 0,12 мкЗв/ч, что является характерным для всей Ростовской области [3] и не превышает МЭД, установленный Нормами радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009 – 0,3 мкЗв/ч).

При этом годовая эффективная доза на открытой местности составляет примерно 1,0-2,0 мЗв, что относит г. Новочеркасску (согласно НРБ-99/2009) к территориям, в которых должен осуществляться непрерывный радиоэкологический мониторинг. В дальнейших исследованиях в рамках комплексных экспедиций планируется оценить не только радионуклидное загрязнение объектов экосистем, но и содержание в них тяжелых металлов.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

- [1] *The enrichment behavior of natural radionuclides in pulverized oil shale-fired power plants / T. Vaasma et al. // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. V. 138. P. 427–433.*
- [2] *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.*
- [3] *Бураева Е.А., Мальшевский В.С., Нефедов В.С., Тимченко А.А., Горлачев И.А., Семин Л.В., Шиманская Е.И., Триболина А.Н., Кубрин С.П., Гуглев К.А., Толтыгин И.Е., Мартыненко С.В. мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-5. – С. 1073-1077.*

Анализ классификации удаляемых твердых радиоактивных отходов в Российской Федерации

Десятов Денис Дмитриевич

Батаков Иван Сергеевич, Назарович Александра Владимировна

Уральский федеральный университет

Физико-технологический институт

Кружалов Александр Васильевич

desyatovdenis1995@gmail.com

Атомная энергетика является неотъемлемой частью в жизни человечества и составляет чуть более 10% производимого в мире электричества [1]. На 2020 год, по данным МАГАТЭ, в мире эксплуатируется 447 ядерных реакторов [2]. Атомная энергетика обладает рядом достоинств: от экономических до экологических (отсутствие в выбросах парниковых газов) [3], однако имеются и недостатки, такие как образования при штатном режиме АЭС побочных продуктов – радиоактивных веществ (газообразные выбросы, жидкие сбросы и радиоактивные отходы) [4].

Классификация РАО является одним из важнейших элементов обращения с РАО. Классифицировать РАО можно по агрегатному состоянию, по составу излучения, по активности и периоду полураспада. Публикация МАГАТЭ [5] требует, чтобы на различных этапах обращения с РАО перед их захоронением, РАО должны быть охарактеризованы и классифицированы в соответствии с требованиями, установленными регулирующим органом. Отсутствие единой структуры в классификации радиоактивных отходов может иметь негативные последствия для человека, персонала и окружающей среды, а также чрезмерные затраты на захоронения.

В данной работе выполнен анализ классификации удаляемых твердых РАО на примере Российской Федерации, отмечены основные противоречия, а также предложены варианты по совершенствованию классификации. Выполнен анализ согласованности подхода классификации РАО к рекомендациям МАГАТЭ.

Список публикаций:

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Indicators for Nuclear Power Development Nuclear Energy Series No. NG-T-4.5 Technical Reports*, IAEA, Vienna (2015)

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Nuclear Power Reactors in the World, Reference Data Series No. 2*, IAEA, Vienna (2019).

[3] Иванцова Е.Д., Цыро Ю.С., Пыжжев А.И. *Экономические аспекты участия атомной энергетики в решении проблемы глобального изменения климата // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. №9 (366).*

[4] *Predisposal management of radioactive waste. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2009 p. ; 24 cm. — (IAEA safety standards series, ISSN 1020–525X ;no. GSR Part 5)*

Содержание радионуклидов в донных отложениях Цимлянского водохранилища

Джура Кирилл Олегович

Швецова Дарья Алексеевна, Ляхова Наталья Викторовна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

Dzhura99@mail.ru

В работе представлены результаты определения естественных и искусственных радионуклидов в донных отложениях природно-техногенной территории ППУ Цимлянского водохранилища. Используются данные радиозоологических экспедиций 2000, 2001 и 2006 годов в регионе исследования.

Донные отложения играют важную роль в накоплении и переносе радиоактивных веществ в пределах географического района, поэтому существует необходимость в отслеживании и мониторинге удельной активности таких радионуклидов как ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs для возможности оценки их воздействия на окружающую среду и человека. Загрязнение донных отложений радионуклидами серий распада ^{232}Th и ^{40}K представляет особый интерес с радиологической точки зрения, поскольку они могут составлять основу радиологических оценок для населения [1].

Для оценки степени и масштабов загрязнения окружающей среды радионуклидами в ходе экспедиций 2000, 2001 и 2006 года было отобрано более чем 25 кернов, глубиной более чем 20-40 см, в акватории ППУ Цимлянского водохранилища. Все керны донных отложений отбирались вдоль линии (разреза) х. Харсеев – ст. Хорошевская и Малая лучка.

Для определения удельной активности радионуклидов в донных отложениях использовали гамма-спектрометр с GeHP детектором фирмы Canberra и счетные геометрии Маринелли 1 литр и Дента, время набора спектров не превышало 24 часа. Ниже представлены сводные данные об удельной активности радионуклидов, отобранных в Цимлянском водохранилище.

Параметр	Удельная активность, Бк/кг			
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Среднее	39,5	42,4	587,3	35,5
Минимум	13	11,9	99,0	1,4
Максимум	82	84,3	1537,1	100,2

Как видно из таблицы, средние содержания ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K лежат в допустимых значениях по сравнению с мировыми: 4,9–60, 11–64, 140-1700 Бк/кг соответственно. Также учитывая тот факт, что территория ППУ Цимлянского водохранилища является территорией, пострадавшей от последствий аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года, содержание ^{137}Cs лежит в допустимом промежутке 21–188,9 Бк/кг [1-4].

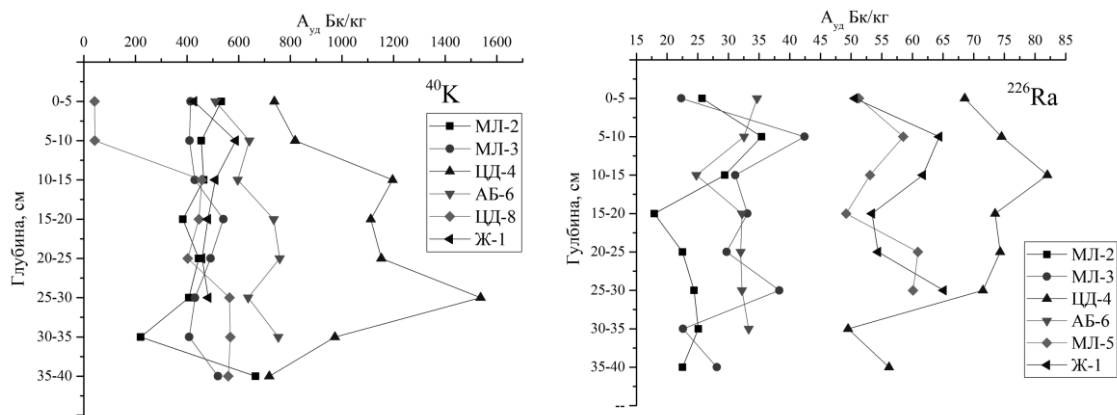


рис.1. Распределение удельной активности ^{40}K и ^{226}Ra по глубине, соответственно

Как видно из рис. 1 содержание ^{40}K и ^{226}Ra в основном лежит в средних значениях за исключение данных, взятых из керна ЦД-4, где значения превышают средние. Существует две наиболее вероятных причин этого. Во-первых, это местоположение керна, так как он был отобран в центре территории, куда происходит снос донных отложений за счёт ветровых течений. Во-вторых, с находящихся вокруг ППУ Цимлянского водохранилища большое количество сельскохозяйственных территорий, что может предполагать использование калийных удобрений, содержащих большое количество ^{40}K и ^{238}U , которые путём вымывания с водосборных территорий попадают в акваторию водохранилища, впоследствии перемещаясь к центру описанным ранее способом.

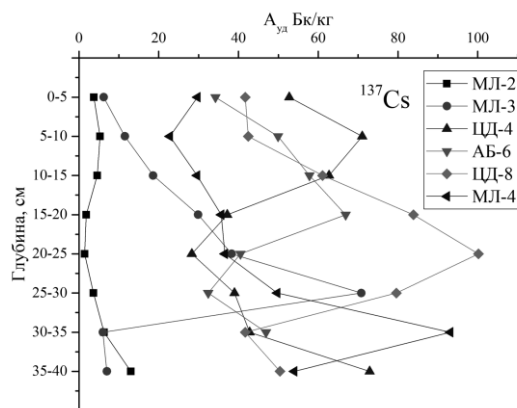


рис.2. Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине

Так как сбор проб, приведённых на рис. 2, проводился в 2000-2001 годах максимум, наблюдаемый в кернах МЛ-3, МЛ-4 и ЦД-4 скорее всего обусловлен выпадением радионуклидов после аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года. Более глубоководные максимумы в кернах МЛ-3, МЛ-4 и ЦД-4 соответственно, вероятны вызваны глобальными выпадениями радионуклидами, такими как испытание ядерного оружия.

В заключение необходимо отметить, что содержание и распределение радионуклидов в донных отложениях зависит от глубины отбора керна и наличия сторонних антропогенных факторов. Также эти измерения можно использовать для оценки экологической ситуации, а также они могут быть прекрасным инструментом для определения возраста донных отложений.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультимедийных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

- [1] Radioactivity concentrations and their radiological significance in sediments of the Tema Harbour (Greater Accra, Ghana) / Benjamin O. Botwe [et al] // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. Issue 1. – 2017. – №10. – P. 63-71.
- [2] Radioactivity levels of recent sediments in the Butrint Lagoon and the adjacent coast of Albania / C. Tsabaris [et al] // Applied Radiation and Isotopes. Issue 4. – 2007 – №65. – P. 445-453.
- [3] T. Ries. Long-term distribution and migration of ^{137}Cs in a small lake ecosystem with organic-rich catchment: A case study of Lake Vorse (Southern Germany) / T. Ries, V. Putyrskaya, E. Klemt // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – №198. – P. 89-103.
- [4] On the distribution and inventories of radionuclides in dated sediments around the Swedish coast / Grzegorz Olszewski [et al] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018 – №186. – P. 142-151.

Радиационная обстановка на территории Кавказских Минеральных Вод

Есин Егор Сергеевич

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

egesserg@mail.ru

Пятигорск и Кисловодск – это города на юге России, известные своей природой и лечебными свойствами горных источников. Находятся они в Ставропольском крае. Пятигорск является крупнейшим городом после Ставрополя по численности населения в крае и крупнейшим по тому же параметру на территории Кавказских Минеральных Вод. Города расположены в гористой местности на высоте более 500 метров над уровнем моря. Климат благоприятный, умеренно континентальный, без резких колебаний годовых и суточных температур, отличается мягкой зимой и жарким летом. Несмотря на то, что Пятигорск и Кисловодск являются городами-курортами и не имеют большого количества промышленных предприятий, гамма-дозиметрия территории данных регионов крайне важна в связи с наличием некоторых потенциально радиационно-опасных объектов в зоне влияния, таких как, например, бывшие рудники № 1 и № 2 по добыче урановых руд, а также хвостохранилище после разработок урановой руды бывшего НПО «Алмаз» в г. Лермонтов [1]. Также, гамма-дозиметрия служит мерой, которая своевременно может сообщить об опасности здоровью местных жителей и туристов.

Целью работы являлась оценка распределения гамма-фона (мощности эквивалентной дозы гамма-излучения; МЭД, мкЗв/ч) на территориях городов Пятигорска и Кисловодска.

Гамма-дозиметрия производилась на центральных улицах Пятигорска и Кисловодска. Измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения на обозначенных территориях производилась методом пешеходной гамма-съемки на высоте 1 метр над землей при помощи дозиметра-радиометра «ДКС-96».

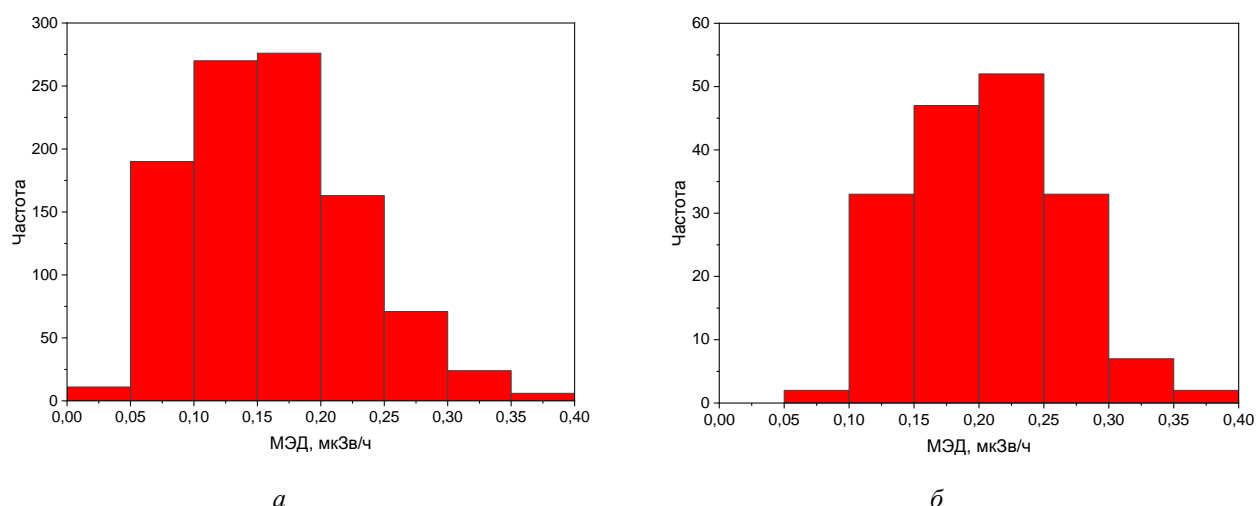


рис. 1. Распределение МЭД гамма-излучения на территории Пятигорска(а) и Кисловодска(б)

Параметр	Значение МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч	
	Пятигорск	Кисловодск
Среднее значение	0.16	0.20
Стандартная ошибка	0,02	0,02
Минимальное значение	0.02	0.06
Максимальное значение	0.37	0.36
Мода	0.14	0.22
Медиана	0.16	0.20

Выше, на рис. 1 и в таблице приведены результаты статистической обработки данных МЭД гамма-излучения Пятигорска и Кисловодска. По полученным результатам можно сказать, что МЭД гамма-излучения, как в Пятигорске, так и в Кисловодске, в среднем, критического значения в 0.3 мкЗв/ч, регламентированного Нормами радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ 99/2009), не превышает. Незначительные

превышения НРБ-99/2009 в отдельных измерениях МЭД гамма-излучения обусловлены, либо загруженностью улиц автомобильным транспортом, либо повышенным содержанием естественных дозообразующих радионуклидов. Стоит отметить, что средние МЭД в г. Кисловодске и г. Пятигорске примерно до двух раз выше, чем на равнинных территориях. Это обусловлено влиянием космического излучения и солнечной радиации в регионе исследования. Результаты, полученные в настоящей работе сопоставимы с данными, полученными ранее в работе [2] (0,15-0,30 мкЗв/ч).

В целом гамма-фон на территории некоторых городов Кавказских Минеральных Вод не превышает установленный в НРБ-99/2009. Необходимы дополнительные исследования радиационной обстановки в районе размещения рудников и хвостохранилищ для оценки потенциальной опасности для населения и окружающей среды.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

[1] Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Ставропольском крае в 2011 году». 2011. 199 с.

[2] L. I. Khorzova. // *Procedia engineering*. 2016. № 150. P. 2031-2035.

Тритий и радиоуглерод в природных водах юга Европейской части России

Зайвий Виктор Сергеевич

Риттер Илона Викторовна, Валюхова Валерия Владимировна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

viktor-zayviy@rambler.ru

Исследования поведения долгоживущих радиоизотопов радиоуглерода и трития в окружающей среде являются актуальными в связи с развитием атомной ядерной промышленности, как на территории Российской Федерации [1,2], так и за рубежом [3].

С точки зрения радиоэкологического риска значительную опасность представляет собой долгоживущий изотоп ^{14}C . В природной смеси изотопов углерода его количество составляет $1 \cdot 10^{-10} \%$. ^{14}C – чистый β -излучатель, $T_{1/2} = 5,70 \cdot 10^3$ л, максимальная энергия электронов 185 кэВ, средняя энергия 49,47 кэВ, максимальный пробег в веществе 31 мг/см², т. е. 0,38 мм в биологической ткани или воде и 23 мм в воздухе. Основным источником поступления ^{14}C в биосферу – это его образование в атмосфере под действием космического излучения. В атмосфере ^{14}C в основном находится в виде химической связи $^{14}\text{CO}_2$, так как быстро окисляется. В океане же он присутствует в виде растворенных в воде бикарбонатов [4].

В природе происходит постоянный круговорот углерода, благодаря которому осуществляется непрерывный обмен ^{14}C между атмосферой, гидросферой, почвенным покровом и органическим миром. Наибольшие содержания CO_2 наблюдаются в атмосфере (58%) и водной толще океанов (~35%), наименьшие – на континенте (~7%), в том числе на земной поверхности 4,5% и в поверхностных водоемах ~2,5% [5].

Тритий – радиоактивный изотоп водорода. Его ядро состоит из протона и двух нейтронов. Тритий, в природе, образуется в результате столкновения космического излучения с атомами в верхних слоях атмосферы. При распаде тритий превращается в изотоп гелия и испускается электрон и антинейтрино. Период распада трития составляет около 12 лет. При распаде выделяется 18,59 кэВ энергии, на электрон приходится всего 5,7 кэВ. Так как энергия бета-частиц очень мала, то электроны хорошо задерживаются преградами такими как одежда или резиновые перчатки. Но этот изотоп представляет радиационную опасность при попадании в организм, путём впитывания через кожу, вдыхания или употреблением вместе с пищей.

В данной работе были проведены исследования содержания трития и радиоуглерода в водных образцах, отобранных в различных водоемах Северного Кавказа. Все данные сравнивались с установленными Нормами радиационной безопасности [1]. Для определения содержания ^{14}C в ^3H воде использовали жидкосцинтилляционный радиометр спектрометрический SL-300. Объем пробы составлял 10мл, объем сцинтиллятора – 10 мл. Время экспозиции одной пробы – не менее 2 часа. Ниже представлены сводные данные по распределению трития и радиоуглерода в исследуемых водных пробах.

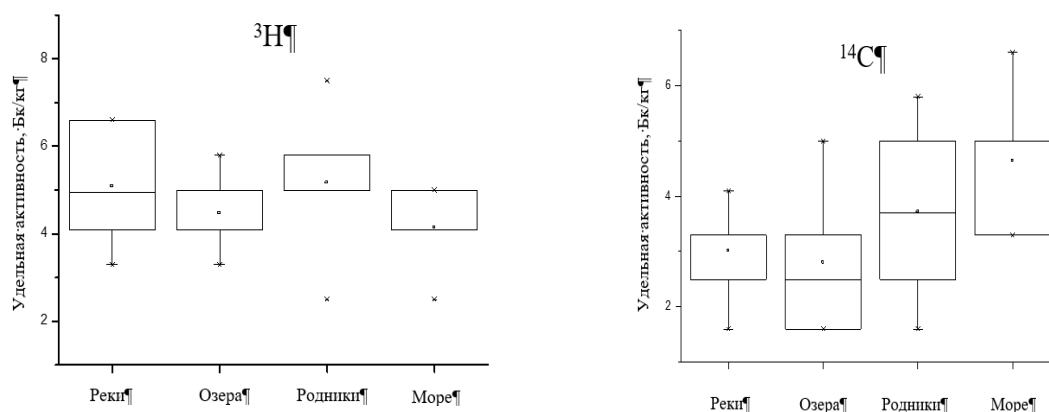


рис. 1. Активность ^3H и ^{14}C в водных объектах

Как правило (рис. 1), в реках отмечаются наибольшие вариации трития, наименьшие в морях. Это может быть обусловлено как особенностями поступления данного радионуклида в водоемы, так и различными гидродинамическими условиями рек и морей. Не стоит исключать и искусственный вклад трития в речные экосистемы. В бассейне реки Дон расположены две действующие АЭС (Нововоронежская и Ростовская). При этом содержание трития в водоемах Северного Кавказа примерно в 1000 раз меньше уровня вмешательства для данного радионуклида [1; 7600 Бк/кг].

Вариации ^{14}C в природных водоемах достигают трех раз. Максимальные значения данного радионуклида фиксировались в морях. При этом удельная активность данного радионуклида также значительно ниже уровня вмешательства (240 Бк/кг [1]). Углерод – биогенен, встраивается в живые организмы, в том числе и в объекты микрофлоры и микрофауны.

В целом, необходимо отметить, что подобные исследования актуальны не только в области радиационной безопасности человека и окружающей среды, но и помогут решить различные задачи в области гидрогеологии (поступление загрязнителей в подземные воды) и экологии (оценка выбросов предприятий ядерной топливной энергетики).

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

- [1] Федеральный закон от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ "Об особо охраняемых природных территориях"
- [2] Радиоуглерод и тритий в водной системе Санкт-Петербургского региона / М. А. Кулькова [и др.] // Современные технологии. -2013. – С. 93-98.
- [3] An updated review on tritium in the environment / F. Eyrolle [and all] // Journal of Environmental Radioactivity. -2018. Vol. 181. – P. 128-137.
- [4] Радиоуглерод Том VI. Экологическая радиохимия и радиоэкология : учебное пособие / Бекман И.Н. // Мархотин П. Ю., 2015. — С. 130-136.
- [5] Радиоэкология: учебник для вузов / М. Г. Давыдов [и др.]. — Ростов н/Д : Феникс, 2013. — С. 383-385.

Радионуклиды в объектах биофлоры Республики Адыгея

Исаева Екатерина Викторовна

Пронина Екатерина Вячеславовна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

ek.aterinaisaeva@mail.ru

В настоящее время для более точного контроля загрязнения окружающей среды используют различные методы мониторинга, один из которых – биоиндикация. Из-за уникальных морфологических и физиологических особенностей строения моховидных их уже на протяжении многих лет используют при оценки радиологической обстановки и загрязнения окружающей среды.

Задачей данной работы является оценка особенностей содержания и накопления искусственного ^{137}Cs и естественных радионуклидов (РН) (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) наиболее распространённым в регионах Северного Кавказа эпифитным мхом (*Pyralisia polyantha*).

В рамках данной работы использовался данный эпифитный мох и почвы, отобранные на территориях Республики Адыгея. Пилезия многоцветковая относится к классу листостебельные или бриопсиды. Из всех моховидных листостебельные мхи включают наибольшее число видов. Для оценки степени накопления РН мхами и почвами в работе измеряли содержание РН в исследуемых образцах гамма-спектрометрическим методом. Использовали сцинтилляционный гамма-спектрометр «Прогресс-гамма» и стандартные методики отбора и подготовки проб. Статистическая обработка радионуклидного состава почв и мхов, представленная в таблице ниже, проведена для данных, отобранных в экспедициях 2013-2017 годов по всем регионам исследования (Ростовская область, Республики Северная Осетия – Алания, Кабардино-Балкария и Адыгея).

Параметр	Мох (<i>Pylaisia polyantha</i>)				Почва (слой 0-10 см)			
	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Среднее, Бк/кг	82,8	11,2	12,9	304,5	35	29,6	29,4	429,3
Стандартная ошибка, Бк/кг	8,9	1,2	1,3	36,6	1,6	1,1	0,4	5,7
Медиана, Бк/кг	43,5	5,2	7,3	200,0	28,7	25,3	28,9	404,0
Мода, Бк/кг	37,4	0,1	0,1	5,0	0,1	10,0	32,4	387,0
Стандартное отклонение, Бк/кг	105,9	14,5	15,9	434,6	33,5	24,4	8,8	130,9
Дисперсия выборки	11228,6	211,5	254,2	188878,7	1122,1	593,3	76,8	17157,9
Эксцесс	10,2	2,9	7,7	50,0	17,9	49,5	-0,04	2,1
Асимметричность	2,9	1,7	2,2	5,8	3,3	6,3	0,2	1,2
Минимум, Бк/кг	2,8	0,1	0,1	5,0	0,1	2,0	0,9	101,0
Максимум, Бк/кг	683,6	71,5	105,0	4278,0	284,8	284,1	55,4	922,0
Количество проб	140	139	140	141	527	526	526	527

В целом распределение естественных радионуклидов (ЕРН) в почвах стремится к нормальному. При этом распределение искусственного радиоцезия смещено влево (положительный коэффициент асимметрии). В образцах мхов содержание РН, как правило невысокое. При этом, на урбанизированных территориях и в горных районах отмечается накопление естественных радионуклидов данными объектами. Это обусловлено влиянием выбросов промышленности и автотранспорта для городских территорий и наличием выходов пород с повышенным содержанием ЕРН – для горных территорий.

В основном все образцы мхов относятся к слабо- и средне-накапливающим. Необходимо отметить влияние особенности рельефа местности и климатических условий на степень накопления радионуклидов объектами бриофлоры в горных районах.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения промышленных городов Краснодарского края на примере г. Новороссийска

Костырев Борис Павлович

Есин Егор Сергеевич, Антонова Елизавета Юрьевна

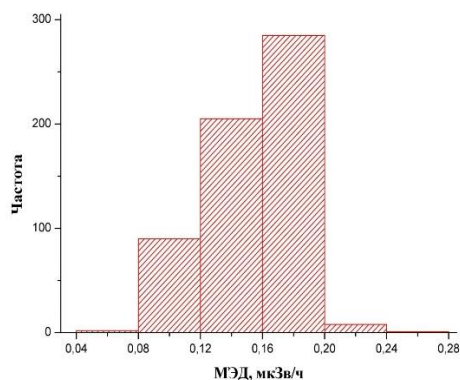
Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

b-kostyrev@mail.ru

Новороссийск является одним из важнейших промышленных центров Южного федерального округа, именно в этом городе расположены большие запасы мергеля редкого и высокого качества. В черте города производится добыча и переработка мергеля в цемент. В результате добычи и переработки мергеля в г. Новороссийске сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, связанная с распространением цементной пыли и загрязнением продуктами добычи данного полезного ископаемого объектов окружающей среды.

Работа посвящена изучению гамма-фона (мощности эквивалентной дозы гамма-излучения; МЭД, мкЗв/ч) на территории промышленных районов г. Новороссийска. Замеры гамма-фона проводились по маршруту Магистральная улица – улица Судостальского – улица Сухумское шоссе; а также на территории Юго-Восточного грузового района порта г. Новороссийска. На данных территориях расположены многочисленные промышленные объекты (предприятия). Также Магистральная улица, улица Судостальского и улица Сухумское шоссе являются частью трассы М-4 «Дон». Измерения проводились дозиметром-радиометром ДКС-96 на высоте 100 см от поверхности почвы (грунта). Особенности распределения МЭД в промышленных районах г. Новороссийска приведены на *рис. 1* и в таблице.



Параметр	МЭД, мкЗв/ч
Среднее	0,17
Стандартная ошибка	0,002
Медиана	0,16
Мода	0,20
Минимум	0,06
Максимум	0,28

рис. 1. Распределение МЭД в г. Новороссийске

В целом, среднее, модальное и медианное значения МЭД на территориях г. Новороссийска не превышает нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) Российской Федерации (0,3 мкЗв/ч). При этом стоит отметить, что наиболее часто встречающееся значение МЭД (0,2 мкЗв/ч) почти в два раза выше, чем на равнинных территориях Краснодарского края (0,10-0,12 мкЗв/ч). Основная часть города находится практически на уровне моря и повышенное высотное влияние космического излучения и солнечной радиации отсутствует.

Можно сделать предварительное заключение о том, что повышенное (по сравнению с другими промышленными городами Северного Кавказа, расположенными на высоте 0-200 м над уровнем моря) значение МЭД в г. Новороссийске может быть связано с добычей и переработкой полезных ископаемых (в частности мергеля). В дальнейшем будут проведены комплексные исследования радиоактивности почвы, пород и растительности как в г. Новороссийске, так и в других прибрежных городах Краснодарского края.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных multifunctional систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

[1] Матвеев В. И. // ЖЭТФ. 2003. Т. 124. № 5(11). С. 1023.

[2] Есеев М. К., Матвеев В. И. // Физический вестник Поморского университета. Архангельск: Изд-во Поморского ун-та. 2006. № 4. С.35.

Быстродействующий многоканальный анализатор импульсов

Лихацкий Виталий Витальевич

Кацаева Елизавета Александровна, Проценко Влада Вячеславовна, Михайлова Татьяна Андреевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

adc-not@bk.ru

Амплитудные анализаторы импульсов являются неотъемлемой частью гамма-спектрометров. Именно анализаторы импульсов позволяют строить спектры гамма-излучения, по которым впоследствии можно определять радионуклидный состав проб.[1]

Данная работа посвящена разработке быстродействующего многоканального амплитудного анализатора импульсов. Для разработки схемы была использована программа DipTrace.

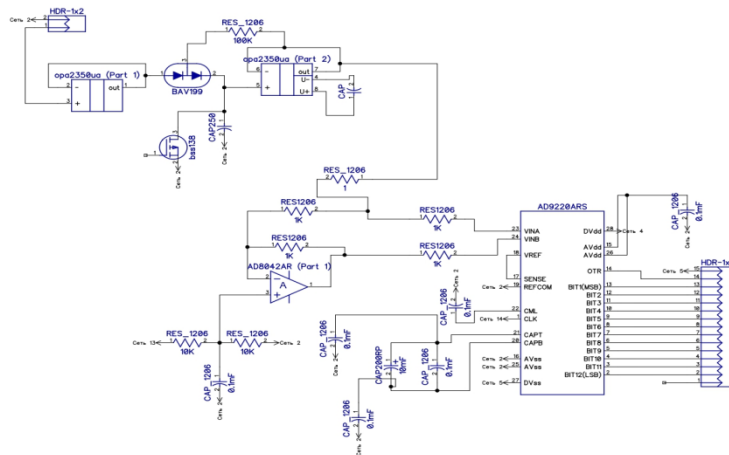


рис.1. Схема анализатора импульсов

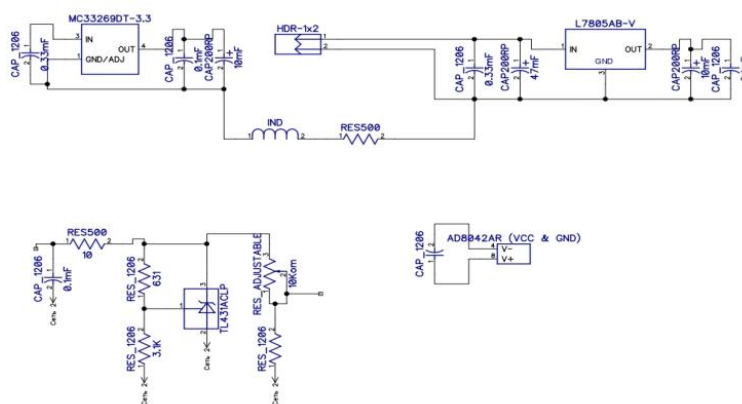


рис.2. Схема питания анализатора импульсов

Схема анализатора импульсов изображена на *рис.1* и *рис.2*. В качестве управляющей схемы была выбрана отладочная плата на базе EP4CE10F17C8N. Благодаря детектору заряда, выполненному на операционном усилителе OPA2350, входной импульс с детектора преобразуется в прямоугольный сигнал с малой длительностью. Это дает возможность использовать относительно медленный и дешевый аналого-цифровой преобразователь AD9220. Использование технологии fpga вместо микроконтроллеров, позволило повысить максимальную загрузку спектрометрического тракта до 150000 импульсов в секунду, осуществить режекцию наложения импульсов.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

[1] *Альфа-бета-гамма спектроскопия под редакцией К. Зигбана вып 1, АТОМИЗДАТ 1969.*

Радиационная обстановка на особо охраняемых территориях Ростовской области

Ляхова Наталья Викторовна

Джуря Кирилл Олегович, Швецова Дарья Алексеевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна

lha.2013@yandex.ru

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) – это участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение. Вследствие минимального антропогенного воздействия на ООПТ, данные территории показывают нормальный

фон для сопредельных территорий и территорий, располагающихся в подобных климатических зонах с похожими особенностями рельефа.

В данной работе рассматривались следующие ООПТ: Ботанический сад ЮФУ, заповедник «Ростовский», Персиановская заповедная степь, урочище «Черная Балка», Приазовская заповедная степь урочище «Каменная Балка».

На территории рассматриваемых особо охраняемых природных территорий средние значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения не превышают 0,15 мкЗв/ч, что соответствует нормам радиационной безопасности [1].

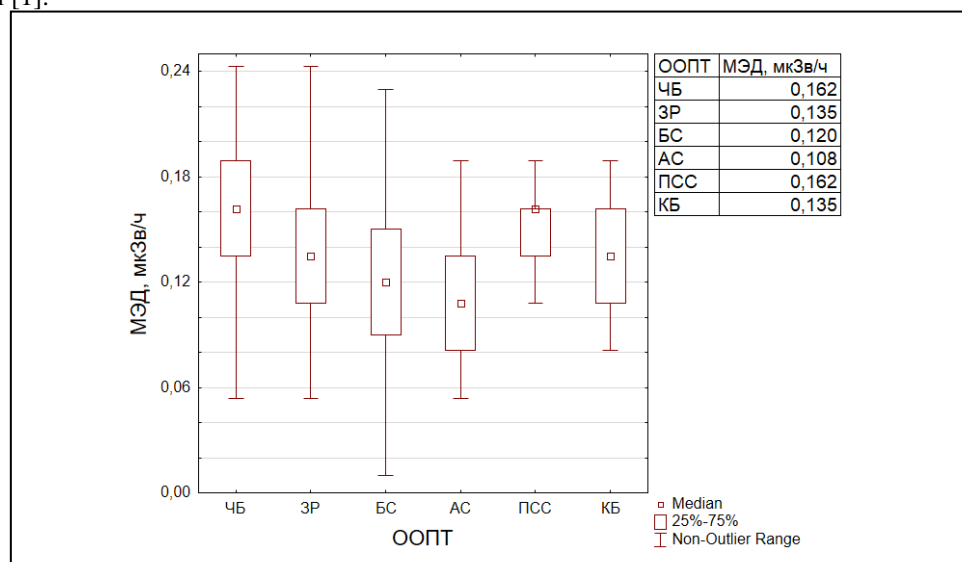


рис. 1. Распределение МЭД гамма-излучения на ООПТ

При сравнении значений мощности эквивалентной дозы гамма излучения на различных особо охраняемых территории Ростовской области было выявлено, что наибольшее значение мощности эквивалентной дозы гамма излучения наблюдается на территориях урочища «Черная Балка» и Персиановской заповедной степи и составляет 0,15 мкЗв/ч. Это может быть связано с наличием пахотных полей, для удобрения которых могут использовать калийные удобрения. Наименьшее значение наблюдается на территории Приазовской заповедной степи – 0,11 мкЗв/ч.

Оценка показала незначительный рост динамики мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях урочища «Черная балка», заповедника «Ростовский» и Ботанического сада ЮФУ за весь период наблюдения. Незначительный рост на территории Ботанического сада ЮФУ возможно связан с непосредственной близостью с автомагистралью и непосредственным нахождением данного объекта в промышленном городе. Увеличение данного параметра в заповеднике «Ростовский» может быть связана с почвенным составом и наличием солончаков. Изменения в мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территории Персиановской степи за рассматриваемый период наблюдений не выявлены.

Среднегодовые дозы на особо охраняемых природных территориях Ростовской области находятся в диапазоне [1,0; 1,4] мЗв.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

[1] СанПин 2.6.1.2523–09 Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009). Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г.Г. Онищенко от 7 июля 2009 г № 47 с 01 сентября 2009 г.

Статистическая обработка данных радионуклидного и элементного состава атмосферных аэрозолей

Михайлова Татьяна Андреевна

Машаров Кирилл Сергеевич, Кацаева Елизавета Александровна, Огиенко Артем Владимович

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

tanymisha@mail.ru

Исследования в области физики атмосферных аэрозолей становится очень востребованным направлением в комплексе атмосферных наук, так как атмосферные аэрозоли играют принципиальную роль в быстропротекающих климатических изменениях, являясь важнейшим климатообразующим фактором. А оценка механизмов переноса поллютантов в сложных механических системах – приземном слое воздуха играет важную роль в формировании локальной экологической обстановки. Данная работа посвящена статистической обработке данных радионуклидного и элементного состава атмосферных аэрозолей, при помощи различных методов математической статистики.

Для отбора проб атмосферных аэрозолей использовали фильтровентиляционную установку (ФВУ). Экспонированный фильтр просушивали на воздухе и запрессовывали в таблетки диаметром 35 мм и высотой 10 - 30 мм. Через 14 суток после снятия фильтра его гамма-спектр измеряли в течение 24 часов. Используемые средства и методики пробоотбора и гамма-спектрометрии соответствовали действующим стандартам.

Результаты корреляционного анализа показали, что практически все радионуклиды (кроме ^{210}Pb) имеют прямую зависимость с температурой воздуха и обратную с количеством осадков. Это обусловлено особенностями поступления различных радионуклидов в приземную атмосферу (ветровой подъем пыли, прямое поступление с выбросами предприятий и автотранспорта, перенос воздушными массами и др.).

Фурье-анализ показал, что в среднем, основной (главный) период для всех радионуклидов составляет 50-52 недели, что подтверждает годовой цикла поведения данных элементов в приземной атмосфере. При этом, для ^{238}U подобный годовой ход не выявлен, что связано с особенностью переноса данного радионуклида в экосистемах. Также, в большинстве образцов аэрозольных фильтров уран не фиксировался. Для естественного ^{210}Pb отмечается наличие двух периодов – 50 недель и порядка 16-20 недель. Поведение данного радионуклида отличается наличием максимума как в летний период, так в зимний, что обусловлено техногенным поступлением ^{210}Pb в атмосферу во время отопительного периода и повышением сжигания углеводородного топлива на предприятиях топливной энергетики.

В целом комплексная статистическая обработка данных по содержанию, поведению поллютантов в сложных динамических системах необходима для моделирования и прогнозирования атмосферных процессов, учета вклада выбросов промышленных предприятий в атмосферу, исследования фоновых и характерных уровней загрязненности радионуклидами и металлами приземной атмосферы. Это особенно актуально для крупных промышленных центров.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайнера к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Поступление радиоактивного йода в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС

Назарович Александра Владимировна

Пышкина Мария Дмитриевна, Десятов Денис Дмитриевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Екидин Алексей Акимович, к.ф.-м.н.

kolalls26@mail.ru

Атомная энергетика является важнейшей подотраслью глобальной энергетики и составляет около 11% производимого в мире электричества. В 30 странах эксплуатируется более четырехсот ядерных реакторов на АЭС с общей мощностью около 380 гигаватт электрической энергии [1]. С развитием ядерной энергетики возрастает интерес к проблеме охраны окружающей среды от радиоактивного загрязнения. Это в свою очередь ведет к необходимости исследования закономерностей поведения радиоактивных изотопов в атмосфере, которые являются родоначальником миграции многих радионуклидов [2].

В результате выгорания топлива АЭС образуются сотни продуктов деления, среди которых выделяют изотопы йода: ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{135}I , ^{130}I , ^{134}I , ^{123}I , ^{129}I , некоторые из которых в свою очередь определяют дозовую нагрузку на население и входят в перечень радионуклидов, в отношении которых применяются меры

государственного регулирования в области охраны окружающей среды при выбросах и сбросах в атмосферу [3].

В данной работе анализируются ежегодные данные производства электроэнергии, значения выбросов и сбросов радиоактивного йода АЭС США с РУ типа PWR и BWR за период с 2005 по 2018 г., что позволяет выявить типы реакторов с наилучшей практикой применения методов и технологий, которые минимизируют поступление радиоактивного йода в окружающую среду при нормальной эксплуатации. На основе исходных данных получены удельные показатели поступления радиоактивного йода в атмосферу на каждый ГВт*ч произведенной электроэнергии. Полученные значения удельных показателей находятся в диапазоне от $2,05601E-16$ до $2,89E-01$ ГБк/ГВт*ч.

Список публикаций:

[1] *International Atomic Energy Agency. Indicators for Nuclear Power Development Nuclear Energy Series No. NG-T-4.5 Technical Reports. Vienna: IAEA, 2015.*

[2] *Екидин А.А., Васильев А.В., Васянович М.Е. // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 2 (18). С. 67–74.*

[3] *Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды: Распоряжение Правительства РФ N 1316-р от 08.07.2015. М., 2015 (с изменениями на 10 мая 2019 года).*

Сравнительный анализ мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в городах и сельских поселениях

Огиенко Артём Вадимович

Антонова Екатерина Юрьевна, Машаров Кирилл Сергеевич

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

bort123470@gmail.com

В работе представлены результаты анализа данных измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях Кулешовского сельского поселения, Матвеево-Курганского сельского поселения, городов Азов и Донецк. Показано, что эти значения соответствуют средним значениям по России, и полностью соответствуют нормам радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009). Важно было понять, насколько воздух в городах, пусть и не больших, загрязнён сильнее, чем в посёлках.

В каждом населённом пункте были выбраны контрольные участки, на которых с помощью дозиметра-радиометра было проведено по 500 измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч). Для более точной и объективной оценки измерения велись на участках с разной загруженностью, в том числе и рядом с жилыми домами частного сектора. Данные исследований представлены в таблице (мкЗв/ч):

	Кулешовка	Матвеево-Курган	Азов	Донецк
Минимальное значение	0,01	0,01	0,01	0,01
Максимальное значение	0,24	0,22	0,3	0,3
Среднее значение	0,11	0,12	0,14	0,18

Необходимо отметить, что в городах (Азов, Донецк) среднее и максимальное значения МЭД выше, чем в сельских поселениях (Кулешовка, Матвеево-Курган). Это обусловлено излучением от асфальтового покрытия на всех контрольных участках в городах, большим количеством автотранспорта (особенно грузового) и зданий, а также, наличием в городах крупных промышленных предприятий. Всё это негативно сказывается на экологии в целом. Так же, стоит отметить, что в малых сельских поселениях степных регионов Ростовской области сложная ветровая обстановка, что тоже может быть причиной небольшого среднего значения МЭД. В целом МЭД на исследуемых территориях находится в пределах 0,11-0,18 мкЗв/ч, соответствует Нормам радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009) и характерна для территорий Ростовской области.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайнера к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Методы полевой спектрометрии в радиоэкологических исследованиях

Пыхов Олег Александрович

Екидин Алексей Акимович, Пышкина Мария Дмитриевна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Екидин Алексей Акимович, к.ф.-м.н.

pyhovoleg31@gmail.com

Безопасность функционирования любого радиационно-опасного объекта может быть подтверждена результатами мониторинга источников радиационного воздействия и радиоэкологического мониторинга объектов окружающей среды в зоне потенциального воздействия [1]. Полевые исследования также применяются для исследования «нулевого фона» объектов использования атомной энергии, на которых планируется обращение с радиоактивными веществами, содержащие гамма-излучающие радионуклиды.

Радиоэкологические исследования территории включает в себя как измерения *in situ* – то есть, в полевых условиях, так и лабораторные измерения удельных активностей с предварительным отбором проб почвы. Первый вариант позволяет оперативно получить результаты, но с высоким значением нижнего порога измерения удельной активности. Второй вариант требует затраты времени на отбор проб, подготовку счетных образцов и выполнения измерений. К достоинствам *in situ* метода относятся оперативность оценки ситуации, аномалий, а значит и принятия мер по их ликвидации. Применение метода измерения *in situ* наиболее актуально для предприятий, где происходит обращение с радиоактивными веществами на большой территории [2, 3]. Для предприятия АО «Далур» гамма-спектрометрические измерения *in situ* позволяют в короткое время сделать оценку уровней содержания природных радионуклидов в почве и грунте на участках добычи урана методом подземного выщелачивания.

С целью возможности выполнения экспресс оценки воздействия на окружающую среду технологических процессов по добыче урана, проведено тестовое применение полевого спектрометра МКС-АТ 6501 ДР для определения удельной активности К-40, Ra-226, Th-232 в почве вблизи скважин для подачи реагентов и скважин извлечения продуктового раствора. Измерения *in situ* проведены в двух геометриях – 2л и 4л. Для сравнения результатов измерения *in situ* и лабораторных измерений проведен отбор проб почвы в местах выполнения полевых измерений.

Приведены результаты предварительных *in situ* и лабораторных измерений удельной активности в образцах почвы, отобранных с территории АО «Далур». Результаты измерений *in situ* показали, что удельная активность К-40 в почве в разных точках при разных геометриях измерения – от 277 до 827 Бк/кг, Ra-226 – от 6 до 36 Бк/кг, Th-232 – от 14 до 42 Бк/кг. Согласно результатам исследования образцов в лаборатории, удельная активность – от 553 до 604 Бк/кг, Ra-226 – от 41 до 57 Бк/кг, Th-232 – от 29 до 47 Бк/кг. Из сравнения и анализа результатов полевых и лабораторных измерений, сделан вывод о необходимости исследования несогласованности результатов для Ra-226 и Th-232.

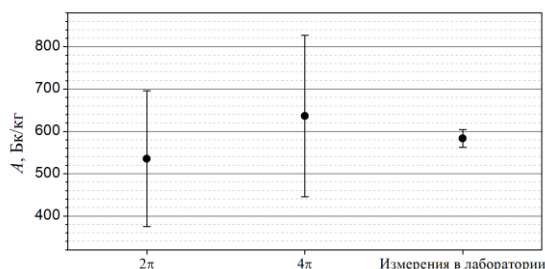


рис. 1 Удельная активность К-40 в образце грунта у откачной скважины

Статистически значимых различий не установлено для определения удельной активности К-40 (рис. 1). Результаты тестовых измерений необходимы для планирования радиоэкологического мониторинга участков добычи урана на длительный период.

Список литературы:

- [1] Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты: серия норм безопасности МАГАТЭ. №. RS-G-1.8. Вена: Международное агентство по атомной энергии – 2016.
- [2] Екидин А.А., Павлюк А.В., Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Михеев А.А. Радиоэкологический мониторинг пункта хранения монацитового концентрата. // ТехНадзор. 2010. № 1. С. 42.
- [3] Екидин А.А., Васянович М.Е., Наливайко А.В. Применение гамма-спектрометрии для выявления техногенного загрязнения почвы ураном. Принципы экологии. 2013. № 2 (6). С. 29-35.

Радиационная обстановка на территории г. Волгодонска

Ревнищев Илья Сергеевич

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

ahk063@gmail.com

Город Волгодонск был основан в 1950 году. Расположен он на среднем юге части России на берегу Цимлянского водохранилища. Город находится в зоне с континентальным климатом. Население Волгодонска на момент 2018 года составляет 171129 человек. Город Волгодонск является городом-спутником Ростовской АЭС. Стоит упомянуть, что, помимо Ростовской АЭС, на территории города расположены три крупных промышленных предприятия, таких как: «ООО» ВКДП, Волгодонский Химический завод «Кристалл», АТОММАШ. Именно наличие трех промышленных предприятий стало причиной проведенных исследований для оценки влияния этих предприятий на экологическую обстановку города.

Целью работы являлась гамма-дозиметрия территории города Волгодонска с последующим определением и обсуждением полученных результатов. Гамма-дозиметрия производилась вокруг промышленных предприятий г. Волгодонска, а также на окраине и в центре новой части города. Измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) на обозначенных территориях производилась методом пешеходной гамма-съемки на высоте 1 метр над землей при помощи дозиметра-радиометра «ДКС-96». Ниже, на *рис. 1* и в таблице представлены результаты статистической обработки данных МЭД как во всему г. Волгодонску, так и на территориях отдельных предприятий.

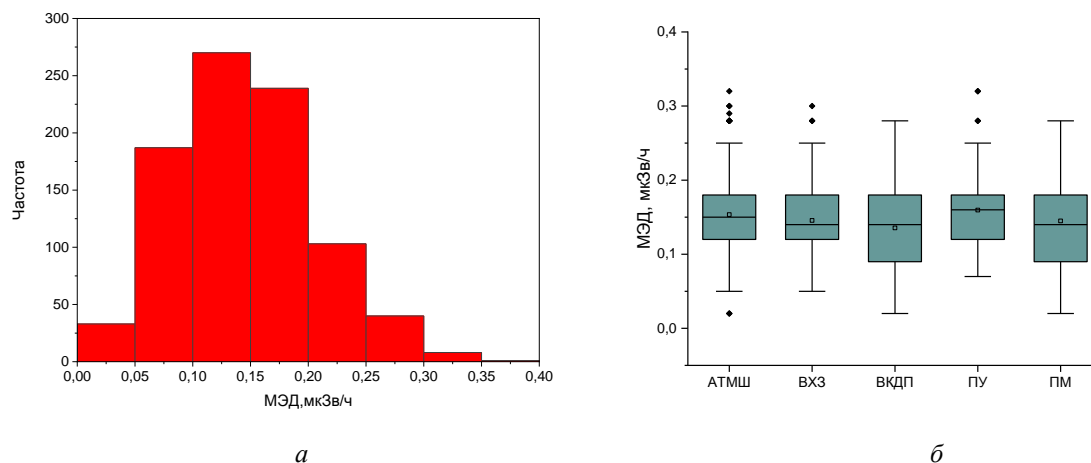


рис. 1. Распределение МЭД в г. Волгодонске: а) диаграмма распределения МЭД по городу; б) Распределение МЭД на предприятиях

Параметр	МЭД, мкЗв/ч
Среднее	0,15
Минимальное	0,02
Максимальное	0,32
Мода	0,14
Медиана	0,14

Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Волгодонске приближается к нормальному (*рис. 1*), средние и модальные значения (*Таблица*), не превышают гамма-фон, установленный Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 Российской Федерации (0.30 мкЗв/ч). В целом, полученные значения соответствуют вариациям, установленных в других регионах мира (0.10 – 0.20 мкЗв/ч) [1-3].

Для Ростовской области наблюдаются незначительные превышения (0.25 – 0.29 мкЗв/ч) средней МЭД, что объясняется геоморфологическими особенностями: повышенные значения приурочены, как правило, к овражно-балочным системам (повсеместно распространенным в Ростовской области), на дне которых происходит накопление почвенного ^{222}Rn . Для г. Волгодонска повышенные МЭД могут быть также обусловлены излучением от зданий и сооружений, асфальтового покрытия, выбросами автотранспорта и предприятий топливной энергетики.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

- [1] Vysokoostrovskaya, E.B., Krasnov, A.I., Smyslov, A.A., 1996. A map of natural gamma radiation doses in the Russian territory. Proc. Int. Conf. on Radioactivity and Radioactive Elements in the Human Environment (Tomsk, 22–24 May 1996). Tomsk. Politekhn. Univ, Tomsk, 177–179.
- [2] Wang, W.X., Yang, Y.X., Wang, L.M., Liu, Q.C., Xia, Y.F., 2005. Studies on natural radioactivity of soil in Xiazhuang uranium ore field, Guangdong, China. Environ. Sci. 25, 120–123.
- [3] Song, G., Chen, D., Tang, Z., Zhang, Z., Xie, W., 2012. Natural radioactivity levels in topsoil from the Pearl River Delta Zone, Guangdong, China. J. Environ. Radioact. 103, 48–53.

Естественные радионуклиды в компонентах экосистем на примере горной Адыгеи

Сидорина Ульяна Андреевна

Ведуценко Кирилл Витальевич, Ширяева Анастасия Андреевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

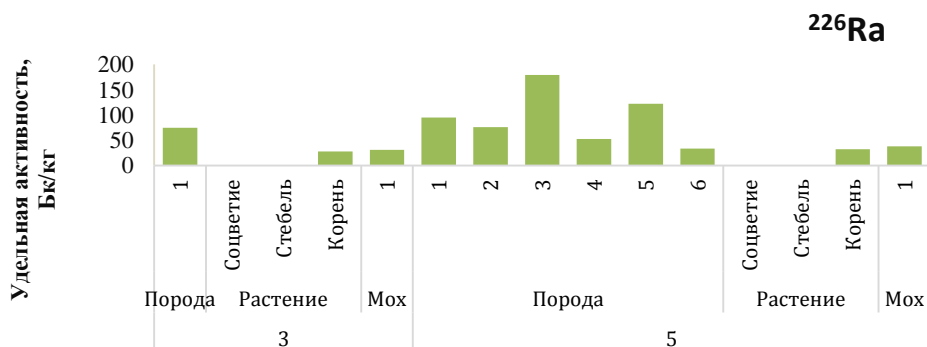
ulianasidorina72@gmail.com

Анализ данных по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , является одним из основных способов контроля радиационной обстановки отдельных участков местности, так как данные радионуклиды являются дозообразующими и на природных территориях, наряду с радоном и в отсутствие загрязненности искусственным радиоцезием формируют гамма-фон на открытой территории.

Республика Адыгея – район, с большим разнообразием почв, пород, растительного покрова, объектов биофлоры, в том числе и с повышенным содержанием ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . В данной работе рассматриваются растения (Камнеломка) и объекты биофлоры (Пилезия многоцветковая), прорастающие на различных гранитоидных породах, особенности которых также влияют на характер перераспределения радионуклидов в окружающей среде.

В работе оценены особенности распределения естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в различных компонентах экосистем на территории Майкопского района, отобранных в экспедициях 2017-2018 годов. Для оценки распределения естественных радионуклидов в объектах экосферы были заложены участки контроля вдоль трассы Майкоп-Гузерибль на выходах (обнажениях) различных пород. Удельную активность радионуклиды в образцах пород, растения и мхов определяли гамма-спектрометрическим методом на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс-гамма». Методики отбора и подготовки проб использовались стандартные. Перед отбором проб измеряли мощность эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами-радиометрами ДРБП-03 и СРП-88н.

На рис. 1 представлены особенности распределения радионуклидов в компонентах экосистем на исследуемых участках. На участках №3 и №5 кроме пород, были отобраны растения и образцы мхов. На участке 3 распространены сильно микроклинизированные граниты из зоны тектонического разлома. На поверхности зеркало скольжения. На участке №5: 1 и 4 – биотитовый гранит микроклинизированный. Содержание биотита примерно 15%; 2 – биотитовый микроклинизированный гранит, биотит замещается хлоритом; 3 – микроклиновый гранит, образующий жилу в биотитовом граните; 5 – сильно микроклинизированный биотитовый гранит; 6 – сильно выветрелая гранитоидная порода. По трещинам развит желтовато-бурый глинистый агрегат, полевошпаты мутно белого цвета.



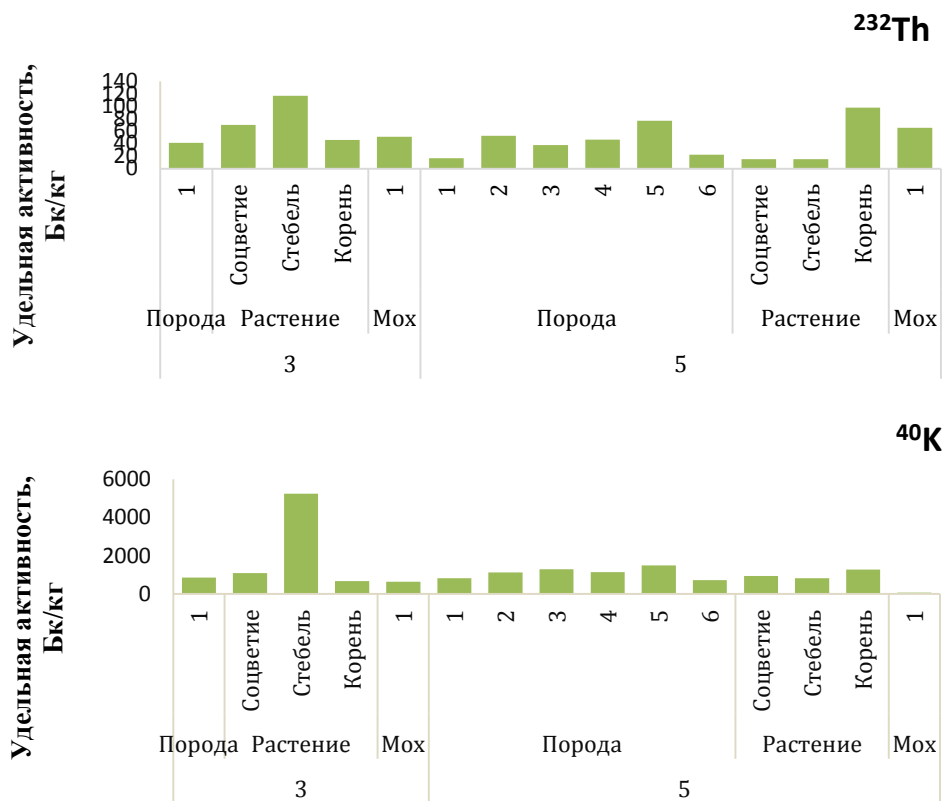


рис. 1. Распределение естественных радионуклидов в компонентах экосистем

В целом содержание ЕРН в образцах гранитоидов довольно высокое, эффективная активность (НРБ-99/2009) изменяется в пределах 250-370 Бк/кг, за исключением образца 5-6 (выветрелая гранитоидная порода).

В Камнеломке (лат. *Saxifraga*) ^{226}Ra фиксируется только в корнях, а ^{232}Th и ^{40}K еще и в стеблях и соцветиях. Можно предположить, что это связано с тем, что слабоподвижный радий неравномерно распределен в различных участках биосферы. Накопление радия в органах и тканях растений подчиняется общим закономерностям поглощения минеральных веществ и зависит от вида растения и условий его произрастания. Как правило, в корнях и листьях травянистых растений радия больше, чем в стеблях и органах размножения [1].

В растительном организме калий находится преимущественно в виде ионов, рыхло связанных с протоплазмой. Главная физиологическая функция калия заключается в способности повышать обводненность протоплазмы и увеличивать ее вододерживающую силу. Кроме того, калий участвует в активном транспорте ассимилянтов к органам запаса и необходим для усвоения аммония [2]. Накопление калия значительно больше в молодых жизнедеятельных частях и органах растения, чем в старых, в случае тория происходит наоборот. Растворимое соединение тория растения легко поглощают. Торий – достаточно слабоподвижен и его накопление растительностью может быть обусловлено механическим загрязнением органов растений.

В целом объекты бриофлоры активно используются в качестве биоиндикаторов в силу значительных сорбционных свойств, обусловленных физиологией данных представителей флоры. Исследования по оценке накопления и переноса радионуклидов в различных компонентах экосистем необходимы и для расчетов дозовых нагрузок на территориях с природными и искусственными источниками ионизирующих излучений, а также для выявления растений-индикаторов, характерных для данной местности.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных multifunctional систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

- [1] Вернадский В. И. О концентрации радия растительными организмами, «Докл. АН СССР. Сер. А», 1930, № 20; Радиоэкологические исследования в природных биогеоценозах, М., 1972.
 [2] Ильин В. Б. Элементный химический состав растений В. Б. Ильин. - Новосибирск: Наука, 1985. - 130 с.

Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону

Шадин Антон Евгеньевич

Каменев Олег Валерьевич, Ерчихин Александр Дмитриевич

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

antonshadin@yandex.ru

Гамма-излучение относится к ионизирующему электромагнитному излучению способному взаимодействовать с веществом, приводя к ионизации его атомов и молекул. В случае взаимодействия с молекулами клеток организма человека существует риск их гибели или повреждений, способствующих появлению стохастических эффектов, таких как раковые и наследственные заболевания, а также сокращение продолжительности жизни. Риск такого развития повышается при увеличении дозы, однако величина дозы облучения не определяет тяжесть эффектов. Для учёта биологических эффектов различных видов ионизирующего излучения в единицу времени вводится понятие мощности эквивалентной дозы (МЭД), выражаемую в отношении дозы к времени и измеряемую в мкЗв/ч, принимающей во внимание удельную ионизацию излучения и энергию излучения, переданную массе вещества (поглощённая доза).

Человек подвергается воздействию гамма-излучения от природных и искусственных источников постоянно. Особую осторожность стоит проявлять жителям больших промышленных городов, так как они находятся в окружении большего числа таких источников. Мониторинг радиационной обстановки необходим для формирования мер защиты и снижения влияния гамма-излучения на население.

В данной работе представлены результаты оценки МЭД в различных районах г. Ростова-на-Дону. Город Ростов-на-Дону является административным центром Южного федерального округа и Ростовской области. Он расположен на юго-востоке Восточно-Европейской равнины, на обоих берегах реки Дон в 46 км от места её впадения в Азовское море и в 380 км от Чёрного моря. Климат Ростова-на-Дону – умеренно континентальный, с мягкой зимой и жарким летом. По данным за 2019 год население города 1133307 человек. На территории города находятся такие крупные промышленные предприятия как ОАО «Алмаз», ООО «КЗ "Ростсельмаш"», ОАО «Роствертол», ООО «Горизонт», завод «Прибор», ОАО «Завод „Квант“», Завод «Молот», «ЗАО «Агат»», ЗАО «Эмпилс», ФГУП РНИИРС и др. В п. Большие Салы находится подземное захоронение радиоактивных отходов ФГУП «РосРАО», в Волгодонском районе Ростовской области расположена Ростовская АЭС с четырьмя действующими энергоблоками.

Ниже, на *рис. 1* представлены результаты статистической обработки данных МЭД как во всем г. Ростове-на-Дону, так и в отдельных районах.

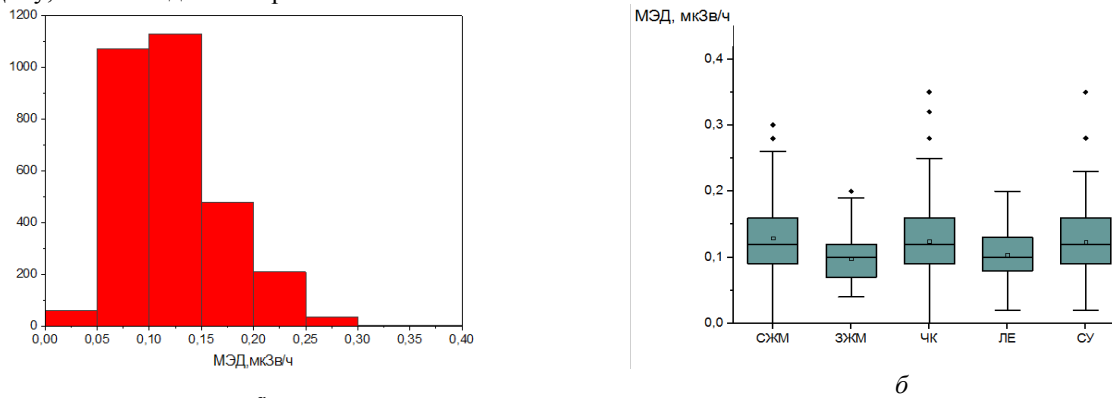


рис. 1. Распределение МЭД в г. Ростове-на-Дону: а) диаграмма распределения МЭД по городу; б) распределение МЭД в отдельных районах

В г. Ростове-на-Дону наряду с официальным делением на 8 административных районов существуют и исторически устоявшиеся районы: Северный жилой массив (СЖМ), Западный жилой массив (ЗЖМ), микрорайон Чкаловский (ЧК), микрорайон Левенцовский (ЛЕ), жилой комплекс Суворовский (СУ). Исследования проводились в данных районах методом пешеходной гамма-съемки вдоль основных улиц. Использовали дозиметры-радиометры как ДКС-96 и ДРБП-03. Измерения МЭД проводились на высоте 1 м от поверхности земли.

МЭД гамма-излучения как по городу, так и отдельных районах находится в пределах 0,10-0,15 мкЗв/ч, что не превышает гамма-фон, регламентированный Нормами радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009 – 0,3 мкЗв/ч). При этом, на отдельных территориях имеют место повышенные значения МЭД, достигающие или превышающие 0,3 мкЗв/ч. Это может быть обусловлено, как наличием

отделки зданий, сооружений, памятников пешеходных переходов природными материалами (например, гранитами) с повышенным содержанием естественных дозообразующих радионуклидов, так и загруженностью улиц автомобильным транспортом (особенно, в часы пиковых нагрузок).

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных multifunctional систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Динамика удельной активности ^{137}Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС

Швецова Дарья Алексеевна

Бобылев Вячеслав Александрович, Ляхова Наталья Викторовна, Джуря Кирилл Олегович

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

Dashik.shvet@yandex.ru

Радионуклиды, попадая в почву естественным или искусственным путем, несут большую опасность для всей биосферы в целом. Например, загрязнение почв ^{137}Cs в долгосрочной перспективе может привести к онкологическим заболеваниям [1]. В данной работе будет показана динамика вертикального распределения ^{137}Cs в почвенном профиле с 2000 по 2017 год и оценена зависимость миграции данного радионуклида от физико-химических свойств почвенного покрова. Исследования проводились в пределах тридцатикилометровой зоны наблюдения Ростовской АЭС (РоАЭС) на четырех контрольных участках в экспедициях 2000, 2001, 2004, 2011, 2015 и 2017 годах.

Почвы на данных участках характеризуются высоким содержанием карбонатов и представляют, в основном, каштановые почвы [2, 3]. Границы значений по содержанию гумуса в данных почвах находятся в пределах 4,3 – 5,0 %. Содержание ^{137}Cs во всех рассматриваемых типах почв варьируется в пределах от 1,1 до 78 Бк/кг.

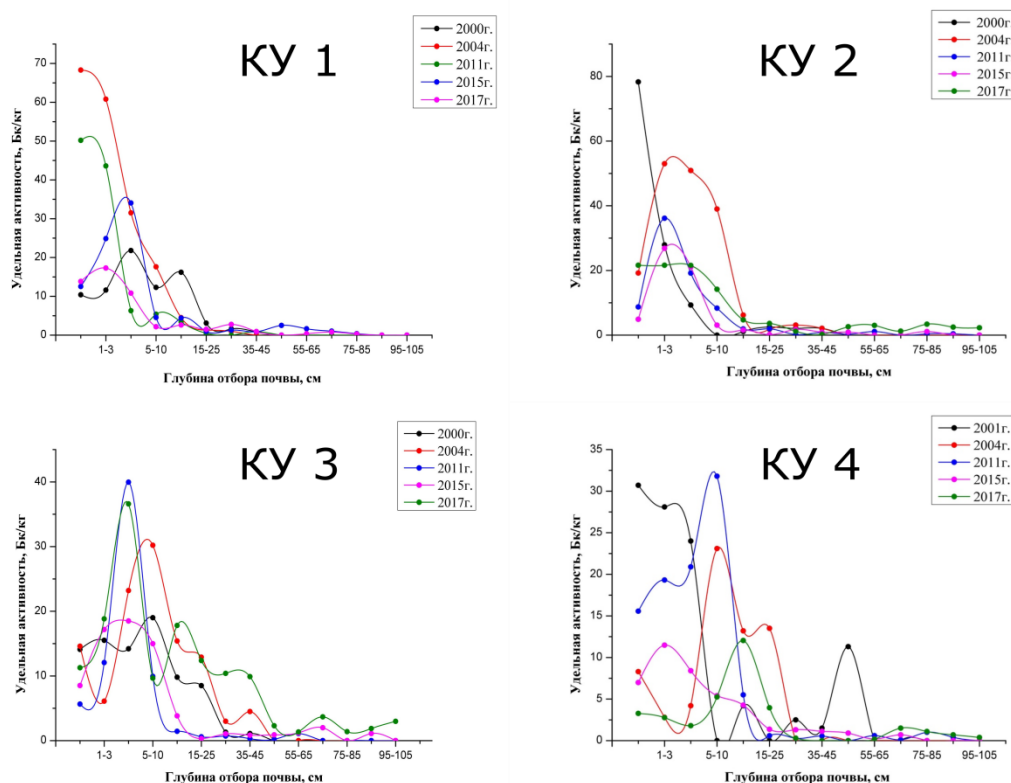


рис.1. Распределение ^{137}Cs по профилям на всех контрольных участках

На КУ 1 с темно-каштановым солонцеватым тяжелосуглинистым на лессовидных суглинках типом почв в основном наблюдается максимальная концентрация радиоцезия в верхних слоях (0-1) и его резкое убывание с глубиной. Это объясняется тем, что в солонцеватых почвах имеется залегание солонцового горизонта на

глубине ниже 18 см, который характеризуется максимальным скоплением коллоидов, насыщенных поглощенным натрием. Этот слой почвы имеет очень высокую плотность, что препятствует проникновению влаги в нижние слои. Распределение ^{137}Cs на КУ 1 по глубине почвенного профиля можно охарактеризовать как «диффузионное» [3, 4].

Профиль радиоцезия на КУ 2 (каштановые солонцеватые тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках) также относится к «диффузионным». Это можно проанализировать, обращаясь к рисунку 1. За 2000 год наблюдается максимальное содержание радиоцезия в верхнем почвенном горизонте, а далее происходит постепенный спад его концентрации с увеличением глубины. За остальные временные промежутки наблюдений максимумы удельной активности ^{137}Cs варьируются в пределах дернового горизонта (0-10 см), что так же объясняется удерживанием радионуклида в данном почвенном слое, в том числе и за счет более высокого содержания гумуса [6].

Во всех почвенных профилях радиоцезий убывает с глубиной. Однако наблюдается смещение максимумов удельной активности вглубь, иногда можно наблюдать два максимума. Такой тип профилей радиоцезия называют «промывным», то есть сквозное промачивание почвенно-грунтовой толщи, вплоть до грунтовых вод [3]. В данном типе почв радиоцезий регистрируется почти по всей глубине профиля.

Профиль радиоцезия на КУ 3 (луговато-каштановые тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках) относится к профилям «промывного» типа. Практически за каждый год исследований максимум содержания ^{137}Cs приходится на глубину 3-5см, наблюдается неравномерное убывание радионуклида с глубиной. Также на рисунке 1 видно, что содержание радиоцезия обнаруживается по всей толщине почвенной пробы. Скорость переноса ^{137}Cs увеличивается при кольматаже – после длительного сухого периода почва механически разрушается и при коротких обильных последующих осадках радиоцезий может быстро проникнуть на значительную глубину.

По содержанию ^{137}Cs в профиле почв на КУ 4 с аллювиально-луговым легкосуглинистым типом почв на аллювиальных погребенных отложениях относится к профилям «промывного» типа. На рисунке 1 прослеживается разброс максимумов по глубине от 1-3 см до 45-55 см.

Тем самым вертикальное распределение ^{137}Cs во многом зависит от типа почв, морфологии, их агрохимического состава (гумус, рН, Р), а также от климатических условий.

Работа выполнена в рамках темы: «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайнера к производственным технологиям». (Открытый конкурс исследовательских лабораторий ЮФУ-2020).

Список публикаций:

[1] Моисеев А. А. // Цезий-137: окружающая среда; человек. М: Энергоатомиздат. 1985. С. 189.

[2] Бураева Е.А., Давыдов М.Г. и др. // Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах и донных отложениях Цимлянского водохранилища в районе расположения РоАЭС. Москва: В сб. научных трудов научно-технической конференции «Научно-инновационное сотрудничество». 2002. № 2. С. 132-133.

[3] Бураева Е.А., Давыдов М.Г. // Радиоэкологический мониторинг зоны наблюдения Волгодонской АЭС. 2010. №2. С.154-159.

[4] Кобцева М.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г. // Распределение ^{137}Cs в зависимости от физикохимических показателей почв тридцатикилометровой зоны Волгодонской АЭС. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 2а. С. 175-179.

21 - Проблемы и методологии преподавания физики. История физики и техники.

Воробьев Максим Олегович, учитель физики

Тамбов, Школа № 3 г. Котовска Тамбовской обл., ИМФИ

Проведение внеклассного школьного мероприятия в формате «СтендАП-физика»

e-mail: vorob--yov@mail.ru стр. 430

Гуменюк Лариса Сергеевна, 2 курс

Санкт-Петербург, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, физики

Методологический компонент школьного курса физики как основа преподавания `Индивидуального проекта`. Возможности школьного физического эксперимента.

Комаров Борис Алексеевич, к.п.н.

e-mail: larisergeevna@gmail.com стр. 431

Дьякова Софья Анатольевна, 4 курс

Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический

Активация познавательного интереса учащихся средствами научного физического эксперимента при изучении физики в средней школе

Вяткин Алексей Анатольевич, к.ф.-м.н.

e-mail: diakova.s@mail.ru стр. 432

Коноплев Артем Александрович, 2 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Тепловой двигатель Стирлинга в прошлом, настоящем и будущем

Богатин Александр Соломонович, д.ф.-м.н.

e-mail: konoplev.tema@yandex.ru стр. 433

Мандрик Василина Олеговна, 4 курс

Томск, Томский государственный педагогический университет, физико-математический

Формирование экспериментальных умений при подготовке к ОГЭ по физике

Власова Анна Алексеевна, к.ф.-м.н.

e-mail: vasilina.mandrik@yandex.ru стр. 434

Попов Владислав Романович, 1 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

История радиоактивности

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

e-mail: Vladikus1010101@gmail.com стр. 436

Поповская Татьяна Сергеевна, 7 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Опыт формирования исследовательских компетенций будущих учителей физики в процессе участия в проектно-исследовательской деятельности НСО «Геофизика»

Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.

e-mail: tanya14011@mail.ru стр. 436

Ткачев Артём Михайлович, магистрант 2 года обучения

Томск, Томский государственный педагогический университет, физико-математический

Подготовка будущего учителя к активному обучению школьников физике в основной школе

Румбешта Елена Анатольевна, д.п.н.

e-mail: ettamet@yandex.ru стр. 438

Яковлев Игорь Николаевич, 5 курс

Томск, Томский государственный педагогический университет, физико-математический

Проектная деятельность на внеурочных занятиях по физике

Румбешта Елена Анатольевна, д.п.н.

e-mail: yakovlevig97@yandex.ru стр. 439

Проведение внеклассного школьного мероприятия в формате «СтендАП-физика»

Воробьев Максим Олегович

МБОУ СОШ №3 с УИОП г. Котовска Тамбовской области

vorob--yov@mail.ru

Идея проведения открытого внеклассного мероприятия в формате «СтендАП» возникла на стыке известного научно-популярного канала TED, конкурса лженаучных проектов на Всероссийских научных конференциях студентов физиков и молодых ученых [5], а также немного КВН и выступлений стенд АП комиков.

Не для кого не секрет, что дети школьного возраста в силу физиологических особенностей развития некоторых отделов мозга в этот период отличаются высокой подвижностью и низкой усидчивостью, что сильно снижает внимание на уроке и повышает желание пошалить. [1] Задача, которую ставил перед собой автор тезиса заключалась в том, чтобы направить эту бесконечную энергию в нужное русло.

Участникам стендапа предлагались темы выступлений, с которыми им надо выступить перед зрителями - своими одноклассниками, соперниками и жюри, в виде представления просто о сложном, используя все элементы стендап выступлений.

Участие в конкурсе предлагалось всем классам, в которых автор ведет физику, в результате из всех заинтересовавшихся осталось 4 команды: «9 Джоулей», «9 Вольт», «10 ФИЗ не МАТ» и «Александр Масыкин7В». Предложение тем выступлений и подготовка к осуществлялись преподавателем. Выбор тем был сделан с учетом возрастных групп участников и не вызывал особых разногласий, чего нельзя сказать об этапе подготовки. Каждая команда активно участвовала в выборе того или иного способа представления своей темы, потому что, стендап выступление - это огромный спектр вариантов как весело и не сложно представить непростую физическую тему, чтобы ее поняли все зрители и участники мероприятия.

Команда «9 Джоулей» представляла тему «Черные дыры и где они обитают». Ребята в начале выступления сделали предположение можно ли используя черную дыру попасть в будущее, узнать ответы на ОГЭ по математике и вернуться обратно. Затем они представили теорию возникновения черных дыр, какими они бывают, рассказали о первом снимке черной дыры, развеяли теорию об опасности черных дыр из фильма «Интерстеллар», показали что произойдет с космонавтом если он все же доберется до черной дыры, и сделали вывод что если даже удастся каким-то образом, попасть в горизонт событий и пройти зону сингулярности с огромной гравитацией, то вернуться обратно будет уже невозможно. [2]

Команда «9 Вольт» выступала с темой «Измерения Земли». Ребята показали ТВ шоу с машиной времени из недалекого будущего. Где в студию с помощью машины времени по очереди вызывались ученые, известные своими открытиями в области определения размеров Земли. Первым в студию был приглашен Аристарх Самосский, который в 280 г. до н.э. используя измерительный прибор Посох Якова первым определил, что Солнце находится в 19 раз дальше от Земли чем Луна. Затем в студию с помощью той же машины времени был приглашен Эратосфен, который в 250 г. до н.э. с большой точностью определил радиус Земли. И наконец замыкающим гостем этой ТВ передачи был Кеплер, который объяснил, как ему удалось без современных точных телескопов, пользуясь только методом наблюдений, доказать, что орбиты вращения планет вокруг Солнца имеют форму эллипсов, и два других своих не менее важных закона.

Команда «ФИЗ не МАТ» является школьной командой КВН, что помогло им сделать свое выступление самым зрелищным. Ребята выступали с темой «Экзопланеты». На сцене стоял импровизированный космический корабль, на котором команда собиралась полететь на экзопланету, открытую одним из участников команды по данным со снимков телескопа «Хаббл», вращающегося по околоземной орбите. Ребята рассказали какими бывают экзопланеты, какие способы их обнаружения существуют, а также как открыть свою экзопланету. В конце выступления ребята признались, что пока современные ракетносители не способны летать на такие большие расстояния, но то, что сейчас открыто уже более 5000 экзопланет, на некоторых из них даже обнаружена атмосфера, это очень важно для дальнейшего развития космонавтики и астрономии.

Финальным участником конкурса был Александр Масыкин, единственный участник в своей команде, который вместе со своим учителем физики принимал участие в «Зимних астроканикулах 2020» в Крымской астрофизической обсерватории, в поселке Научный в Крыму. Темой выступления Александра было «Астрофото». Участник команды выступал не один, а вместе со своим фотоаппаратом, который стоял на моноподе рядом с ним. Были представлены различные снимки звездного неба и таймлапсы, выполненные Александром на его фотоаппарат на астротроколе, также Александр рассказывал интересные факты о строении и масштабах Вселенной, которые ему запомнились из лекций на Астроканикулах.

В конце выступления командам задавались вопросы от членов жюри и зрителей в зале. Ответы на вопросы также оценивались и учитывались в определении победителя конкурса.

К результатам проведения данного мероприятия можно отнести возрастание интереса к обучению в целом и к предмету, в частности. Участники проекта с удовольствием ходили на все репетиции, активно принимали участие в обсуждениях, изучали новую информацию по теме выступления, обменивались идеями друг с другом и учителем при каждой встрече. Каждая команда по - настоящему была настроена на победу, о чем свидетельствует неподдельный интерес представить свое выступление наиболее ярко. [3,4]

Среди участников конкурса были ребята с неважными оценками по предмету, которые резко изменились в положительную сторону после начала подготовки выступлений. На уроках дети начали внимательнее слушать и вникать в материал, перестали пользоваться ГДЗ при выполнении домашней работы. Александр, побывавший на зимних астроканикулах, со своим учителем, сильно увлекся астрофотографированием и собирается поехать в Крымскую обсерваторию на «Летние астроканикулы - 2020» в августе.

Для всех зрителей кто присутствовал на данном проекте было объявлено, что данное мероприятие будет проводиться ежегодно на неделе физики и математике в школе, поэтому все классы, которые желают принять в нем участие, смогут это сделать, обратившись к учителю физики.

Список публикаций:

[1]. Беренштейн Н. А. «О ловкости и ее развитии» - М. Физкультура и спорт 1991. – 288 с.

[2]. <http://astrotourist.info/moi-lektsii>

[3] Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. Пособие для учителей. М., «Просвещение», 1975.

[4] Усольцев А. П. Модель системы естественнонаучной и технологической подготовки молодежи к инновационной деятельности // Подготовка молодежи к инновационной деятельности в процессе обучения физике, математике, информатике : сб. науч. трудов / под общ. ред. Т. Н. Шамало ; Урал. гос.пед. ун-т. – Екатеринбург, 2013.

[5] <http://www.asf.ur.ru/vdf/>

Методологический компонент школьного курса физики как основа преподавания «Индивидуального проекта». Возможности школьного эксперимента

Гуменюк Лариса Сергеевна

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Комаров Борис Алексеевич, к.п.н.

larisergeevna@gmail.com

В настоящее время в ряде образовательных учреждений активно внедряется новый учебный предмет «Индивидуальный проект» (ИП). Он рассматривается как рядоположенный с другими учебными дисциплинами – такими как история, физика, русский язык, химия и т.д. Однако проблемы методического обеспечения преподавания указанного учебного предмета, формирования преподавательского состава (обучение и переподготовка) являются исключительно актуальными.

Рассматривать «Индивидуальный проект» (ИП) и проектную деятельность (ПД) вне взаимосвязи с учебно-исследовательской деятельностью (УИД) не следует, да и не представляется возможным. В настоящее время делаются попытки «разделить» эти виды деятельности по «продукту». Однако такое «деление» выгладит весьма условно. Остановимся на этой весьма важной методической проблеме несколько подробнее.

Попытаемся определить понятие проектной деятельности с позиции всемерной активизации методологического компонента содержания образования. Проектная деятельность - та деятельность, в рамках которой на фоне формирования методологических основ познавательного процесса создается материальный объективно или субъективно новый продукт. Таким образом, на основе сформулированного определения можно представить общую идею и содержание (возможную методику реализации) “индивидуального проекта” как учебного предмета.

Индивидуальный проект - рассмотрение возможностей учебно-исследовательской и проектной деятельности в реализации концепции современной школы применительно к контексту формирования и последующего использования методологического компонента в содержании образования. Но кто же будет вести данный предмет? С учителями-предметниками всё ясно, их готовят педагогические университеты по всей стране, но направлений подготовки преподавателей по ИП не существует, значит, нужно осуществлять переподготовку уже обученных педагогов, но кого именно? Целенаправленный анализ контента физического образования, методологии физики и методики преподавания физики в школе позволяет сделать вывод об органичной сочлененности и, во многом, тождественности методологии физики и основного содержания “Индивидуального проекта”. Исследования в области физики, методология их практически полностью совпадает по структуре механизма познавательного процесса с содержанием указанного учебного предмета. На

основе анализа содержания деятельности в этой области сформулируем понятие учебно-исследовательской и проектной деятельности.

Проектная деятельность школьников – это деятельность, в рамках которой на фоне *целенаправленного формирования методологических основ познавательного процесса* (методологического компонента МК) создается материальный (объективно или субъективно новый) продукт.

Учебно-исследовательская деятельность школьников – это деятельность, в рамках которой осуществляется *целенаправленное формирование методологических основ познавательного процесса* (методологический компонент МК) в контексте частнопредметной и (или) межпредметной ориентаций.

Следует подчеркнуть, что попытки «разделить» проектную и учебно-исследовательскую деятельности «по продукту» или по наличию или его отсутствию выглядят несколько примитивными, ибо «умозаключение» или вывод в результате УИД вполне можно считать продуктом, а различные формы и виды представления «продукта» в процессе ПД могут выглядеть совсем «нематериальными».

Таким образом, разнесённые по организационно-методическому обеспечению ИП и УИД, выполняют аналогичную функцию с точки зрения реализации идеи формирования методологического компонента в рамках образовательного процесса. Данные виды деятельности не подменяют друг друга, а весьма активно дополняют друг друга. Модель взаимодополнения ПД и УИД может быть активно реализована в том случае, если планомерная работа по организации ПД и УИД практически совпадает, как с точки зрения организационно-методических мероприятий, так и по содержанию деятельности, и по оценке результата. В конечном итоге ПД и УИД, ориентированные на формирование методологического компонента и, как следствие, методологического инварианта, оказывают положительное влияние на формирование ключевых методологических компетенций обучаемых, на освоение содержания образования в целом, на освоение содержания физического образования в частности.

В докладе рассматриваются некоторые возможности использования проектной деятельности учащихся в процессе совершенствования школьного физического эксперимента, в частности, демонстрационного. Приводятся примеры применения разработок учащихся на основе синтезированной теплочувствительной краски при изучении различных видов теплопередачи. Рассматривается методика создания и использования соответствующего приборного парка.

Долго ли этот предмет «просуществует» в учебном плане? Думается, на этот вопрос мало кто с уверенностью ответит[1].

Список публикаций:

[1] *Индивидуальный проект: рабочая тетрадь. 10-11 классы. Учебное пособие /Л.Е.Спиридонова, Б.А.Комаров, О.В.Маркова, В.М.Стацунова. -СПб: КАРО, 2019. -104с).*

Активация познавательного интереса учащихся средствами научного физического эксперимента при изучении физики в средней школе

Дьякова Софья Анатольевна

Ганеева Эльвира Салаватовна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Вяткин Алексей Анатольевич

diakova.s@mail.ru

В настоящее время познавательная активность учащихся в старших классах в значительной степени заменяется отработкой алгоритмов решения типовых заданий Единого государственного экзамена. Такой подход не может гарантированно обеспечить высокий результат итоговой аттестации. В первую очередь это связано с поверхностными знаниями, а не глубоким пониманием сути физических явлений. Последнее предполагает умение применять теоретические знания для решения конкретной практической задачи. Использование учебного экспериментального исследования на уроках физики позволяет повысить уровень усвоения материала [1].

Качественно новый уровень восприятия теоретических закономерностей обеспечивается проведением учащимися научного физического исследования. Однако, уже на этапе организации исследовательской деятельности учитель сталкивается с рядом непреодолимых сложностей. В работе изучается возможность проведения экспериментальных научных исследований по гидродинамике в условиях школы. Указанная научная тематика обладает: легкостью реализации экспериментов с малыми материальными затратами, высокой наглядностью и огромным научным потенциалом. На рисунке (рис.1) показан пример результата

экспериментального исследования поля скорости движения жидкости во вращающемся горизонтальном цилиндрическом слое, подогреваемом изнутри.

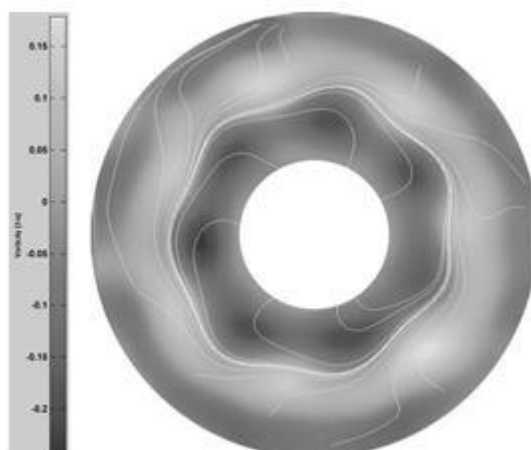


рис.1. Поле скорости движения жидкости во вращающемся горизонтальном цилиндрическом слое, подогреваемом изнутри

Использование физического эксперимента (учебного или научного) в учебном процессе ограничено также по причине отсутствия у учителя предметных компетенций, связанных с организацией и проведением исследования. В работе рассматривается практика формирования у студентов физического факультета ПГГПУ необходимых компетенций для полноценной реализации исследовательской деятельности в средней школе.

Список публикаций:

1. Свентецкая Г.Д. Физический эксперимент как средство активизации познавательного интереса на уроках физики // ФМО. 2016. №3 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fizicheskiy-eksperiment-kak-sredstvo-aktivizatsii-poznavatel'nogo-interesa-na-urokah-fiziki> (дата обращения: 01.03.2020).

Тепловой двигатель Стирлинга в прошлом, настоящем и будущем

Коноплев Артем Александрович

Дмитриев Александр Сергеевич Павленко Михаил Андреевич

Южный федеральный университет

Богатин Александр Соломонович

konoplev.tema@yandex.ru

С началом индустриальной революции мир изменился навсегда. В большей части этому послужили тепловые двигатели. Этот продукт человеческой мысли в своё время изменил все ветви экономики так, что до сих пор ни одно производство не может обойтись без него. Почти весь транспорт работает на тепловых двигателях; они используются для подачи энергии на генераторы; их все ещё иногда используют на производственных предприятиях. Есть основания предполагать, что электродвигатели ещё не скоро вытеснят своих предшественников, так что работа в этом направлении не теряет своей актуальности^[1].

Целью данной работы являлось углубление своих знаний в области механики, конкретнее – в области конструкции и использовании тепловых двигателей, в частности – двигателя Стирлинга. На основе знаний о теоретических и экспериментально полученных значениях КПД тепловых двигателей, их выходных мощностях и способах модернизации. Рассмотрены обычные виды двигателей Стирлинга, а также термоакустический двигатель^{[4][7]}.

Был проведен анализ исторических предпосылок к созданию тепловых двигателей, выяснены причины, приведших к появлению новой разновидности тепловых двигателей. Были разобраны принцип работы двигателей, их плюсы, минусы^[1]. Описаны сферы применения, где двигатель Стирлинга все ещё остается наиболее приемлемым вариантом, а также его возможное применение в будущем.

В результате работы было выяснено, что КПД двигателей Стирлинга выше, чем и ДВС, но выходная мощность меньше. Из трех видов двигателей Стирлинга наибольшим КПД обладает α -тип, а наибольшей удельной мощностью β -тип^{[2][4]}. Но, несмотря на большой КПД, двигатели Стирлинга не нашли такого большого распространения как ДВС, так как производителям машин была важнее выходная мощность и

простота конструкции. Хотя, в настоящее время двигатели Стирлинга используются в таких областях как солнечная энергетика, энергетическое обеспечение подводных лодок и некоторых других^{[2][3][6][5]}.

Список публикаций:

1. Круглов М. Г. «Двигатели Стирлинга» - Москва 1977.
2. Тихонов Е. А. «Перспективы применения двигателей Стирлинга в лесопромышленном комплексе» - Лесотехнический журнал. – 2019г. – Т. 9. – № 2 (34). – 122с.
3. Мехтиев А.Д. Югай В.В. Есенжолов У.С. Калиаскаров Н.Б. «Двигатель с внешним подводом теплоты на основе термоакустического эффекта для автономной тепловой электростанции» - Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика – 2019г. – 23-24с. 27с.
4. Бойназаров Б.Б. Рахимов Д.В.У. Журабоев Н.И.У. «Конфигурация двигателя Стирлинга» - Вестник науки и образования – 2020г. – 7с.
5. Чернышов Е.А. Романова Е.А. Романов А.Д. «Развитие воздухоплавательных энергетических установок подводных лодок» - Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова – 2015г. – 5с.
6. Галушак В.С., Сошинов А.Г., Атращенко О.С., Копейкина Т.В. «СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ ИЛИ ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА – РЕАЛИИ И БУДУЩЕЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ» - Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-3. – С. 385-388
7. <https://habr.com/ru/post/402793/>

Формирование экспериментальных умений при подготовке к ОГЭ по физике

Мандрик Василина Олеговна

Томский государственный педагогический университет

Власова Анна Алексеевна, к.п.н.

vasilina.mandrik@yandex.ru

Важность развития экспериментальных умений отмечена в Федеральном государственном образовательном стандарте общего образования (ФГОС ООО). В главе 2 «Требования к результатам освоения основной образовательной программы основного образования» (ФГОС ООО) говорится, что ученик должен овладеть «умениями формулировать гипотезы, конструировать, проводить эксперименты, оценивать полученные результаты...» [1]. Предметными результатами по физике в соответствии с ФГОС ООО являются: «...приобретение опыта применения научных методов познания, наблюдения физических явлений, проведения опытов, простых экспериментальных исследований, прямых и косвенных измерений с использованием аналоговых и цифровых измерительных приборов; понимание неизбежности погрешностей любых измерений...» [1]. Физика как учебный предмет является основой для формирования и развития экспериментальных умений.

Основные элементы, включаемые в понятие «экспериментальные умения» условно делят на 5 групп [2]: организационные (определение цели эксперимента; выдвижение гипотез; подбор приборов; планирование эксперимента; осуществление самоконтроля); технические (соблюдения правил безопасности; сборка экспериментальной установки, наблюдение); измерительные (измерение физических величин, обработка результатов измерений; вычисление погрешности результата эксперимента); интеллектуальные (описание наблюдаемых явлений и процессов; анализ результатов эксперимента; установление причинно-следственных связей; обобщение и выводы); конструкторские (умение представлять экспериментальные результаты в виде таблиц, графиков).

Перечисленные выше умения могут быть сформированы у учащихся при выполнении домашних опытов, при решении экспериментальных задач и, конечно, при выполнении лабораторных работ по физике. Федеральным базисным учебным планом на лабораторные работы по физике в основной школе (7-9 кл.) отведено около 20 часов. Этого времени недостаточно для формирования экспериментальных умений и навыков. Кроме того, не во всех школах есть необходимое оборудование для проведения лабораторных работ. Для учащихся, желающих сдавать основной государственный экзамен по физике (ОГЭ), необходимо организовать дополнительную подготовку, тем более одно из заданий экзамена (экспериментальное) предполагает работу с реальным оборудованием. Ученик, используя предоставленный ему комплект оборудования, выполняет задание, демонстрируя экспериментальные умения.

В Центре дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования на базе Томского государственного педагогического университета реализуется образовательный курс «Подготовка к ОГЭ по физике (лабораторные работы)». Курс предполагает индивидуальное выполнение учащимися всех лабораторных работ школьного курса физики, а также экспериментальных заданий ОГЭ, не являющихся обязательными в образовательной программе.

Рассмотрим на примере данного курса формирование у учащихся таких умений как: умение правильно подбирать приборы для эксперимента; умение устанавливать причинно-следственные связи; умение представлять экспериментальные результаты в виде таблицы, графиков. Считаем, что формирование указанных умений эффективно при использовании элементов исследовательского метода [3], суть которого заключается в самостоятельном поиске знания учащимися. В ходе проведения лабораторных работ учащимся предлагаются дополнительные задания в логике исследовательского метода – наблюдение процессов и явлений, вопросы проблемного характера, выдвижение гипотезы и её проверка, анализ экспериментальных данных, подведение итогов, вывод.

В школьном курсе физики предлагается лабораторная работа «Регулирование силы тока реостатом», где имеющийся у ученика набор оборудования нужно собрать в электрическую цепь и, вращая ручку реостата, наблюдать за показаниями амперметра. В нашем курсе эта работа предполагает исследование зависимости силы электрического тока в резисторе от напряжения на его концах. Работа дополнена заданиями и проблемными вопросами: «Какое оборудование необходимо для проведения эксперимента?», «Представьте результаты работы в виде таблицы и графика зависимости силы тока от напряжения». Каждый ученик выполняет работу в своём режиме, в случае затруднений учитель или консультант задаёт направляющие вопросы.

Для проверки сформированности умений у учащихся была разработана самостоятельная работа, в которой представлены задания по изученным темам школьного курса физики. В предлагаемой нами самостоятельной работе 6 заданий, где: 1 и 3 задания направлены на проверку умения подбирать необходимое оборудование; 2 и 6 задания – оформлять результаты в таблицу; 4 и 5 задания – устанавливать причинно-следственные связи.

В исследовании участвовало 15 учащихся. Работа была проведена до начала курса «Подготовка к ОГЭ по физике (лабораторные работы)», когда учащимися в общеобразовательных учреждениях уже были проделаны все лабораторные работы, предусмотренные школьной программой, и после курса. Результаты проверки работ учащихся (рис.1) позволяют нам утверждать, что формирование в рамках курса «Подготовка к ОГЭ по физике (лабораторные работы)» выделенных нами экспериментальных умений эффективно при использовании элементов исследовательского метода.



рис.1 Результаты выполнения самостоятельной работы учащимися.

Список публикаций:

- [1] Федеральные государственные образовательные стандарты общего образования: официальный сайт Министерства образования и науки Российской Федерации. URL: <https://fgos.ru/> (дата обращения: 10.12.2019)
- [2]. Вивюрский В. Я. Методика химического эксперимента в средней школе [Текст] : [методическое пособие для преподавателей химии] / Вивюрский В. Я. // Химия. Приложение к газете "Первое сентября". - 2004. - Дек. (N 45). - С. 5-7.
- [3]. Исследовательский метод в педагогической работе / Б. Е. Райков, В. Ю. Ульянинский, К. П. Ягодовский. - 2-е изд. - Ленинград : Гос. изд-во, 1924. - 66, [2] с.

История радиоактивности
Попов Владислав Романович
Южный федеральный университет
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
Vladikus1010101@gmail.com

Конец XIX в. в истории физики отмечен рядом принципиальных открытий, которые вызвали переворот в научных взглядах физиков. Одним из этих открытий является радиоактивность [1]. Её история связана, как и с случайностью, так и с невероятным трудолюбием, которое и помогло продвинуть не только понимание окружающего нас мира, но и технологии [2,4,6].

Целью данной работы является углубление своих знаний в области ядерной физики, конкретнее – в области радиоактивности. Понять, как открытие данного явления отразилось на развитии науки, медицины, промышленности и технологий [2,3,5,7,8]. Также ознакомление с личностями, которые стояли за данным открытием [2,4].

Был проведён анализ введения радиоактивности как явления. Был разобран принцип действия радиоактивности, а также были затронуты законы, природу которых, получилось объяснить лишь с обнаружением радиоактивности [1]. Описаны сферы применения, где радиоактивность активно используется и к каким последствиям это ведёт [2,3].

В рамках данной работы было выяснено что открытие радиоактивности позволило продвинуть не только медицину и технологии, что позволило лечить онкологические заболевания, а также сыграло ключевую роль в исследовании электрона [2,3,4,5,7,8].

Список публикаций:

- [1] *Раджабов О.Р. «Философско-методологические основы квантовой картины мира» - Гуманизация образования -2009г. – 126-130с.*
- [2] *Морачевский А.Г. «Путь от лучей Беккереля к атомной бомбе.» - Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018г. – 212-221с.*
- [3] *Цой Р.Т., Турусбекова С.Т., Барсуков А.И., Цой О.В., Айтказина К.С. Заитов М.Р. «Влияние малых доз природного радиационного фона на нейропсихологические функции человека в условиях города Алматы.» - Вестник Казахского Национального медицинского университета – 2018г. – 172-172с.*
- [4] *Мельник Н.А. «Жизнь и деятельность Марии Кюри, и ее вклад в развитие ядерной медицины.» - Вестник Кольского Научного центра РАН – 2017г. – 98-111с.*
- [5] *Сонин Г.В. «В поисках реликтового вещества сверхновой в протосолнечной туманности (проект структурно-изотопного исследования метеоритов геологического музея Казанского университета.)» - Евразийский Союз Ученых – 2016г. – 139-142с.*
- [6] *Шевченко Е.В. «Случайные открытия в естествознании, вписанные в контекст медицинской физики.» - Сибирский медицинский журнал (Иркутск) – 2014г. – 125-127с.*
- [7] *Мамедова С.М., Мамедов М.К. «Радиоиммунологические методы и развитие лигандного иммуноанализа - Биомедицина (Баку) – 2004г. – 40-43с.*
- [8] *Гудзенко В.В., Деяк М.А., Кутный В.А., Науменко С.П. «Радиоактивность продуктов грязевого вулканизма.» - Геология и полезные ископаемые мирового океана – 2007г. – 72-82с.*

Опыт формирования исследовательских компетенций будущих учителей физики в процессе участия в проектно-исследовательской деятельности НСО «Геофизика»

Поповская Татьяна Сергеевна
Южный федеральный университет
Петрова Галина Григорьевна
tanya14011@mail.ru

В соответствии с законом РФ «Об образовании» молодой специалист должен владеть не только профессиональной информацией, но и исследовательской культурой, позволяющей ему всесторонне развиваться. Поэтому современное высшее профессиональное образование ориентируется на подготовку выпускников, владеющих исследовательскими компетенциями. Внедрение в учебный процесс материалов проектного и исследовательского содержания способствует развитию проектно-исследовательской компетенции студентов [1].

Формирование исследовательских компетенций студентов в процессе участия в проектной деятельности по физике в рамках НСО осуществляется путем смещения акцента с процесса пассивного накопления

обучающимися суммы знаний на овладение ими способами деятельности. В то же время, само понятие «исследовательская компетенция» означает заранее заданное социально значимое требование к самостоятельной познавательной деятельности, владению способами действий в нестандартных ситуациях, владению способами физического и духовного саморазвития, а также информационно-коммуникативными технологиями [2]. «Исследовательская компетенция» это не только совокупность конкретных навыков, но и определенного рода реакция на нестандартные ситуации, предполагающие постоянное саморазвитие, основа которого отвечает запросам современного общества, что и реализуется с помощью проектной деятельности.

Научное студенческое общество (НСО) «Геофизика» Физического факультета Южного федерального университета организует проектно-исследовательскую деятельность студентов по физике атмосферы. Студенческая исследовательская группа ведёт свою историю с 1931 года. Данная группа имеет богатый опыт и традиции организации исследовательской деятельности студентов – будущих учителей физики [1]. В течение всей деятельности НСО его участники выполняют различные виды деятельности, способствующие образованию основных компонентов исследовательской компетенции: мотивационного, когнитивного, личностного и деятельностного.

Благодаря личной заинтересованности, осознанию важности и необходимости решения поставленной научными руководителями исследовательской задачи студенты-геофизики в период летних каникул участвуют в ежегодных исследовательских экспедициях, набирая вместе с сотрудниками кафедры общей физики научный материал. Затем на протяжении всего учебного года студенты геофизической группы совместно с сотрудниками кафедры обрабатывают и анализируют полученные в исследовательских экспедициях данные. За последние 30 лет студенты геофизической группы приняли участие во многих экспедициях в разных районах Ростовской области. Экспедиционные исследования проводились также в Прибайкалье (совместно с кафедрой метеорологии Иркутского университета, 1987-1991), в Приэльбрусье на высокогорной метеостанции (совместно с Высокогорным геофизическим институтом в Нальчике, гора Чегет, 3050 м). С 2014 года экспедиции проводятся совместно с Институтом физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН на Цимлянкой (2014-2017) и Кисловодской высокогорной (2018-2019) научных станциях ИФА РАН. В течение двух лет участники экспедиций работают с данными, связанными с измерениями электрических характеристик атмосферы на плато Шаджатмаз Карачаево-Черкесской республики. Участие в экспедиционных исследованиях кафедры, в организации физических измерений в полевых условиях рядом с учеными из разных научных учреждений способствует формированию мотивации, операционной и организационной составляющей деятельностной компоненты исследовательской компетенции. При этом формируется умение планировать свою деятельность и время; умение устанавливать причинно-следственные связи; получение навыков обработки и систематизации данных; анализ результатов, поиск закономерностей и т.д.

Регулярно проводимые в геофизической группе семинарские занятия совершенствуют все компоненты исследовательской компетенции. Примеры тем, рассматриваемых на семинарских занятиях НСО «Геофизика»:

- Современные представления об электричестве приземного слоя;
- Методы измерения электрических параметров атмосферы;
- Электродный эффект земной поверхности;
- Радиоактивность почвы и атмосферы как ионизатор приземного слоя;
- Аэрозоли и способы их образования и методы измерения их концентрации.
- Методы обработки экспериментальных данных.

На каждом семинарском занятии выступает студент с докладом по определенной теме, поэтому до семинарских занятий студенты под руководством преподавателей подготавливаются к выступлению по выбранной теме, прорабатывая соответствующую научную информацию и используя последние результаты измерений. В свою очередь, во время проведения семинарского занятия все участники группы активно участвуют в обсуждении, задают вопросы докладчику и вносят свои дополнения. Научные руководители комментируют те или иные вопросы, которые вызывают у студентов затруднения и недопонимание.

Параллельно участию в семинарских занятиях, одновременно осуществляя реализацию своего проекта, студенты ведут активную подготовку к предстоящим ежегодным конференциям разного уровня. Тем самым, у студентов вырабатываются презентационные, коммуникационные и поисковые умения и навыки: умение вести дискуссию; умение отстаивать свою точку зрения; навыки монологической речи; умение самостоятельно находить недостающую информацию в информационном поле, артистические умения и т.д. [3].

Помимо выше перечисленных умений и навыков, являющихся структурными элементами исследовательской компетенции, рефлексивные, менеджерские умения и умения работать в сотрудничестве, приобретаются студентами в процессе участия в ежегодных исследовательских экспедициях. Экспедиционная деятельность ориентирована на решение определенных практических и теоретических задач, как производственной направленности, так и исследовательской. Работа в экспедициях, являющихся всегда

командным проектом, способствует формированию у будущих учителей умения работать в команде, которое в современном мире является очень востребованным.

Проанализировав работу НСО «Геофизика», можно сделать вывод, что участие студентов в проектно-исследовательской деятельности по физике в рамках НСО содействует эффективному формированию у них исследовательских компетенций. Но и четкая организация проектной деятельности по физике способствует всестороннему развитию личности будущего учителя физики, его профессионализму.

Список публикаций:

[1] *Поповская Т.С., Петрова Г.Г. Формирование исследовательских компетенций студентов в процессе участия в проектной деятельности по физике в рамках НСО // Сборник тезисов, материалы Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым): материалы конференции, тезисы докладов: Екатеринбург – Ростов-на-Дону – Крым: издательство АСФ России, 2019. С.490-491*

[2] *Холодцова И.И. Учебно-исследовательская деятельность как средство профессиональной ориентации старшеклассников // Москва, 2007. С.13.*

[3] *Середенко П.В. // Пути и формы подготовки будущих педагогов к осуществлению исследовательского подхода к обучению. Южно-Сахалинск, 2010. С.18-20.*

Подготовка будущего учителя к активному обучению школьников физике в основной школе

Ткачев Артем Михайлович

Томский государственный педагогический университет

Румбеишта Елена Анатольевна, д.п.н.

ettamet@yandex.ru

В настоящее время перед учителем возникла задача, не просто обучить школьника содержанию предмета, а подготовить его к жизни в изменяющейся социальной и природной среде. При этом от ученика требуется активное включение в процесс подготовки на основе освоения универсальных учебных действий, выраженных в умениях. Одним из наиболее важных умений, по нашему мнению, является умение решения разного рода проблем – учебных и образовательных, так как это умение становится жизненно необходимым. Процесс решения проблем включает применение многих универсальных учебных действий (УУД), а именно – регулятивных, коммуникативных, познавательных.

Обучение решению проблем невозможно начать без создания у школьников мотивации к изучению предлагаемого материала. В то же время мотивация учащихся основной школы падает. Так, Федюнина Н.В. констатирует - проведенная диагностика самостоятельной познавательной активности показала, что осознанным интересом к физике обладают 18% учащихся. Из оставшихся – 82% учащихся 7-9 классов считают физику не важным предметом, поскольку она не востребована для поступления во многие вузы [3]. Желеева А.В. выделяет следующие аспекты мотивации: 1) потребностно-познавательный; 2) нравственно-волевой; 3) социально-целевой. Авторские исследования также показали невысокую мотивацию по разным аспектам [1].

Распределение мотивированности учащихся 7 класса к изучению физики следующее Учю физику: 1) потому, что - интересно; 33% хочу получить новые знания, умения 33% мне будут полезны знания в жизни 33%; 2) потому, что физика есть в программе 52%, чтобы были довольны родители 29%, чтобы быть успешным, «уважать» себя 10%; 3) чтобы получить аттестат 52%, получить поощрение от родителей 5%, поступить в вуз 29%, получить профессию 10%.

Полученные данные позволяют выявить способы увлечения предметом - физика разных групп учащихся. Практически все группы учеников с разной мотивацией проявляют интерес к опытам. Причем одни ученики любят наблюдать опыты, другие – объяснять, третьи – делать опыты. Поэтому, с самого начала обучения физике вводятся домашние опыты для желающих их проделать и объяснить.

Примеры некоторых опытов: При изучении силы взаимодействия молекул (7 класс) предлагается учениками проделать опыт. Положите на влажную тарелку кусок мыла, прижимая, повернуть несколько раз. При этом с мылом поднимается и тарелка. При изучении взаимодействия заряженных тел (8 класс). Потрите о газету два воздушных шара и подвесьте их рядом. Почему они отталкиваются?

Перед предложением – подобрать и проделать опыт по теме учитель договаривается, как будет происходить представление опыта.

1. Опыт представляется на принесенном оборудовании или демонстрируется видео с проделанным опытом.

2. Опыт объясняется, если материал уже пройден или объяснение откладывается на конец урока.

3. Ученики в классе после объяснения задают вопросы автору опыта.
4. Демонстратор(ы) отвечают на вопросы.
5. Ученики, в классе и учитель, при необходимости, дополняют объяснение.
6. Оценки выставляются демонстратору и тем, кто задает вопросы, отвечает по заранее разработанным критериям [2].

Рефлексивные высказывания учеников показывают, что данный вид деятельности помогает им лучше понять физику, оценить себя, появляется интерес к учению. То есть повышается мотивация у всех групп учеников. Такое начало урока позволяет ввести изучение материала на основе совместного решения проблем, что в настоящее время крайне актуально.

Список публикаций:

[1] Желеева АВ. Диагностика мотивации школьников к изучению физики // наука и школа. №44, 2015. - С 155-156.

[2] Румбецка Е.А. Образовательное содержание и его становление в программе «Обучение школьников решению учебных и образовательных проблем в совместной деятельности» // Образовательное содержание совместной деятельности взрослых и детей в Школе: управление и становление. Книга 7./ Под ред. Г.Н. Прокументовой, С.И. Поздеевой. – Томск, 2015. С. 210-230.

[3] Федюнина Н.Ф. Повышение мотивации уч-ся к изучению физики //Физика. Все для учителя. №4(64) апрель, 2016. – С.4-8.

Проектная деятельность на внеурочных занятиях по физике

Яковлев Игорь Николаевич

Томский государственный педагогический университет

Румбецка Елена Анатольевна, д.п.н.

yakovlevig97@yandex.ru

Проектная исследовательская деятельность учащихся прописана в стандарте образования. Следовательно, каждый ученик должен быть обучен этой деятельности. Устные экзамены в 9-х и 11-х классах предполагают защиту проекта как один из видов итоговой аттестации. И это не случайно, ведь именно в процессе правильной самостоятельной работы над созданием проекта лучше всего формируется культура умственного труда учеников, через проектную деятельность формируются абсолютно все универсальные учебные действия, прописанные в Стандарте.

Основной проблемой классно-урочной системы является отсутствие достаточного количества времени для реализации проектной деятельности по физике. Многие ученики хотели бы заниматься практической и экспериментальной деятельностью в рамках урока физики, но отсутствие должного количества времени не позволяет это сделать. Как же выйти из сложившейся ситуации и сформировать интерес, практические и экспериментальные умения в рамках предмета? Частично решить проявленную проблему можно, если грамотно использовать внеурочную деятельность для организации проектов учащихся. [2]

Метод проектов - один из немногих методов, выводящих педагогический процесс из стен школы в окружающий мир. [3]

Цели применения проектной деятельности многогранны: научить ребенка самостоятельно добывать знания; вовлечь каждого ученика в активный познавательный, творческий процесс; формировать универсальные учебные действия; учить ориентироваться в мире информации. В процессе проекта формируются все регулятивные действия. [1]

Ниже представлен способ организации внеурочной проектной деятельности. Работа проводилась с учащимися в 7-8 классах. Представлены некоторые выбранные учащимися темы проектов. 1. Что такое бумеранг и как он применяется. 2. Действие магнитного поля на живые организмы. 3. Физика на кухне. 4. Влияние электричества на здоровье человека. 5. шумовое загрязнение среды.

Пример реализации проекта с учащимися 7 класса. На первом этапе совместно с учителем была выбрана тема проекта, был составлен приблизительный план работы, подобрана соответствующая литература. Затем на втором этапе работы над проектом была поставлена цель: изучить модель бумеранга и изучить механизм его полета; задачи: 1) изучить историю создания, 2) выяснить особенности полета бумеранга. На третьем этапе была выдвинута проблема исследования: как изменение тех или иных характеристик бумеранга будет влиять на вид траектории, на ширину петли полета, дальность полета. На четвертом этапе было проведено исследование.

В начале была проведена работа с исторической литературой. Были выявлены следующие исторические факты: создание бумеранга идет из Египта и Индии, само изобретение было связано с потребностью человека в защите и добывании пищи.

Также, были сделаны 2 различных бумеранга: разной скрученности и с разными наконечниками и разными массами. Затем на территории школы был произведен эксперимент по запуску бумерангов и были сняты определенные показатели. Для первого бумеранга массой 30г дальность полета составила 20м, чем больше степень закрутки, тем больше ширина петли, чем больше степень закрутки, тем дальше летит бумеранг, чем меньше угол запуска, тем более разнообразна его петля(в зависимости от угла меняется ее форма: от параболической до эллипсоидной), изменение формы наконечников не вносят изменения в полет бумеранга. Для второго бумеранга характерны следующие значения: при массе бумеранга в 60г его дальность полета составила 10м, увеличивая степень закрутки , бумеранг не изменяет ширины петли, чем больше степень закрутки, тем дальше он летит, при большом угле наклона, бумеранг взлетает вверх, а потом пикирует на землю(возвращения бумеранга при этом не происходит). Можно сделать следующие выводы: чем меньше масса бумеранга, тем дальше он летит (это объясняется тем, что на бумеранг меньшей массы действует сила тяжести, которая меньше подъемной силы, следовательно, бумеранг летит дальше), степень закрученности бумеранга влияет на дальность полета следующим образом: аэродинамические силы не равны, они дают импульс, который стремится наклонить бумеранг, гироскопический эффект, возникающий при полете не дает ему падать и появляется сила, которая заставляет бумеранг лететь вверх, соответственно, чем сложнее геометрия, тем большее влияние вносит гироскопический эффект и тем дальше он будет лететь. В качестве защиты данного проекта учащийся подготовил презентацию, в которой в сжатой форме вынес все результаты исследования.

Проведенная рефлексия ученика, выполнившего проект, показала следующее, уровень заинтересованности учащегося в предмете возрос, появилось желание работать в данном направлении дальше. В ходе проекта возросла коммуникативность со сверстниками.

Список публикаций:

[1]. *Новые педагогические и информационные технологии в системе образования* под. ред. доктора педагогических наук Е.С.Полат; Издательский центр «Академия», 2003, 224 с.

[2]. *Метод учебного проекта в образовательном учреждении* Н.Ю.Пахомова, изд. «Аркти» 2003, 112 с

[3]. *Гузев В.В. Развитие образовательной технологии.* - М.,1998, 32 с

Алфавитный указатель

Абдулгафаров Р. Р.	321	Гафуров Э. М.	216	Костырев Б. П.	415
Абдуллина Д. У.	322	Гилязова Г. Ф.	329	Кочетовская А. Ю.	127
Абдуллина Д. Р.	324	Гисматулин А. А.	116	Кошкин А. Б.	86
Абрамян А. С.	362	Глазунова Е. В.	74	Красняков И. В.	256
Адельгужина Э. М.	293	Глушак А. А.	377	Кряжев В. А.	302
Акинина М. Д.	247	Горбунов А. С.	408	Кузнецова П. С.	229
Акчева Р. И.	112	Горяева В. Н.	238	Кузьмин Е. В.	167
Алтыншина Г. Р.	113	Грачков А. А.	76	Куличкина Т. П.	49
Алякин А. В.	187	Грибков Г. А.	283	Купинская А. И.	274
Амангулова И. Т.	248	Гринёва Д. А.	77	Курбангулов А. Р.	333
Антонова Е. Ю.	407	Гуменюк Л. С.	431	Курбангулов А. Р.	332
Артемьева К. В.	114	Гусева К. Е.	330	Кушеева М. Н.	383
Астафьев П. А.	375	Давлетшин Ф. Ф.	269	Ладин П. А.	127
Аубекеров Т. М.	223	Двойнишников С. В.	379	Лазарева А. Э.	366
Ахмедьянова Г. Г.	188	Девалют Д. А.	47	Латыпов К. Ф.	335
Багаутдинов Д. А.	376	Деменчук М. А.	300	Латыпов Р. И.	304
Байбулова Г. Ш.	223	Демченко А. А.	79	Латыпов Т. Р.	87
Байгутлин З. Х.	115	Демченко К. Д.	196	Латыпова Р. Р.	306
Балашова В. Н.	250	Десятков Д. Д.	409	Латыпова Т. В.	307
Безбородова П. А.	325	Джура К. О.	410	Лебедев М. С.	230
Белов К. Н.	189	Дмитриев И. О.	397	Левашова И. А.	169
Белоусов Р. О.	294	Додонова Т. В.	117	Лезова И. Е.	336
Белявский С. В.	140	Доломатова М. М.	197	Леонтьев В. С.	169
Бетлени П. И.	190	Дубас В. В.	199	Лихацкий В. В.	416
Бикметова А. Р.	265	Дьякова С. А.	432	Лихолетова М. В.	89
Богуш М. Ю.	163	Евсеев К. В.	119	Лобекин В. Н.	171
Богуш М. Ю.	163	Евтина А. А.	253	Ломов К. А.	147
Бодня А. А.	282	Еникеева А. А.	120	Лосев Т. С.	148
Болдырева В. А.	266	Ерофеева Е. А.	226	Лукьяненко И. Ю.	202
Боронин В. А.	65	Есин Е. С.	412	Лунев Н. А.	337
Бочарникова Е. Н.	192	Ефимов М. А.	146	Лупицкая Ю. А.	338
Брожек Д. С.	251	Загидуллин А. А.	380	Ляхова Н. В.	417
Булатова А. З.	295	Зайтов М. Р.	121	Магасумова Г. М.	128
Булатова Э. Р.	66	Зайвый В. С.	413	Макаров Б. Б.	90
Булдашев И. В.	326	Зайцев В. А.	255	Максимов Г. С.	339
Бурцева Д. Я.	363	Залялов Т. М.	122	Мальцева В. Е.	172
Бутин А. В.	225	Захаров Н. В.	80	Мандрик В. О.	434
Бызова Е. С.	67	Зотов Л. В.	272	Маринина Е. В.	91
Вагапов А. Ш.	68	Зотов Л. В.	271	Маркова А. В.	232
Валиуллина В. И.	396	Ибадуллаев Д. А.	141	Марудов А. А.	384
Васильева Ю. З.	145	Ибрагимова Э. И.	273	Меджитов Р. А.	239
Вахрушева Е. В.	252	Изгагин В. С.	381	Меренцов А. И.	93
Винокурова А. А.	296	Ильин В. А.	301	Местников Н. И.	340
Волков Д. В.	69	Иргалина Р. И.	81	Мигранова Д. Р.	203
Волченко Е. Н.	164	Исаева Е. В.	414	Минакова Е. Н.	233
Воробьев М. О.	430	Исламов Д. Р.	123	Михайлова Т. А.	419
Выдыш И. В.	298	Исхаков И. Г.	124	Мойса М. О.	341
Выломов Л. П.	193	Каргаполов И. Ю.	382	Мужиченко Н. Е.	385
Габдрахманова Л. А.	327	Карпенко А. С.	82	Муксунов Н. Я.	343
Габдрахманова Л. А.	71	Киан М. Ф.	124	Мухамадеева В. В.	169
Габышев Д. Н.	268	Кильдибаева Г. Х.	227	Мухарямова Г. И.	308
Гаврилова М. А.	165	Киреева Г. М.	48	Мухутдинова А. А.	310
Гаврилова М. А.	166	Ковальчук Т. Н.	399	Назаров А. Е.	234
Гавриляк А. М.	194	Колосовский Д. А.	84	Назаров С. В.	241
Гавриляк М. В.	73	Колосовский Д. А.	125	Назаров С. В.	241
Гайсин Ф. Р.	365	Кондерова О. С.	85	Назаров С. В.	240
Гайфуллин Р. Ю.	328	Кононенко П. Н.	228	Назарович А. В.	419
Галиева К. Ф.	299	Коноплев А. А.	433	Назыров Э. Р.	94
		Корецкий А. В.	285	Нигаматова Л. Н.	150
		Короткова М. А.	201	Низямова А. Р.	257

Носов И. Ю.....	95	Седенкова О. И.....	101	Филоненко Е. М.....	354
Нугаева Н. М.	275	Семенов Д. О.	389	Фролова В. П.....	154
Нуриева Л. Б.	129	Семерикова М. А.	260	Фролова В. П.....	156
Огиенко А. В.	420	Сергеев И. С.	176	Хайранов Р. Х.	205
Османова Е. В.	130	Сидорина У. А.	423	Ханнанов А. Р.	391
Островский В. В.....	368	Скоморохов Г. В.	177	Харченко Д. Г.	106
Павлов А. В.	96	Слижевский К. В.....	52	Хасанова Д. А.	355
Панкратова А. К.....	97	Смирнова К. И.....	243	Хафизов Д. Р.	206
Парфенов А. В.....	344	Смовж Д. В.	350	Хисамов А. А.	315
Первалов Т. В.	131	Соловьев А. И.....	179	Хохлова Т. Н.	207
Петренко Е. В.....	151	Соловьев П. Н.....	180	Хусаинова Ю. А.....	157
Петрова К. П.....	132	Соловьёв А. А.....	369	Чалов Д. А.....	107
Пирожков Д. А.	345	Солодовников Р. А.....	135	Чепусов А. С.	158
Полянский Д. А.....	386	Соломенников М. Н.....	312	Чжан Ф. -.	208
Пономарев А. В.....	142	Соломенникова А. А.....	217	Чибинева Е. С.	209
Пономарев В. В.....	347	Сорокин А. В.	53	Чупин И. А.	211
Попов В. Р.	436	Сошин С. Л.	288	Чуракова А. А.	356
Поповская Т. С.....	277	Спевак Е. Л.	55	Шадин А. Е.....	425
Поповская Т. С.....	436	Судоргин С. А.	56	Шадрин А. В.	58
Прокопьев Д. А.	348	Султанов Р. И.....	136	Шахмуратов А. Н.....	370
Пушкарев Г. В.	98	Сунагатова И. Р.....	351	Шаязданов А. Р.....	357
Пушкарев И. А.	174	Суюндукова А. Т.....	260	Шаяхметова Э. Р.....	358
Пчелинцев В. В.	153	Таюпов М. М.	235	Швецова Д. А.....	426
Пыхов О. А.	421	Телегин А. В.....	218	Шевченко А. В.....	279
Пялов К. Н.	286	Терещенко А. А.....	57	Шелестова А. А.	393
Рахматова Л. И.	133	Ткачев А. М.	438	Ширкина Л. В.	220
Ревнивцев И. С.....	422	Трочина А. М.	181	Юлдашева А. Р.	59
Родионов Е. С.....	51	Туев М. А.....	402	Юлмухаметова Р. Р.	316
Романенко В. С.	242	Тумбусова И. А.	353	Юнусов И. О.	403
Русова Д. А.	400	Унатлоков И. Б.....	244	Юсупова Н. Р.	360
Сагадатов И. Х.	134	Усольцев О. А.	102	Юсупова Р. М.....	60
Салимова И. Х.....	258	Фазлетдинов С. У.....	289	Ядрышникова А. М.	212
Самарбаева З. Т.....	278	Фатихова Ф. Г.	262	Яковлев И. Н.	439
Саносян А. А.	100	Фаткуллина Н. Б.....	313	Якшибаев Б. Р.	183
Саплев А. Ф.	174	Фаттахова В. О.....	103	Ялалов И. Ф.....	137
Сафина Л. Р.	349	Фахреева Р. Р.....	390	Ястребова Е. С.	368
Сафина Э. Р.	52	Фещенко А. А.....	104		
Сахибгареев Э. Э.....	387	Филин С. Ю.	182		

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ВНКСФ-26 И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Ответственный за выпуск: Арапов А.Г.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных диапозитивов.



Подписано к печати 10.03.2020 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 55. Тираж 400 экз.
Заказ № 255.

Отпечатано в типографии ООО «Альтаир»:
г. Ростов-на-Дону, ул. Вавилова, 55.
Тел. 8 958- 544-59-27, 8 (863) 219-84-25.
E-mail: oooaltair_office@mail.ru.
<http://altair-rostov.ru/>