

Ассоциация студентов-физиков и молодых учёных России
Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Физико-технический институт Крымского федерального университета
Крымская астрофизическая обсерватория РАН
Институт электрофизики УрО РАН
при участии
Южного федерального университета

В Н К С Ф – 25

Двадцать пятая Всероссийская
научная конференция студентов-физиков и молодых учёных



Россия

Материалы конференции
Информационный бюллетень

Республика Крым, Севастополь
2019

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-25, данные о которых напечатаны в разделе *«Состав научного комитета конференции ВНКСФ-25»*, **страницы 34- 40**

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

Составление информации первой части сборника: Арапов Александр, Осокин Константин (Симферополь).

Фото: Александр Арапов, Александр Голицин (Новосибирск), Лилия Габдрахманова (Уфа).

Дизайн: Замковская Анастасия (Симферополь), 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, Глеб Игумнов (Екатеринбург)

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

Сборник тезисов, материалы Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым): материалы конференции, тезисы докладов: В 1 т. Т.1 – Екатеринбург – Ростов-на-Дону-Крым: издательство АСФ России, 2019.

В сборнике представлены тезисы докладов, посвященных различным аспектам современной физики, представленные на Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, проходившей в г. Симферополе, п. Научном, ДОО «Ласпи» (Севастополь) с 19 по 26 апреля 2019 г., а также итоги конференции ВНКСФ-24 и материалы, посвященные деятельности АСФ России за 2018 год.

331 тезис, 507 страниц формата А4. Копия сборника на флэш-диске с персональными анкетами и фото участников конференции, а также архивы конференций ВНКСФ: 11-24 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-25 проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-02-20005. А также при поддержке: Института электрофизики УрО РАН, Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Крымской астрофизической обсерватории РАН, Южного федерального университета.

Оргкомитет конференции выражает благодарность всем ученым – физикам Республики Крым, Севастополя и Российской Федерации за активное участие в конференции!

© Ассоциация студентов – физиков и молодых ученых России, 2019 г.

620063, Екатеринбург, а.я. 759, тел: (923) 422-74-34, e-mail: asf@asf.ur.ru

СОДЕРЖАНИЕ:

1. Добро пожаловать в Крым	5
Мероприятия АСФ России в 2018 году:	
2. ВНКСФ-24 – творческий и аналитический отчет оргкомитета и научного комитета	7
3. Визит на космодром Байконур – 2018, семинар «Физика – космосу»	20
4. Официальные итоги конференции ВНКСФ-24.....	22
5. Фото участников ВНКСФ-24, 12-го визита физиков на космодром Байконур	
Общая информация о конференции ВНКСФ-25:	
6. Состав оргкомитета ВНКСФ-25	31
7. Состав программного комитета ВНКСФ-25	33
8. Состав научного комитета ВНКСФ-45 и приглашенных лекторов	34
9. Статистика заявок, докладов и участия ВНКСФ-25 по секциям	41
10. Статистика заявок, докладов и участия ВНКСФ-25 по городам.....	42
11. Статистика всех конференций ВНКСФ 1-25.....	44
Тезисы участников конференции ВНКСФ-25:	
12. Тезисы участников конференции с данными о каждом участнике конференции по секциям:	
01-Теоретическая физика	47
02-Физика конденсированного состояния вещества	59
03-Физика полупроводников и диэлектриков.....	129
04-Молекулярная физика, физика жидкостей и газов.....	149
05-Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии	159
06-Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц (секция-семинар).....	179
07-Физика низких температур, сверхпроводимость.....	191
08-Магнетизм	199
09-Оптика и спектроскопия	233
10-Квантовая электроника	265
11-Астрофизика, Физика космоса, современные и перспективные космические исследования и технологии (секция – семинар)	273
12-Биофизика, медицинская физика	293
13-Физическая химия, химическая физика	317
14-Геофизика: земная кора, океан, атмосфера	333
15-Радиофизика	347
16-Акустика, гидро - и газодинамика	361
17-Средства автоматизации и информационные технологии в физике	375
18-Материаловедение	399
19-Физика и экология, радиоэкология.....	441
20-Проблемы преподавания физики	471
21-Теплофизика.....	495
Алфавитный указатель сборника по участникам конференции	505

Добро пожаловать в Крым !

Можно бесконечно читать различные статьи про Крым, восхищаться пейзажами, воплощёнными в картинах Айвазовского и Куинджи, смотреть классику советского кинематографа, снятую здесь (Кавказская пленница, Три плюс два, Пираты XX века, Алые паруса и т.д.), но всё это не передаст и доли того впечатления, которое испытывает каждый, кто хотя бы раз здесь побывает!

Этот полуостров представляет собой весь мир, только в миниатюре. Здесь есть и всемирно известные курорты, и множество достопримечательностей, и невероятно разнообразная природа, и целебный климат, и многое другое. Крым – это отдельный маленький сказочный мир, который как будто застыл во времени, и в своей безмятежности не подозревает о том, что происходит вокруг. И этой безмятежностью очень легко заразиться!



Крым – относительно небольшой полуостров, где на площади всего в 27 000 км² расположились несколько совершенно отличных друг от друга климатических зон: степной север, предгорная лесостепь, горные леса и субтропики южного побережья. Крым расположен ровно на 45-й параллели – так называемой «золотой широте», – расстояние отсюда до Северного полюса и экватора примерно одинаково и составляет около 5 000 км. Омываемый со всех сторон теплыми Черным и Азовским морями, в которых можно купаться с мая по октябрь, Крым обладает береговой линией превышающей 2500 км в длину, что дает туристам большой выбор пляжей – от песчаных на западном побережье до галечниковых и смешанных на южном, смешанных и песчаных на восточном. Теплый климат создает отличные условия для многочисленных редких растений, виноградников и даже пальм на южном побережье.



В Крыму есть море и песок, горы и степи, гроты и каньоны, леса и заповедники, водопады и озера, краснокнижные растения и животные. Но и это не все! На полуострове можно посетить пещеры (Мраморная, Красные и многие другие) и величественные пещерные городища (например, Мангуп-Кале или Эски-Кармен), побывать в древних храмах и церквях, подняться на гору Ай-Петри и с высоты более 1 километра увидеть знаменитое «Ласточкино гнездо» и мыс Ай-Тодор.

Сама конференция ВНКСФ – 25 будет проводиться в одной из самых живописных бухт горного участка южного побережья Крыма – Ласпи, у подножья гор Деликли-Буран (Лягушка) и Ильяс-Кая (682 м над уровнем моря), где находится одно из известных природных туристических мест – т.н. «Храм Солнца».

Живописная природа и обилие достопримечательностей веками вдохновляли известных писателей, художников и других деятелей искусства. Ни один регион не может похвастаться таким количеством упоминаний в произведениях искусства. Например, Феодосия – это родина всемирно известного российского художника-мариниста Ивана Айвазовского, здесь он создал многие из своих шедевров. В Крыму Пушкин отбывал романтическую ссылку, Лев Толстой принимал участие в боевых действиях, Александр Грин сочинял своих героев. Практически весь полуостров исхожен знаменитыми художниками, оставившими большое количество прекрасных пейзажей. Антон Чехов обессмертил своей «Дамой с собачкой» Ялту, где создал несколько выдающихся произведений. Культурная традиция продолжилась и в XX веке – в Крыму снята добрая половина советских комедий и романтических историй.

Крым славится на весь мир и своим виноделием. Всемирно известный винодельческий завод «Массандра» был открыт ещё в конце XIX века князем Голицыным. Сегодня в его подвалах хранится свыше 700 сортов коллекционного марочного отечественного и зарубежного вина, в общей сложности – один миллион бутылок.

Рассказ о Крыме был бы неполным без упоминания его главной достопримечательности – богатейшей истории. Уникальное географическое положение испокон веков делало крымский полуостров важнейшим стратегическим объектом. Поэтому Крым стал перекрёстком путей множества совершенно непохожих друг на друга народов. Греческие колонисты основали на востоке полуострова город Пантикапей (Керчь), который моложе Рима всего на один год; бежавшие из Золотой Орды татары – Бахчисарай, чей ханский дворец порастил воображение Пушкина и вдохновил на создание прекрасной поэмы. В период правления династии Романовых в Крыму был построен ряд прекрасных дворцов, которые и сегодня поражают посетителей своим великолепием.



В разные исторические периоды здесь жили тавры и киммерийцы, скифы и греки, сарматы и римляне, готы, гунны, армяне, болгары, хазары, славяне, печенеги, половцы, караимы, крымчаки, монголы и крымские татары, итальянцы и турки! Эти народы оставили на крымской земле свои следы, которые встречаются повсеместно.

Крым был ареной кровопролитных сражений – русско-турецкой войны, Крымской войны, Великой Отечественной. Именно здесь Михаилу Кутузову пришлось навсегда закрыть один глаз повязкой, а героям Аджимушкая – провести полгода в каменоломнях, оказывая сопротивление окружившим их фашистским войскам. Здесь, на одной территории, находятся сразу два города-героя – Севастополь и Керчь – чьи защитники показали пример невероятной храбрости и мужества.



На сегодняшний день на территории полуострова Крым расположены два субъекта Российской Федерации: Республика Крым, со столицей в городе Симферополь, и город федерального значения – Севастополь.

Крупнейшими высшими учебными заведениями Крыма являются Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского и Крымский инженерно-педагогический институт, находящиеся в Симферополе, и Севастопольский государственный университет.

Большую роль в российской и мировой истории изучения космоса сыграли Крымская астрофизическая обсерватория (п. Научный) и её филиал — Симеизская обсерватория (п. Симеиз).

В Севастополе находится Морской гидрофизический институт – один из ведущих океанологических центров мира.

В Крыму также расположено множество крупных научных центров океанографического, эколого-биологического, историко-археологического, винодельческого, военно-космического, авиационного и военно-морского профиля.

Добро пожаловать в Крым, добро пожаловать в Севастополь!

Творческий и аналитический ответ оргкомитета ВНКСФ-24

Двадцать четвертая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных проходила с 31 марта по 7 апреля 2018 года в Томске, в Академгородке, конгресс – центре Томского научного центра СО РАН «Рубин».

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 Томске выступили: Томский научный центр СО РАН, Томский государственный университет (НИТГУ), Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Томский государственный педагогический университет (ТГПУ), Томский политехнический университет (НИТПУ), Институт сильноточной электроники СО РАН. Активное участие в научных программах ВНКСФ-24 также приняли: Институт оптики атмосферы СО РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Реальную помощь в организации и работе конференции оказали: студенты и преподаватели физического факультета НИТГУ, молодые ученые и преподаватели ТНЦ СО РАН, ИСЭ СО РАН и ТУСУР.

Традиционную активную организаторскую поддержку также оказали молодые ученые и студенты из других организаций и регионов России, в том числе: Волгоградского государственного университета (ФГИ ВолГУ, Волгоград), Южного федерального университета (Ростов-на-Дону), Уральского федерального университета (Екатеринбург), Крымского федерального университета (Симферополь), Башкирского государственного университета (Уфа), Ассоциации студентов-физиков и молодых ученых Красноярска и из других организаций.

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 трех секций – семинаров, которые были сформированы по итогам совещания и тщательного анализа на предыдущей конференции в следующем количестве (см. таблицу-1)

Анализ докладов по направлениям физики

Наибольшее число докладов было представлено по оптике и спектроскопии, физике конденсированного состояния вещества, физике плазмы, электрофизике, материаловедению а также геофизике, физической химии и физике полупроводников и диэлектриков. Такая особенность обусловлена ярко-выраженным представительством в этих направлениях у организаций – со-организаторов конференции со стороны: Томского государственного университета (физический факультет), Института сильноточной электроники СО РАН, Института оптики атмосферы СО РАН, Томского политехнического университета. Также активное участие по своим профильным направлениям представили: Томский научный центр СО РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Неплохое участие в области средств автоматизации и информационных технологий представил ТУСУР. Три секции, благодаря большому количеству обзорных и пленарных докладов со стороны ученых Томска и из разных регионов России, были проведены в расширенной форме секций – семинаров: - физика плазмы, электрофизика, оптика, спектроскопия, физика полупроводников и диэлектриков (объединенная программа), а также астрофизика, физика космоса.

В отличие от последних нескольких лет отдельный анализ количества работ в области нанотехнологий не проводился, так как оргкомитет конференции считает данные направления составной частью всех физических исследований.

Плодотворная работа расширенных секций – семинаров ВНКСФ-24 состоялась благодаря долгой и кропотливой работе организаторов конференции с приглашаемыми докладчиками из Томска, разных регионов России, в сотрудничестве с активом молодых ученых ИСЭ СО РАН, ТНЦ СО РАН и руководящему преподавательскому составу ТГУ. В результате этой работы во время конференции удалось организовать, по сути одновременно, уникальную пленарную программу - школу с рекордным для ВНКСФ количеством пленарных и обзорных докладов.

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.



В данном уникальном случае с Томском, - городе с большим количеством университетов, также особенно четко просматривалась связь центров образования и фундаментальной науки в форме «двойной занятости» членов научного комитета конференции, которые одновременно являлись представителями двух организаций: университета (место преподавания) и института (место исследовательской работы). Поэтому соотношение количества представленных работ из академической среды (молодые ученые), - к университетской здесь можно назвать весьма

условным (студент сам - из университета, а научный руководитель, также молодой ученый, из института), но по формальному признаку примерно «30» на 70». То есть, в этом году представительство университетов было несколько больше, причем, что интересно, за счет студентов 4 курса, а также магистратуры 1 и 2 года обучения. 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 около 20% (примерно 70 тезисов и 50 докладов от студентов 1-3 курсов).

Докладчики представляли результаты как «классических»: фундаментальных, теоретических и экспериментальных исследований, так и работ в различных смежных областях: физика плазмы - плазменные технологии, электрофизика; оптика – лазеры, квантовая электроника; материаловедение – информационные технологии обработки результатов исследований; геофизика – исследования в области экологии и т.п. 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.



Анализ представительства участников конференции по регионам

Традиционное широкое региональное представительство участников конференции: **42 города России и стран ближнего зарубежья, 72 университетов и НИИ. Общее количество заявок на конференцию 466, общее количество участников – 401 человек.** Очное количество участников – около 250 человек (вместе с учеными, принимавшими участие в научном жюри и приглашенными докладами - 330 человек).

Как всегда, в силу географических обстоятельств проведения конференции, (год проводится в Европейской части России, год – на Урале и год на востоке – в Сибири) в этом году было наибольшее количество участников было из Сибири (до 180-ти очных участников, города-лидеры: Томск, Новосибирск, Красноярск). Вторым по численности стал Урал (32 очных участника: Екатеринбург, Уфа, Пермь, Ижевск). Также довольно активное участие приняли участие наши молодые коллеги из Южного региона (до 20-ти очных участников: Ростов-на-Дону, Республика Крым, Волгоград). И к сожалению уже не удивляет «традиционно» ставший низким, уровень участия из Центральных регионов и городов России (Москва, Санкт-Петербург, всего не более 10-ти участников). Подробнее о географии и составе участников конференции можно посмотреть в сборнике тезисов и на сайте конференции (таблица-2).

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 восемнадцати (!) из всех проведенных конференций. Непрерывно увеличивается объем полезной информации на сайте ВНКСФ по всем двадцати четырем 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).

В этом году также добавлен новый, т.н. «мобильный» интерфейс сайта с возможностью просмотра на смартфонах.

Впервые за всю историю проведения ВНКСФ была организована непрерывная интернет-трансляция 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.

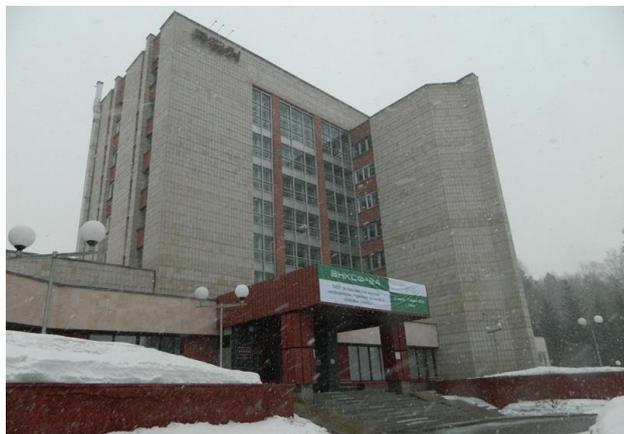


Редколлегия сайта ВНКСФ работает в течение всего года, есть также форум.

Также, уже пятый год, оргкомитет конференции, АСФ России ведут плановую работу по созданию и обновлению базы данных «Физики в России», которая сейчас доступна (по принципу «Википедии») для общего пользования в сети интернет.

Формирование и деятельность научного комитета

Благодаря уникальному месту проведения ВНКСФ-24 – в городе Томске наша конференция смогла первоначально получить рекордное за всю свою историю представительство ученых – **158 человек (!)**, которые обладали специализацией почти во всех направлениях работы конференции. Из них иногородних молодых и взрослых ученых – 40 (из них заочно приняли участие 13 в качестве экспертов, 4 не смогли приехать), из них прибыло на конференцию - **23 человека**.



Составы научного и программного комитетов формировались с ноября 2017 года. Томская часть научного комитета стала формироваться с конца ноября 2017 года. Полностью научный комитет вместе с приглашенными учеными – докладчиками был сформирован в конце февраля 2018 года. В итоге **из Томска** к участию в состав научного жюри

(комитета) **было заявлено 118 ученых** и преподавателей из университетских и академических структур, в том числе: 38 –ТГУ, 22 – ТПУ, 8- ТУСУР, 7 –ТГПУ, 3- СГМУ, 10 – ИСЭ СО РАН, 8 – ИОА СО РАН, 6 – ИМКЭС СО РАН, 6 –ИФПМ СО РАН, 5- ТНЦ СО РАН.

При этом в программный комитет вошли представители руководства четырех университетов, четырех институтов, как со-проводящие организации (отвечающие за проведение конференции), а также выбранные руководители местного научного комитета.

По научным направлениям небольшая нехватка специалистов в области магнетизма, физики низких температур и астрофизики была также практически устранена благодаря участию наших коллег из Красноярского федерального научного центра, Уральского федерального университета, а также Крымской астрофизической обсерватории.

Однако впоследствии, уже во время проведения конференции, со стороны наших Томских коллег, начались неявки, неоправданные абсолютно ничем и без всякого предупреждения, или объяснений! Всего по невыясненным причинам (предупреждались все заранее) не прибыло к участию в работе научного жюри, или прочтения докладов – 49 человек! Своеобразным «лидером» по неявке стал физико-технический факультет НИТГУ (из 12-ти заявленных не прибыло 11 человек), далее – радиофизический факультет НИТГУ (из 13 – 7 не прибыло), из ТПУ не явились ровно половина (11 из 22-х), никак не смог объяснить причину неявки своих специалистов ТУСУР (из 8-ми явились только двое). И это при том, что конференция проводилась в городе, а оргкомитет предоставлял свой транспорт от места конференции до места работы и проживания! Относительно дисциплинированно вели себя академические структуры, но при этом неактивно вел себя т.н. «институт совета молодых ученых», за исключением ИСЭ (Дмитрий Сорокин) и ИМКЭС (Алексей Кобзев).



Более того, в Томске мы впервые столкнулись с весьма малопонятным для нас и просто шокирующим отношением к конференциям самих студентов. Так, на официальной программе открытия (в том числе на пленарной программе) из 180-ти местных, зарегистрированных в этот же день участников, присутствовало всего 10! А во время конференции местные участники приезжали на секцию за 20-30 минут до времени своего доклада и буквально тут же, после него, уезжали. При опросе местных участников мы выяснили, что они просто не понимают – зачем нужны конференции! Они воспринимают конференции только по формальному признаку: есть публикация, есть мое личное выступление и все. Мнение, или сами работы своих коллег из других городов, или даже соседнего университета им безразличны, а говорить о каком – либо обмене информации или опытом нет никакого смысла. То есть, на наш взгляд, в Томске произошло следующее: количество проводимых там конференций слишком большое, их проводят очень быстро, в основном для «отчетности» и для публикаций. Внутреннее качество конференционных мероприятий, их содержание и отдача сведены к минимуму. Таким образом, студенты просто не знают и не понимают что такое настоящие конференции и зачем они нужны. И что мы можем требовать от студентов при том, что преподаватели позволяют себе сами?





При этом, разумеется, никто не ставит под сомнение сам научный потенциал наших коллег – физиков Томска, «диаспора» и работа которых по прежнему очень впечатляют.

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 – 24, общее количество **членов научного комитета (даже с учетом неявок!) составило 114 человек**, которые работали 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 участников конференции.



Благодаря большому представительству научного комитета, приглашенных ученых удалось организовать также **действительно большую программу пленарных и обзорных докладов.** И не только за счет привлечения докладов взрослых и опытных ученых и преподавателей, но также и молодых ученых – физиков, которые уже давно традиционно участвуют в работе конференции, начиная со студенческих лет – до кандидатов наук. Таким образом, во время конференции удалось провести **14 пленарных докладов (или лекций**

длительностью от одного часа до двух, при привлечении всей аудитории участников конференции), а также 54 обзорных доклада (длительностью от 30 до 50 минут), прочитанных во время работы секций. Ведущие тематики

пленарных докладов: теоретическая физика, физика конденсированного состояния вещества, физика плазмы, электрофизика, оптика и спектроскопия, физическая химия, медицинская физика, астрофизика. После каждого пленарного доклада (а по сути – лекции) по данным темам задавалось большое количество вопросов и окончание пленарного заседания постепенно переходило в форму круглого стола (если позволяло время).

На ВНКСФ-24 оргкомитет привлек к участию молодых, но уже известных, а также опытных ученых из различных регионов России: - **Екатеринбурга:** член.кор. РАН Некрасов Игорь Александрович, Меренцов Александр Ильич; - **Уфы:** Екомасов Евгений Григорьевич, Габдрахманова Лилия Айратовна; - **Перми:** Ильин Владимир Алексеевич, Тарантин Михаил Викторович; - **Новосибирска:** Двойнишников Сергей Владимирович, Чернов Андрей Александрович, Исламов Дамир Ревинирович; - **Красноярска:** директор федерального исследовательского центра СО РАН Волков Никита Валентинович, Косырев Николай Николаевич; - **Иркутска:** директор НИИ прикладной физики ИГУ Буднев Николай Михайлович и других городов России. **От Томских ученых хотелось бы также особенно выделить выступления и участие:** Белан Борис Денисович (зам. дир. ИОА СО РАН), Кузнецов Владимир Михайлович (директор материаловедческого центра ТГУ), Козырев Андрей Владимирович, Романченко Илья Викторович (ИСЭ СО РАН), Климов Александр Сергеевич (ТУСУР), Градобоев Александр Васильевич (ТПУ), Бордовицына Татьяна Валентиновна (ТГУ), Лукин Владимир Петрович, Воронин Борис Александрович (ИОА СО РАН), Гусакова Светлана Валерьевна (Сиб ГМУ), Терпугова Светлана Александровна (ИОА СО РАН), Воропай Надежда Николаевна (ИМКЭС СО РАН) и других ученых.



Программа всех пленарных и обзорных докладов прилагается к отчету.

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.



и молодых ученых, в том числе - членов Ассоциации студентов - физиков и молодых учёных из разных регионов России.

В этом году, в силу небольшого опыта в проведении конференций, местный оргкомитет был представлен не так широко как обычно. Кроме этого, в результате того, что в его состав входили представители шести организаций, сформировать единый коллектив в Томске не удалось. Поэтому ядром оргкомитета ВНКСФ-24 стали более опытные коллеги из регионов и организаций России: Екатеринбург (ИЭФ УрО РАН, УрФУ), Волгоград (ВолГУ), Ростов-на-Дону (ЮФУ). Хорошую помощь оказали волонтеры из Симферополя. Именно этот оргкомитет и стал своеобразным связующим звеном, или «большой диспетчерской» между представителями из Томска. В состав же Томской части оргкомитета вошли, в «первом организационном эшелоне» более опытные и взрослые

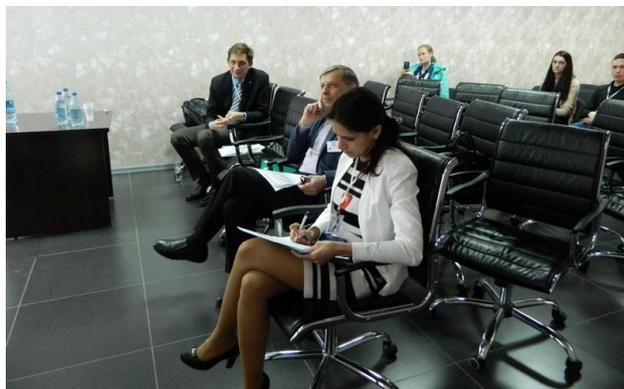
коллеги – преподаватели и сотрудники университетов и институтов, а далее более молодые коллеги, студенты из Томского государственного университета. Общее количество оргкомитета составило около 15-ти человек.

Итоговая нагрузка, таким образом, распределилась следующим образом: в этом году при подготовительных работах конференции более 80% нагрузки выпало на межрегиональную часть оргкомитета. При подготовительных мероприятиях в самом Томске гораздо большую нагрузку на себя взяли более взрослые участники оргкомитета, студенческая же часть оргкомитета смогла включиться в работу только непосредственно перед конференцией. При проведении самой конференции, за исключением экскурсий, нагрузка также в основном лежала на межрегиональной части оргкомитета и взрослыми коллегами из Томска. При этом мы отмечаем значительно возросшую в последние годы инертность и отсутствие желания принимать участие в какой-либо организации от студентов, магистрантов и аспирантов. Очевидно, что в университетах почти совсем отсутствует воспитательная, а тем более селекционная работа по поиску и формированию кадров с активной жизненной позицией. Из всех студентов, кто принял участие в работе можно выделить лишь нескольких человек.

Тем не менее оргкомитет справился с поставленной задачей: на итоговом заседании конференции работе оргкомитета была дана высокая оценка в подготовке и проведении конференции – 4,5 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 73 доклада. Из них в том числе: студентов младших курсов – 30, студентов старших курсов и магистрантов – 24, аспирантов и молодых ученых – 20. 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 второй год.** В конкурсе также принимали участие

около 20-ти заочных докладов, представленные в виде стендов, которые получили в том числе несколько дипломов. По сравнению с последними годами конкурс на получение дипломов был более высоким: по отношению к общему количеству очных участников конференции дипломы получил только каждый четвертый участник конференции, что повысило их значимость. Оргкомитету нашей конференции также удалось изменить ситуацию по форме участия местных участников конференции: практически все доклады были представлены в очном виде (устно, или в виде стенда с представлением участника). Даже с учетом вышеописанной в отчете инертности и стремления местных участников как можно меньше провести времени на секции и на других мероприятиях, - это достижение. В дальнейшем организаторы ВНКСФ будут и дальше 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.

Дополнительные научные программы и акции

На ВНКСФ-24 удалось вновь продолжить такую форму работы конференции – **как секции – семинары**. Очевидно, что успех проведения секций-семинаров прежде всего заключается в выборе их тематики и «основных, или титульных» докладчиков и ведущих. При этом темы могут и не носить узкоспециализированный характер, а быть в том числе интересны широкому кругу участников конференции, «провоцировать» вопросы и обсуждение. В этом году удалось найти темы и провести расширенную работу секций по **трем направлениям**.



1. Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии. Длительность этой секции – семинара составила почти 12 часов, с прочтением трех лекций, 8-ми обзорных докладов и около 30-ти конкурсных докладов участниками из пяти городов и научных центров России. Проведение этой программы, очевидно, было связано с активным участием на конференции в качестве основных организаторов: Института электрофизики УрО РАН и Института сильноточной электроники СО РАН.

2. Оптика, спектроскопия и квантовая электроника. Это направление безусловно связано в том числе с одним из ведущих направлений образования и физических исследований в Томске и в частности в Институте оптики атмосферы СО РАН. Четыре подсекции в этом направлении также работали в течении всего дня, было представлено 8 обзорных докладов и более 30-ти конкурсных.

3. Традиционной формой проведения в виде семинара стало проведение секции по физике космоса и космическим технологиям. Как это не парадоксально, но это связано в том числе с малым количеством участников! Дело в том, что такие узкопрофильные, но самодостаточные направления не так активно участвуют в широкопрофильных конференциях. В основном это местные коллеги – астрофизики. Но сама по себе тематика докладов настолько интересна, что эту секцию посещают многие участники конференции. Оргкомитету надо лишь добавить «генеральную тему», пригласить дополнительно несколько лекторов, и получается действительно очень интересная и полезная программа для всех, с широким обсуждением. В этом году были приглашены два «дальних лектора» из Иркутска и Крыма. Хорошие обзорные доклады по тематике секции представили также наши коллеги из ТГУ и ИОА СО РАН.



Что касается других общих тем и проблем и в частности качества, подготовки, технологии проведения и участия в конференции, то такое обсуждение прошло лишь однажды на Генеральном заседании в последний день работы конференции.

Продолжается работа в проведении **параллельного, или специального видеопоза лекций ведущих ученых – физиков России** и научно-популярных, документальных фильмов по проблематике в области образования и науки в «клубе ВНКСФ» во время перерывов и в вечернее время.

Также в этом году продолжила свое развитие новая интереснейшая программа ВНКСФ – **проведение во время официального открытия – «фестиваля физики»**. В этом году её

организацию почти полностью взяли на себя творческие студенческие научные коллективы из Томского государственного университета, Томского государственного педагогического университета. Уже традиционным стало участие уникального коллектива из Южного федерального университета (ростов-на-Дону). Но настоящей «изюминкой» фестиваля (а также одновременно и выставки) – стали разработки студенческих коллективов из Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Суть фестиваля в том, что за четыре часа до начала открытия в холле 3 этажа Центра культуры ТГУ силами студентов-физиков и 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 сущность эксперимента не только участники конференции, но и приглашенные школьники, гости и представители прессы.

Одновременно с фестивалем, в этом же большом холле были организованы специальные места – стойки для проведения **еще одной новой программы – презентации магистерских программ университетов России**. Такую программу мы проводим впервые. В этом году в ней приняли участие не только местные Томские университеты, но также еще два университета из Санкт-Петербурга и Тюмени. Формат этого мероприятия не ограничился вручением буклетов, стендами или рекламными роликами на экранах, но также был продолжен в виде нескольких обзорных выступлений в большом зале во время пленарной части программы открытия. 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).

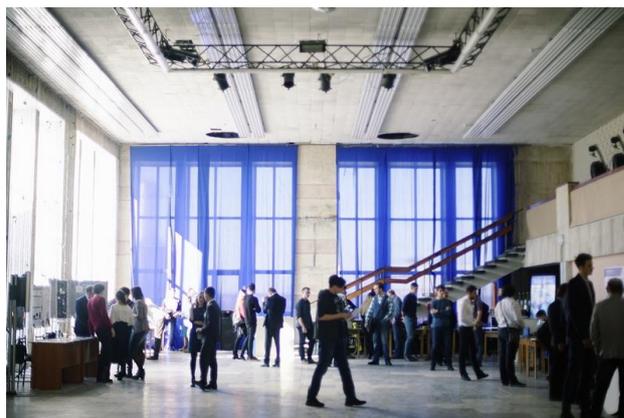
За 28 лет в рамках данной программы, только во время проведения конференций ВНКСФ, было организовано множество интереснейших экскурсий - визитов в научно-технические и образовательные центры России в:

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 Академгородке - Институт сильноточной электроники (5 лабораторий, два исследовательских корпуса), - Институт оптики атмосферы (до 6-7-лабораторий и стендов). В Томском государственном университете: - материаловедческий центр, - супер-компьютер, - ботанический сад, - музей физики. В ТУСУРе мы смогли посетить лаборатории: - элементов и устройств автоматики кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании; - нанoeлектроники и микросистемной техники; - плазменной электроники. Томский политехнический университет представил для визитов свои музеи, в том числе уникальный геологический музей. Кроме того участники конференции смогли посетить несколько предприятий Томска.



Развитие данных программ, не смотря на большие временные затраты (выделяется отдельный день с остановкой работы конференции в целом) будет продолжено.

Культурная программа конференции



Кроме обязательной научной программы конференции её оргкомитетом были организованы: широкая культурная программа: Вечер знакомств (игра «100 к 1» между сборными физиков «Сибирь» - «Запад», конкурсы «А Ну – Ка, Физики!», «Мисс Физика», «Дядя Физик», просмотр материалов конкурса «Виртуальные Дни Физика», праздник «Экватор». Была проведена небольшая спортивная программа: в том числе матч по волейболу со сборной молодых физиков Академгородка, а также «Веселые старты» и

ночной «квест». Необычность расположения базы ВНКФС-24 – одновременно в городе и в зоне отдыха, рядом с лесом, с огромным количеством снега, привела в восторг наших коллег – физиков из Западного Южного регионов и Крыма. Для многих из них на конференции это было впервые – оказаться в начале апреля в настоящей зиме. Некоторые даже воспользовались услугами близлежащей лыжной базы. Все культурные и спортивные мероприятия проводились в основном после ужина и до поздней ночи, без ущерба для основной, научной программы конференции.

Оргкомитет ВНКФС-24 из Томска в этом году предложил участникам конференции большую программу экскурсий не просто по Томску, а по разной тематике: - «Томские кружева»; - «От шедевра – к шедевру». Не смотря на такую длительность, почти все экскурсии удалось провести на хорошем уровне. 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. Исключение составил лишь один день «визитов», - 4 апреля, когда все участники конференции на двух автобусах ездили по всему Томску с посещением университетов и достопримечательностей.



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 будет организовано распространение сборника по библиотекам вузов России. **В этом году, также впервые в истории ВНКСФ основной тираж сборника вышел в**



виде специального фирменного флэш – диска и одновременно бейджа, объемом до 16 Гбт, тиражом до 400 экземпляров. В него вошли не только материалы данной конференции, но и всех конференций ВНКСФ, начиная с ВНКСФ-6, а также с большой базой данных по всем участникам конференций ВНКСФ-11-24, фотогалереями и даже видеоклипами. Научный комитет отмечает, что ВНКСФ на сегодня до сих пор является единственной конференцией в России, обладающей подобным изданием в электронном и печатном виде, который объединяет в себе не только тезисы 14-ти конференций, но также и базу данных по всем конференциям ВНКСФ с 2004 по 2018 год. Тем не менее, выпуск в твердом, бумажном виде решено было оставить тиражом до 200 экземпляров. **Общий объем сборника формата А4 составил 602 страницы с публикацией 403 тезисов.**



Кроме сборника и диска отдельным тиражом также были выпущены: программа конференции в виде буклета, оригинальные ручки, папки. Весь дизайн атрибутики разрабатывался творческим коллективом оргкомитета ВНКСФ-24 из Екатеринбурга и Томска.

По итогам конференции ВНКСФ-24 на сайте АСФ России подготавливается к выпуску подробный отчет, фотогалерея, видеофильм о

конференции, а также другие материалы научного, культурного и аналитического плана.

Общие итоги конференции, решения Генеральной конференции АСФ России и предложения по улучшению работы конференции ВНКСФ и молодежных научных конференций в России в целом.

На итоговом заседании конференции ВНКСФ- 24 была дана положительная оценка работе оргкомитета конференции, а также принято решение о проведении конференции **ВНКСФ-25 в конце апреля 2019 года в Республике Крым.**

Анализ и развитие программ ВНКСФ.

По итогам предпоследней конференции ВНКСФ-23 и анализа предложений, сформированных год назад, были проведены, или получили развитие следующие нововведения:

- разработан регламент участника конференции, в котором обозначены четкие правила участия в конференции от момента подачи заявки – до доклада и вручения диплома;
- на сайте конференции стал доступным вариант навигации для смартфонов
- секции, направления стали проводиться по более «гибкой схеме», с более понятным и «прозрачным» обсуждением итогов как в жюри (с оформлением итоговых протоколов с оценками по номинациям выступления участников), так и в конце работы секций с итоговыми собраниями – дискуссиями совместно с участниками конференции;
- по итогам конференции публикуется итоговый рейтинг (сумма баллов) выступлений участников конференции с их презентациями;
- проведена видеотрансляция в интернет с одновременной записью устных докладов;

- появился новый формат издания в виде флэш-диска
- значительно расширена программа пленарных и обзорных докладов. **По сути ВНКСФ на одну треть стала в том числе и Всероссийской школой по физике.** Производится предварительная аналитика в формировании программы обзорных и пленарных докладов;
- в ходе подготовки к конференции ВНКСФ-24 сформирована новая программа «Презентация магистерских программ университетов России».

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 этом году одобрены. **Кроме одного - проводить ВНКСФ в черте города больше не рекомендуется.**

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 участники конференции 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 развития физики в России в целом.

ПРОБЛЕМЫ!

- оргкомитет ВНКСФ-24, научный комитет конференции, Ассоциация студентов-физиков и молодых ученых России обращают также внимание на продолжающиеся проблемы с финансированием студентов и молодых ученых на участие в конференции, причем не только на ВНКСФ. **Особенно большие проблемы появились с финансированием поездок студентов, для которых на сегодня просто юридически нет оснований для командировок на научные конференции! И это конечно – нонсенс!**



- кроме того, самому оргкомитету приходится сталкиваться с элементами формализма со стороны некоторых руководителей факультетов и университетов, заключающихся в том, что обращается внимание не на суть конференции, ее реальную пользу – а формальное участие, «для галочки». При этом зачастую при выборе той, или иной конференции, такие руководители предпочитают «отправить» своего ученика не на ту конференцию, которая нужна с реальной – научной и практической точек зрения и может принести пользу молодому ученому, а на ту, где есть, например публикация в «солидном» издании. Но ведь прежде, чем получить такой результат, нужно «вырастить» ученика, дать ему первый опыт и практику. ВНКСФ в том числе для этого и создана.



деканатов.

- оргкомитет ВНКСФ также обращает внимание на продолжающееся снижение мобильности студентов-физиков и молодых ученых в России! Например, в этом году также, как и в прошлом, наблюдался значительный процент «не доезда» очных участников конференции – из 250-ти заявившихся участвовать очно, доехало всего примерно 110 человек! При этом из не доехавших: половина – это студенты, которые не смогли получить средства для поездки у своего руководства, а вторая половина – это молодые ученые из институтов РАН, которые утверждали, что у их научного подразделения просто не было средств.

- и завершают негатив высокие цены на транспорт. Оргкомитет ВНКСФ постоянно прилагает максимальные усилия, для того, чтобы снизить затраты на преодоление расстояний молодых ученых в России, оказывая информационную, правовую и материальную поддержку отдельным участникам, в том числе публикуя через сайт конференции рекомендуемые маршруты и стоимость проезда. Так например в этом году на компенсацию проезда и проживания участникам конференции (в том числе и приглашаемым ученым) оргкомитет ВНКСФ-24 выделил более 180-ти тысяч рублей.

Проведение Двадцать четвертой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых учёных способствовало активизации научной деятельности студентов, выявлению активных студентов и молодых ученых в некоторых организациях Томска и появлению новых связей между научными и учебными учреждениями различных регионов России.

Двенадцатый визит на космодром Байконур. Шестая конференция «Физика в космосу» 13- 18 ноября 2018 год

...это был долгожданный визит, - после годичного перерыва в наших поездках на Байконур, обусловленного некоторыми сложностями и новыми условиями, которые стал предъявлять Роскосмос при оформлении поездок. Так, например, по сравнению с прошлыми годами стала обязательной оплата за так называемый «билет на космодром», обязательное платное сопровождение по космодрому и многое другое, с чем мы так и не стали согласны, но вынуждены были принять, чтобы возобновить традицию наших поездок и проведения конференции. К этому вопросу мы еще вернемся, а пока о том, как все начиналось в этом году.



Этот визит мог стать самым большим по численности среди всех наших визитов и конференции: Изначально, на участие в программе в середине октября заявилось около 50-ти человек. Но затем случилось ЧП – 11 октября произошел аварийный запуск ТПК «Союз-МС-10», после которого весь график полетов к МКС был изменен, в том числе и запуск «нашего» РН «Союз» с ГТК «Прогресс-МС-10» с 31 октября – на 16 ноября. После этого переноса сроков часть группы не смогла

принять участие в поездке, в итоге на космодром отправилось 26 человек. По «характеру» и составу группа оказалась очень интересной: в ней было в этот раз очень мало школьников (всего 5 человек), но зато было 3 кандидата наук и даже один д.ф.-м.н., член. кор РАН. География от Красноярска, Новосибирска – до Екатеринбурга и Москвы.

Если резюмировать все впечатления от первого пребывания на космодроме тремя словами, то это: масштаб, гордость и грусть.

Масштаб космодрома, территория, гигантские размеры объектов, то что это настоящий, живой космодром, а не музей, ощущение того что попал на некий «сверхсекретный» объект.

Гордость и восхищение от осознания того – как все это можно было построить в таких условиях, от величия человеческого гения и за ту страну, в которой многие из нас родись – СССР.

Грусть за то, что почти многие объекты пришли в упадок и местами напоминают заброшенную «промзону». Ощущение того, что смотришь на величие былой эпохи...

И всё же главным впечатлением для всех стало присутствие на запуске РН «Союз» из самого сердца космодрома:

- очень рад, что рядом с беседками на ИПе идёт аудио-трансляция переговоров и репортажа. Когда слышишь про «продувки» и, вот-вот, ракета взлетит, по коже пробегают мурашки. Вид степи, освещенной двигателями ракеты и очень сильный звук, такой, что даже куртка вибрирует, создают впечатление, что ты увидел нечто экстраординарное, совсем выпадающее из жизни обычных людей. А потом видно, что это просто работа большого количества специалистов своего дела...



- Совершенно грандиозное мероприятие! Восторг полный. Особенно чувствуется вовлечение в процесс за счет команд по громкой связи, раньше такое слышал только по телику...

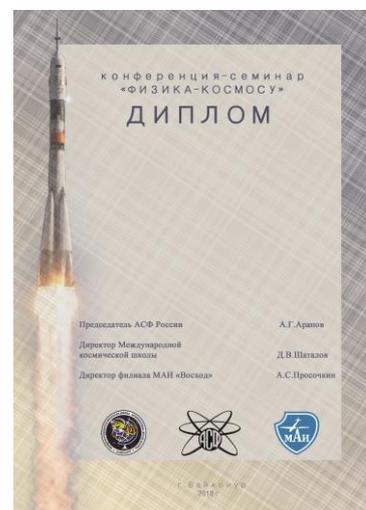
- Запуск и сам по себе красив, но больше всего пробирает до костей гордость за страну, за ее достижения. Сразу же возникает ощущение радости. И даже холодно перестает быть на какой-то момент...

В этом году мы постарались сделать все, чтобы возобновление программы Шестой конференции-семинара «Физика – космосу» было насыщенным, полезным и интересным как для тех, кто впервые посещает наш космодром, так и для принимающих сторон в городе Байконур.



Первоначально было принято более 35 очных докладов из регионов России. Однако, после переноса сроков в итоге на Байконур прибыло 26 участников визита и конференции, которые представили 16 докладов. Не смотря на это обстоятельство, высокую активность проявили принимающие стороны: филиал МАИ «Восход» с докладами на хорошем уровне представили 4 участника, еще 6 обзорных докладов были заслушаны от старшеклассников МКШ города Байконур.

Эта конференция значительно отличалась от предыдущих и вот почему. Во-первых, её открытие и два заседания прошли на территории филиала МАИ «Восход», что приятно обрадовало наших коллег, приехавших из регионов России, а также повысило интерес и доступность студентов – слушателей из МАИ. Во-вторых, впервые за долгое время, в работе конференции приняли участие молодые ученые из нескольких организаций, относящихся к Роскосмосу: «Российские космические системы», РКК «Энергия», а также их коллеги из концерна «Вега». Также, впервые в нашей программе принял член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н. Игорь Некрасов, который прочитал лекцию, а впоследствии сделал несколько докладов о своем визите в нескольких институтах Уральского отделения РАН. Кроме того в программе семинара также приняли участие сразу трое кандидатов наук: Александр Голицын (об опыте вступления в отряд космонавтов) и Дмитрий Эпштейн (о «мобильной астрономии») из Новосибирска и Юрий Орлов (использование термоэлектричества в космосе) из Красноярска.



Еще одно новшество – у конференции появился свой диплом, дизайн которого был разработан АСФ России, подписанный затем руководителями трех основных сопровождающих организаций: АСФ России, филиал МАИ «Восход» и МКШ города Байконур.



В этом году наибольший интерес вызвали доклады из области разработок средств связи, наблюдения, управления и ДЗЗ, в частности от участников из концерна «Вега», а также филиала МАИ «Восход». Весьма интересными смотрелись доклады из области материаловедения в космонавтике («Восход»), а также средств автоматизации (в частности школьные доклады из ЦДТ г. Краснотурьинска). Традиционно активно зачитали обзорные доклады старшеклассники МКШ.

Всего в рамках конференции – семинара было проведено 4 заседания по 4-5 часов в вечернее время (два в МАИ и два в МКШ) с программами открытия в филиале МАИ «Восход», закрытия и вручения дипломов в Международной космической школе имени Челомея города Байконур.

АСФ России надеется, не смотря на определенные сложности, на продолжение программы визитов и конференции – семинара на Байконуре.

Подробнее о нашем визите можно почитать в интернете:
https://vk.com/doc1627095_493085204?hash=f1572e9d0f96d7d5fe&dl=681737f9e04bfee7e9

1. Теоретическая физика

Студенты младших курсов

Гайдучик Александр Викторович

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, 3 курс

Анализ систем разделяющихся координат для свободного уравнения Клейна - Гордона

e-mail: gaid.alex.vikt@gmail.com

Студенты старших курсов

Абакумова Виктория Александровна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, магистрант 1 года обучения

Мультимамильтонова формулировка расширенной теории Черна-Саймонса с высшими производными

e-mail: abakumova@phys.tsu.ru

Аспиранты, молодые ученые

Осокин Константин Сергеевич

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, Физико-технический институт, аспирант 2 года обучения

Решение уравнений Эйнштейна для замкнутой струны с осевой симметрией

e-mail: Oxygen93@ya.ru

2. Физика конденсированного состояния вещества (включая наносистемы)

Студенты младших курсов

Замковская Анастасия Игоревна

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, физико-технический институт, 4 курс

Тепловое расширение кристаллов бората железа в высокотемпературной области

e-mail: trabem.z@gmail.com

Шайкомалова Елена Сергеевна

Кемерово, Кемеровский государственный университет, Институт фундаментальных наук, 4 курс

Компьютерное моделирование физических свойств XI фазы льда

e-mail: 16930@mail.ru

Шрайбер Анастасия Михайловна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, 2 курс

Люминесценция кристаллов флюоритов при синхронном возбуждении

e-mail: nm.schreiber@yandex

Студенты старших курсов

Дьяченко Филипп Анатольевич

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический, 6 курс

Физико-механические свойства поверхностных сплавов на основе Ti-Ta, синтезированных на подложках TiNi с использованием электронного пучка

e-mail: frozenmonetroll@mail.ru

Реунова Ксения Андреевна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, магистрант 2 года обучения

Влияние бора на механические и функциональные свойства монокристаллов сплава на основе железа FeNiCoAlTa(B)

e-mail: Reunova.ksenya@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Вязовская Александра Юрьевна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, аспирант 1 года обучения

Генезис состояний на кремниевой поверхности GdRh₂Si₂(001)

e-mail: alex_vyaz93@mail.ru

Сёмин Виктор Олегович

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, аспирант
Электронно-дифракционный анализ структуры ближнего порядка в аморфных поверхностных Ti-Ta-Ni сплавах, сформированных на TiNi подложках с помощью аддитивного импульсного тонкопленочного электронно-пучкового синтеза
e-mail: werder1@sibmail.com

Филиппов Даниил Игоревич

Кемерово, Кемеровский государственный университет, физический, аспирант
Вычисление отклика на внешнее однородное электрическое поле с использованием базиса локализованных псевдоатомных орбиталей
e-mail: filippovdaniil@kemsu.ru

3. Физика полупроводников и диэлектриков

Студенты младших курсов

Фаткуллин Максим Ильгизович

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, 3 курс
Исследование электрической проводимости восстановленного оксида графена
e-mail: fatkullin.262@gmail.com

Студенты старших курсов

Пидченко Михаил Борисович

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, магистрант 1 года обучения
Расчет поверхностной энергии кристаллов кремния с учетом сил Ван-дер-Вальса
e-mail: michanpich@yandex.ru

Аспиранты, молодые ученые

Генин Дмитрий Евгеньевич

Томск, Институт сильноточной электроники СО РАН, лаб. оптических излучений, инженер
Исследование электронно-дырочных состояний в алмазе
e-mail: dm_genin@vtomske.ru

4. Молекулярная физика, физика жидкостей и газов

Студенты младших курсов

Карпей Татьяна Викторовна

Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт, 4 курс
Изучение влияния роста кристаллов карбоната кальция на фильтрационные характеристики пористой среды
e-mail: tkarpey@mail.ru

5. Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии

Студенты младших курсов

Ломов Константин Андреевич

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический, 2 курс
Диагностика примесей в плазме установки СМОЛА по линиям собственного излучения
e-mail: k.lomov@g.nsu.ru

Пивкина Анастасия Владимировна

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический, 2 курс
Магнетронная распылительная система для синтеза и исследования углеродного покрытия на полимере
e-mail: a.pivkina@g.nsu.ru

Писарев Дмитрий Александрович

Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, электронной техники, 4 курс
Влияние электронно-лучевого облучения на поверхностные свойства алюмооксидной керамики
e-mail: oxigenx6@yandex.ru

Студенты старших курсов

Коковин Александр Олегович

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, 5 курс
Теоретическое моделирование излучательных характеристик импульсного разряда в газе высокого давления
e-mail: alexander.kokovin.desch@gmail.com

Мамонтов Юрий Игоревич

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физико-технологический институт, магистрант 2 года обучения
Оценка влияния микрогеометрии катода разрядного промежутка высокого давления на кинетику электронов
e-mail: mamontov.ura.1994@yandex.ru

Аспиранты, молодые ученые

Прокопенко Никита Андреевич

Томск, Институт сильноточной электроники СО РАН, лаб. плазменной эмиссионной электроники, аспирант
Напыление многослойных покрытий вакуумно-дуговым методом
e-mail: nick08_phantom@mail.ru

Бакеев Илья Юрьевич

Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, электронной техники, м.н.с.
Эмиссия узкофокусированного электронного пучка из одиночного канала фовакуумного электронного источника
e-mail: bakeeviyu@mail.ru

Чепусов Александр Сергеевич

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физико-технологический институт, магистрант 2 года обучения
Регулировка выходного напряжения импульсного высоковольтного наносекундного генератора
e-mail: chepusov@iep.uran.ru

6. Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц

Студенты младших курсов

Чернов Лев Владимирович

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, школа ядерных технологий, 3 курс
Потенциальная возможность создания топливной композиции на базе торий-уранового ядерного топливного цикла в реакторной установке РИТМ-200
e-mail: chernovlev@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Дергачева Евгения Валерьевна

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический, аспирант 3 года обучения
Оценка скорости производства космогенного ^7Be в различных каналах реакций в атмосфере Земли
e-mail: whitemouse92@yandex.ru

8. Магнетизм

Студенты младших курсов

Солодова Олеся Валерьевна

Красноярск, Сибирский Федеральный Университет, Институт фундаментальной биологии и биотехнологий, 4 курс
Изучение магнитооптических свойств коллоидных растворов наночастиц
e-mail: solol1995@mail.ru

Студенты старших курсов

Геревенков Пётр Игоревич

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, институт естественных наук и математики, магистрант 2 года обучения

Методика изучения динамики топологически различных доменных структур

e-mail: moijashek@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Полукеев Семён Игоревич

Красноярск, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, отдел аспирантуры, аспирант 3 года обучения

Эффекты оптических внутрищелевых переходов на суперобменное взаимодействие в La_2CuO_4 с неравновесными фотовозбуждёнными центрами

e-mail: sp992@yandex.ru

9. Оптика и спектроскопия

Студенты младших курсов

Бочарникова Елена Николаевна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, 4 курс

Теоретическое исследование фотофизических процессов, протекающих в фурукумаринах

e-mail: bocharnikova.2010@mail.ru

Ильчук Анна Владимировна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, физики высоких технологий, 3 курс

Сверхвысокочувствительное обнаружение методом гигантской спектроскопии комбинационного рассеяния

e-mail: belegestel97@mail.ru

Попов Константин Евгеньевич

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий, 4 курс

Определение показателя преломления материалов в миллиметровом диапазоне длин волн с использованием интерферометра Мартина - Папплетта

e-mail: popovkonstantin09@mail.ru

Студенты старших курсов

Ма Бин

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, магистрант 1 года обучения

Исследование наноразмерных структур восстановленного оксида графена методом спектроскопии комбинационного рассеяния света

e-mail: 562918740@qq.com

Шишко Виктор Андреевич

Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, м.н.с.

Сравнение E- теории дифракции и E,M- теории дифракции на примере неидеальных гексагональных ледяных столбиков, характерных для перистых облаков

e-mail: sva@iao.ru

Трофимов Павел Игоревич

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Физико-технический, 6 курс

Взаимодействие фемтосекундного лазерного излучения с 1D и 2D металл-органическими каркасами

e-mail: p.trofimov@metalab.ifmo.ru

Трофимова Елена Сергеевна

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физико-технологический институт, 5 курс

Антистоксова люминесценция в Gd_2O_3 , легированном редкоземельными ионами

e-mail: trofimova.e.s@yandex.ru

Аспиранты, молодые ученые

Ли Цзысюань

Харбин, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, аспирант 3 года обучения

Время-разрешенная фотолюминесцентная спектроскопия гетероструктур на основе InGaN/GaN-квантовых ям

e-mail: [llzxx0@163.com](mailto://zxx0@163.com)

Симонова Анна Андреевна

Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, аспирант 1 года обучения

Континуальное поглощение водяного пара и димеры воды в полосах 0.94 и 1.13 мкм

e-mail: anna678.tomsk@mail.ru

Стендовые доклады

Трифонов Дмитрий Александрович

Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, м.н.с.

Определение полной квантовой эффективности системы фоторегистрации СКР-лидара

e-mail: trifonov@iao.ru

10. Квантовая электроника

Аспиранты, молодые ученые

Васнев Николай Александрович

Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, отделение спектроскопии атмосферы, аспирант 1 года обучения

Активная оптическая система с независимым источником подсветки для визуализации тестовых объектов

e-mail: vasnev.nickol@yandex.ru

11. Астрофизика, физика космоса

Студенты старших курсов

Блинкова Евгения Владимировна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический, магистрант 2 года обучения

Особенности динамики околоземных объектов, движущихся в резонансе 1:3 со скоростью вращения Земли

e-mail: zbzik322@mail.ru

Аспиранты, молодые ученые

Смирнова Ксения Ильдаровна

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физический, лаборант-исследователь

Сравнение параметров пыли в специфических галактиках

e-mail: Arashu@rambler.ru

12. Биофизика, медицинская физика

Студенты младших курсов

Фалина Юлия Вячеславовна

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физико-технологический институт, 4 курс

Возможности радионуклидной диагностики in vivo в оценке морфофункционального состояния слезной железы

e-mail: falya33586@gmail.com

Аспиранты, молодые ученые

Рыдченко Виктория Сергеевна

Томск, Сибирский государственный медицинский университет, медико-биологический, аспирант

Влияние синтетического аналога фактора активации тромбоцитов 1-алкил-2-алкилкарбомоилглицерина на сократительные свойства сосудистых гладкомышечных клеток

e-mail: ryd4enkoviknoriya@mail.ru

13. Физическая химия, химическая физика

Студенты старших курсов

Пичугин Никита Сергеевич

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический, магистрант 1 года обучения

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез крупнопористых Ni-Al материалов для радиационных горелок

e-mail: pichugin.n.s@inbox.ru

Ишниязов Загир Загитович

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт, магистрант 2 года обучения

Исследование электронной и химической структуры нанокластеров нефтяных асфальтенов

e-mail: z.z.pti@mail.ru

Шушаков Антон Александрович

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический, магистрант 1 года обучения

Первичные процессы в фотохимии и фотофизике диазидных комплексов Pt(IV), перспективных для использования в фотодинамической терапии

e-mail: shushakovanton96@gmail.com

14. Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

Студенты младших курсов

Безруков Никита Владимирович

Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт, 2 курс

Температурное поле пласта при работе скважины с постоянным забойным давлением

e-mail: Bezrukovnikita10@gmail.com

Аспиранты, молодые ученые

Чубаров Даниил Леонидович

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа природных ресурсов, аспирант 2 года обучения

Анализ влияния приливных сил в качестве триггера землетрясений юга Средиземноморско-Трансатлантического сейсмического пояса

e-mail: convert008@mail.ru

15. Радиофизика

Студенты младших курсов

Безверхняя Екатерина Ивановна

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический, 3 курс

Исследование диэлектрических свойств почв с большим содержанием гумуса

e-mail: bezverhnyaya.ekaterina@mail.ru

Семенов Сергей Владимирович

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический, 4 курс

Анализ источников питания магнетронно-распылительных систем для синтеза вакуумных покрытий

e-mail: s.semenov@g.nsu.ru

16. Акустика, гидро- и газодинамика

Студенты младших курсов

Худайгулова Галия Галиевна

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт, 4 курс

Исследование образования застойных зон при расслоенном течении жидкости в каналах различной геометрии

e-mail: galka.zxc@yandex.ru

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

Школьники (стендовый доклад)

Никифоров Владислав Викторович

Каргасок, Каргасокский ДДТ, радиотехнический кружок, 11 класс

Виртуальная интерактивная панель

e-mail: oblako_000@mail.ru

Студенты младших курсов

Благодарный Александр Сергеевич

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический, 2 курс

Android-приложение для проведения лабораторной работы по измерению коэффициента трения-скольжения

e-mail: alex.kronin777@gmail.com

Бурыкин Андрей Игоревич

Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, радиотехнический, 4 курс

Исследование нелинейных искажений модели радиоприемных устройств с помощью САПР

e-mail: Mr.Nekede@yandex.ru

Студенты старших курсов

Шубина Ольга Сергеевна

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический, магистрант 1 года обучения

Интеллектуальный анализ данных ускорительного комплекса

e-mail: olgashubina2011@gmail.com

Аспиранты, молодые ученые

Бухтияров Дмитрий Андреевич

Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, радиотехники и электроники, аспирант

Автоматизация проектирования печатных директорных антенн с возбудителями дипольного вида

e-mail: ghostandfound@mail.ru

18. Материаловедение

Студенты младших курсов

Батиашвили Лали Алексеевна

Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, физико-технический институт, 4 курс

Получение и исследование фуллеренсодержащей сажи при утилизации изношенных резинотехнических изделий методом низкотемпературного каталитического крекинга

e-mail: laliko2208@gmail.com

Попов Алексей Алексеевич

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический, 3 курс

Разрушение многослойных композитов титан-триалюминид титана при осесимметричном взаимодействии с ударником

e-mail: popov.alexey1997@gmail.com

Шило Анна Сергеевна

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Физический, 2 курс

Магнетронная распылительная система для синтеза и исследования углеродного покрытия на стекле

e-mail: a.shilo@g.nsu.ru

Студенты старших курсов

Кушнерева Дарья Сергеевна

Ижевск, Удмуртский государственный университет, математики, информационных технологий и физики, магистрант 1 года обучения

Сравнительное исследование высокопрочных азотсодержащих аустенитных сталей

e-mail: d.kushnereva@yandex.ru

Москвина Валентина Александровна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, магистрант 2 года обучения

Влияние электролитического насыщения водородом на деформационное поведение и характер разрушения высокоазотистой аустенитной стали

e-mail: valya_moskvina@mail.ru

Регер Антон Андреевич

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Химический, 5 курс

Синтез сложных металлокерамических композитов на основе нитрида кремния в режиме горения

e-mail: antonandmakar@gmail.com

Аспиранты, молодые ученые

Пайгин Владимир Денисович

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, аспирант 3 года обучения

Комплексная характеристика коммерческого нанопорошка CeO₂

e-mail: vpaygin@mail.ru

Рогова Инна Андреевна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий, аспирант 2 года обучения

Микрорельеф покрытия при совместном химическом и электрохимическом осаждении никеля на алюминий

e-mail: inna.aleksenko92@mail.ru

Стендовые доклады

Вершинина Анна Игоревна

Кемерово, Кемеровский государственный университет, физический, аспирант 4 года обучения

Обработка углеродных нанотрубок в газовой фазе для улучшения электрических характеристик

e-mail: annaver89@mail.ru

19. Физика и экология

Студенты младших курсов

Гусвицкий Каир Муратович

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, физико-технический институт, 3 курс

Изучение влияния условий размещения на содержание химических элементов в эпифитных мхах при активном мониторинге

e-mail: kair220597@gmail.com

Аспиранты, молодые ученые

Алтамирова Элина Евгеньевна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности, аспирант

Изучение теплового воздействия на полог леса при взрыве углеводородов

e-mail: soprunenko.elina@yandex.ru

20. Проблемы преподавания физики

Студенты младших курсов

Абрамян Вильмен Леонович

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический, 2 курс

Организация проектной деятельности школьников на физическом факультете Южного федерального университета. Проектная смена «Мир вокруг нас – физика»

e-mail: 9882016alpha@gmail.com

Студенты старших курсов

Киселева Татьяна Андреевна

Томск, Томский государственный педагогический университет, физико-математический, 5 курс

Организация работы детей с ограниченными возможностями на уроках физики в 7 классе

e-mail: kisseleva13@gmil.com

Колесников Илья Андреевич

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический, магистрант 2 года обучения

Интерактивные методы обучения детей различных возрастных групп на базе ИЦН «Лабораториум»

e-mail: Martin-94@inbox.ru

21. Теплофизика

Студенты младших курсов

Батищева Ксения Артуровна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа энергетики, 2 курс

Смачивание алюминиевого сплава после обработки лазером

e-mail: bka1801@mail.ru

Жданова Валентина Вячеславовна

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа энергетики, 4 курс

Особенности модификации топлива для ледоколов нового поколения

e-mail: zhdanovagerchet@gmail.com

Мухамбеталин Данышпан Болатулы

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, физико-технический, 4 курс

Расчет теплогидравлических параметров тепловыделяющего элемента тепловыделяющей сборки типа ИРТ-3М

e-mail: dan_1196@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-съёмка, 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

Крымский локальный комитет

Симферополь:

Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского

- **Осокин Константин Сергеевич**, аспирант 2 года обучения, физико-технический институт, кафедра теоретической физики и физики твёрдого тела, тел: +7(978)926-02-79
e-mail: Oxugen93@ya.ru
- **Замковская Анастасия Игоревна**, 4 курс, физико-технический институт КФУ, кафедра теоретической физики и физики твёрдого тела, тел: +7(978)915-90-94
e-mail: trabem.z@gmail.com
- **Гонцова Светлана Сергеевна**, специалист УМР кафедры Теоретической физики и физики твердого тела, 3 курс аспирантуры ФТИ КФУ, тел: +7(978) 714-67-13,
e-mail: sgoncova@gmail.com
- **Павленко Дмитрий Владимирович**, 1 курс магистратуры Физико-технического института КФУ, e-mail: carboneum.d@gmail.com
- **Романец Юрий Викторович**, аспирант 1 года обучения, физико-технический институт КФУ, кафедра радиофизики и электроники, e-mail: romuraru@mail.ru
- **Любицкая Диана Николаевна**, 1 курс Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского, email cedoeuwko@gmail.com
- **Яворский Максим Александрович**, зам. директора ФТИ КФУ им В.И. Вернадского по научной работе, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: phystechs@cfuv.ru

Научный, Крымская астрофизическая обсерватория:

- **Назаров Сергей Валентинович**, м.н.с., Крымская астрофизическая обсерватория , тел: e-mail: astrotourist@gmail.com
- **Бакланов Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.**, ученый секретарь Крымской астрофизической обсерватории, e-mail: baklanov@craocrimea.ru

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
- **Гусев Антон Игоревич**, м.н.с. лаборатории импульсной техники, e-mail: gusev@iep.uran.ru
- **Бельский Илья Евгеньевич**, м.н.с. каф. магнетизма и магнитных наноматериалов, физический факультет Института естественных наук, e-mail: ilyabelskiy@mail.ru

Ростов-на-Дону:

- **Бураева Елена Анатольевна**, зав. лабораторией радиозокологических исследований НИИ физики ЮФУ, e-mail: buraeva_elena@mail.ru, тел. 8-918-597-30-11,
- **Благодарный Александр Сергеевич**: 2 курс физический факультет ЮФУ, email: alex.kronin777@gmail.com
- **Абрамян Вильмен Левонович**: 2 курс физический факультет ЮФУ, email: 9882016alpha@gmail.com
- **Крикунов Станислав Александрович**: 2 курс физический факультет ЮФУ, email: stanislav_krikunov@mail.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

Председатель организационного комитета, программного комитета

Шпак Валерий Григорьевич, д.т.н., член. корр. РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург

Екатеринбург, Институт электрофизики УрО РАН

- **Чайковский Станислав Анатольевич**, к.ф.-м.н. директор Института электрофизики УрО РАН
- **Болтачев Грей Щамилович**, д.ф.-м.н., зам. директора по научной работе ИЭФ УрО РАН
- **Садовский Михаил Виссарионович**, д.ф.-м.н., академик РАН
- **Некрасов Игорь Александрович**, д.ф.-м.н., член. корр. РАН

Республика Крым. Симферополь, Крымский федеральный университет

- **Глумова Марина Всеволодовна**, к.ф.-м.н., директор физико-технического института КФУ
- **Стругацкий Марк Борисович**, д.ф.-м.н., профессор ФТИ КФУ
- **Фридман Юрий Анатольевич**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой теоретической физики
- **Воляр Александр Владимирович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой общей физики
- **Григорьев Павел Евгеньевич**, д.б.н., зав. кафедрой медицинской физики и информатики
- **Старостенко Владимир Викторович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой радиофизики и электроники
- **Бержанский Владимир Наумович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой экспериментальной физики
- **Яворский Максим Александрович**, к.ф.-м.н., доцент, зам. директора ФТИ
- **Нудьга Александр Александрович**, к.т.н., зам. директора по социально-воспитательной работе, доцент ФТИ

Республика Крым, Крымская астрофизическая обсерватория

- **Ростопчина-Шаховская Алла Николаевна**, к.ф.-м.н., директор
- **Бакланов Алексей Владимирович**, к.ф.-м.н., ученый секретарь

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

- **Вербенко Илья Александрович**, д.ф.-м.н., директор НИИ Физики ЮФУ
- **Бураева Елена Анатольевна**, к.х.н., зам. директора НИИ Физики
- **Малышевский Вячеслав Сергеевич**, д.ф.-м.н., с.н.с., зав. кафедрой технической физики

1. Теоретическая физика

- **Лемяков Александр Петрович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: lelyakov_a_p@cfuv.ru
- **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
- **Тер-оганесян Никита Валерьевич**, д.ф.-м.н., в.н.с., лаборатория мультиферроиков НИИ физики, Южный федеральный университет,, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: teroganesyan@sfnedu.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)
- **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 (включая наносистемы)

- **Стругацкий Марк Борисович**, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ, **Симферополь**, e-mail: strugatskymb@cfuv.ru
- **Любутин Игорь Савельевич**, д.ф.-м.н., зав. отделом академик РАЕН, отдел ядерных методов и магнитных структур Института кристаллографии им. А.В. Шубникова, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН **Москва**, e-mail: lyubutinig@mail.ru
- **Селезнева Кира Андреевна**, к.ф.-м.н., ст. преподаватель кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: seleznyova@cfuv.ru
- **Максимова Елена Михайловна**, профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ, **Симферополь** e-mail: maksimovaem@cfuv.ru
- **Павелко Алексей Александрович**, к.ф.-м.н., в.н.с., НИИ физики, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: dipoleglass@gmail.com
- **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
- **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 (включая наносистемы)

- **Мазинов Алим Сеит-Аметович**, к.т.н., доцент кафедры радиофизики и электроники Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: mazinovas@cfuv.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
- **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. Молекулярная физика, физика жидкостей и газов

- **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)

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

- **Филиппов Дмитрий Максимович**, к.т.н., доцент кафедра компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**, e-mail: filippov.dm@cfuv.ru
- **Чепусов Александр Сергеевич**, к.т.н., н.с. Институт электрофизики УрО РАН, **Екатеринбург**, e-mail: chepusov@ier.uran.ru (АСФ России)
- **Гусев Антон Игоревич**, м.н.с. лаборатории импульсной техники ИЭФ УрО РАН, г. **Екатеринбург**, e-mail: Gusev@ier.uran.ru, (АСФ России)

6. Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц

- **Малышевский Вячеслав Сергеевич**, д.ф.-м.н., с.н.с., зав. кафедрой технической физики Южного федерального университета, г. **Ростов-на-Дону**
e-mail: ysmalyshevsky@sfedu.ru
- **Сарычев Дмитрий Алексеевич**, д.ф.-м.н., г.н.с., зав. отделом, лаборатория мессбауэровской спектроскопии, отдел аналитического приборостроения Института физики ЮФУ, **Ростов-на-Дону** e-mail: dasarychev@sfedu.ru
- **Карпов Александр Владимирович**, д.ф.-м.н., ученый секретарь, лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенный институт ядерных исследований, г. **Дубна** e-mail: karпов@jinr.ru
- **Мерц Сергей Павлович**, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатория физики высоких энергий. Объединенный институт ядерных исследований, **Дубна**. e-mail: sergey.merts@gmail.com
- **Осипов Алексей Сергеевич***, кафедра Физики ускорителей и радиационной медицины Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ им. Д.В. Скобельцина МГУ), г. **Москва** e-mail: okdf2007@mail.ru (АСФ России)

7. Физика низких температур, сверхпроводимость

- **Садовский Михаил Виссарионович**, д.ф.-м.н., академик. РАН, Институт электрофизики УрО РАН, г. **Екатеринбург**, e-mail: sadovski@ier.uran.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 тел 8-903-904-60-49

8. Магнетизм

- **Фридман Юрий Анатольевич**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского **Симферополь** e-mail: fridman_yu_a@cfuv.ru
- **Клевец Филип Николаевич**, д.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского **Симферополь**, e-mail: klevets_ph_n@cfuv.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
- **Бутрим Виктор Иванович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: butrim_v_i@cfuv.ru
- **Космачев Олег Александрович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: kosmachev_o_a@cfuv.ru
- **Бельский Илья Евгеньевич**, м.н.с. каф. магнетизма и магнитных наноматериалов, физический факультет Института естественных наук, **Екатеринбург** e-mail: ilyabelskiy@mail.ru (*АСФ России*)

9. Оптика и спектроскопия

- **Воляр Александр Владимирович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой общей физики Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского **Симферополь**, e-mail: vnch@phys.tsu.ru
- **Алексеев Константин Николаевич**, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**, e-mail: alexeyev_c_n@cfuv.ru
- **Дзедолик Игорь Викторович**, д.ф.-м.н., профессор кафедры экспериментальной физики, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**, e-mail: igor.dzedolik@cfuv.ru
- **Баршак Елена Владимировна**, к.ф.-м.н., преподаватель кафедры медицинской физики и информатики Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: barshakev@cfuv.ru
- **Рыбась Алескадр Федорович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики, зам. директора по учебно-методической работе, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского **Симферополь**, e-mail: rubass@cfuv.ru
- **Яворский Максим Александрович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической физики и физики твердого тела, заместитель директора ФТИ КФУ по научной работе, e-mail: phystechs@cfuv.ru
- **Лапин Борис Петрович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**, e-mail: lapinboris@gmail.com

- **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 автоматике и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: anton_dys@iacp.dvo.ru (АСФ России)

10. Квантовая электроника

- **Дышлюк Антон Владимирович***, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории прецизионных оптических методов измерений, Институт автоматике и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, (АСФ России)

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

- **Вольвач Александр Евгеньевич**, д.ф.-м.н., зам.директора, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, **Научный** e-mail: volvach@craocrimea.ru
- **Гранкин Константин Николаевич**, д.ф.-м.н., в.н.с., Крымская астрофизическая обсерватория РАН, **Научный** e-mail: konstantin.grankin@craocrimea.ru
- **Пушкарев Александр Борисович**, д.ф.-м.н., в.н.с., Крымская астрофизическая обсерватория РАН, **Научный** e-mail: pushkarev@craocrimea.ru
- **Трушкин Сергей Анатольевич**, д.ф.-м.н., зав. лабораторией радиоастрофизики САО РАН, Зеленчук e-mail: sergei.trushkin@gmail.com
- **Кувшинов Владимир Михайлович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиофизики и электроники, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского **Симферополь** e-mail: kuvshinovvm@cfuv.ru
- **Шаховской Дмитрий Николаевич**, к.ф.-м.н., в.н.с., отдел физики звёзд, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный e-mail: d.shakhovskoy@gmail.com
- **Цымбал Вадим Вячеславович**, к.ф.-м.н., доцент НИЦ Функциональных материалов и нанотехнологий, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, г. **Симферополь**, e-mail: v.tsymbal@cfuv.ru
- **Бакланов Алексей Владимирович**, к.ф.-м.н., ученый секретарь, Крымская астрофизическая обсерватория (научно-исследовательский институт), **Научный** e-mail: baklanov@craocrimea.ru

12. Биофизика, медицинская физика

- **Григорьев Павел Евгеньевич**, д.б.н., заведующий кафедрой медицинской физики и информатики, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: grigorievpe@cfuv.ru
- **Рыбалко Сергей Юрьевич**, к.б.н., доцент кафедры медицинской физики и информатики, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**, e-mail: rybalkosy@cfuv.ru
- **Колосов Михаил Станиславович**, к.б.н., доцент, кафедра биофизики и биокрибернетики физического факультета. Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-дону**, e-mail: msk@sfsu.ru

- **Закирьянов Фарит Кабирович**, зам. дир. по научной и инновационной деятельности, к.ф.-м.н., доцент каф. теор. физики Башкирского государственного университета, г. **Уфа**
farni@rambler.ru

13. Физическая химия, химическая физика

- **Шульгин Виктор Федорович**, д.х.н., профессор, зав. кафедрой общей и физической химии факультета биологии и химии Таврической академии Крымского федерального университета, **Симферополь**. e-mail: shulvic@gmail.com
- **Гусев Алексей Николаевич**, д.х.н., доцент кафедры общей и физической химии факультета биологии и химии Таврической академии КФУ. e-mail: galex0330@gmail.com
- **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*)

14. Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

- **Багаев Андрей Владимирович**, к.ф.-м.н., н.с., отдела гидрофизики шельфа, Морской гидрофизический институт, г. **Севастополь** e-mail: a.bagaev1984@gmail.com
- **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
- **Петров Анатолий Иванович**, инженер, зав. лаб., кафедра общей физики физического факультета, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: georgpu@rambler.ru
- **Тарантин Михаил Викторович***, к.т.н., научный сотрудник, Горный институт УрО РАН, г. **Пермь**, e-mail: gptmv@mi-perm.ru (*АСФ России*)

15. Радиоп физика

- **Старостенко Владимир Викторович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой радиоп физики и электроники Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: starostenkovv@cfuv.ru
- **Полетаев Дмитрий Александрович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиоп физики и электроники, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: poletaevda@cfuv.ru .
- **Таран Евгений Павлович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиоп физики и электроники, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: taran.ep@cfuv.ru
- **Болдырев Антон Сергеевич**, к.ф.-м.н., доцент, директор, Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, **Таганрог**, e-mail: boldyrev@sfedu.ru
- **Пилипенко Александр Михайлович**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой теоретических основ радиотехники, Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, **Таганрог**, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru
- **Усенко Ольга Александровна**, к.т.н., доцент радиотехнических и телекоммуникационных систем (РТС) Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, **Таганрог** e-mail: oausenko@sfedu.ru

- **Голицын Александр Андреевич**, к.т.н., н.с., Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирский государственный технический университет, **Новосибирск**
e-mail: aag-09@yandex.ru (АСФ России)

16. Акустика, гидро -, и газодинамика

- **Лисиутин Виктор Александрович**, к.ф.-м.н., доцент, кафедры физики Севастопольского государственного университета, **Севастополь**, e-mail: vlisiutin@mail.ru
- **Пивнев Пётр Петрович**, к.т.н., доцент, руководитель СКБ «Акустика», кафедра электрогидроакустической и медицинской техники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ, **Таганрог** e-mail: pivnev@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)

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

- **Зуев Сергей Александрович**, к.т.н., доцент кафедры радиофизики и электроники, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**
e-mail: zuevsa@cfuv.ru
- **Сосновский Юрий Вячеславович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: mailsender256@mail.ru
- **Двойнишников Сергей Владимирович**, д.т.н., с.н.с., Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. **Новосибирск**, e-mail: dv.s@mail.ru
- **Голицын Александр Андреевич**, к.т.н., н.с., Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирский государственный технический 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)

18. Материаловедение

- **Бержанский Владимир Наумович**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой экспериментальной физики Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: v.n.berzhansky@gmail.com
- **Вербенко Илья Александрович**, д.ф.-м.н., директор НИИ физики, Южный федеральный университет, г. **Ростов—на-Дону**, e-mail: iaverbenko@sfedu.ru
- **Полулях Сергей Николаевич**, д.ф.-м.н., профессор кафедры экспериментальной физики Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**
e-mail: sergey.polulyakh@cfuv.ru
- **Томилин Сергей Владимирович**, к.ф.-м.н., ассистент кафедры экспериментальной физики Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь**
e-mail: s.tomilin.phystech@cfuv.ru
- **Михайлова Татьяна Владиславовна**, к.ф.-м.н., ст. преподаватель кафедры экспериментальной физики, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского **Симферополь** e-mail: taciamikh@gmail.com

- **Габдрахманова Лилия Айратовна**, к.ф.-м.н., ассистент каф.общей физики 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*)

19. Физика и экология

- **Шеманин Валерий Геннадьевич**, д.ф.-м.н., г.н.с., профессор кафедры инженерных дисциплин и управления, Новороссийский политехнический институт (филиал КубГТУ), г. **Новороссийск**, e-mail: Vshemanin@mail.ru
- **Попов Юрий Витальевич**, к.г.-м.н., доцент Института наук о земле, кафедра общей и инженерной геологии, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: popov@sfedu.ru
- **Силинина Зия Ринатовна**, к.ф.-м.н., м.н.с., Военный инновационный технополис «Эра», **Анапа**. e-mail: zilykh@gmail.com
- **Бураева Елена Анатольевна**, к.х.н., доцент, зав. лаб. радиоэкологических исследований, зам. директора НИИ физики Южного федерального университета, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: buraeva_elen@mail.ru (*АСФ России*)

20. Проблемы преподавания физики

- **Файн Евгений Яковлевич**, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической и вычислительной физики физического факультета, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: fain@sfedu.ru
- **Бойчук Любовь Ярославовна**, вед. специалист по УМР, Физико-технический институт КФУ им. В.И. Вернадского, **Симферополь** e-mail: boychukl@cfuv.ru
- **Рогова Ольга Валентиновна**, к.ф.-м.н., доцент, кафедры физики Севастопольского государственного университета, **Севастополь**, e-mail: rogovaov@mail.ru
- **Файн Марина Борисовна**, ст. преподаватель кафедры общей физики физического факультета, Южный федеральный университет, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: mbfain@sfedu.ru
- **Панчишкина Ирина Николаевна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики физического факультета ЮФУ, г. **Ростов-на-Дону**, e-mail: georgpu@rambler.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

21. Теплофизика

- **Анкудинов Владимир Евгеньевич***, к.ф.-м.н., инженер Институт математики информационных технологий и физики. Удмуртский государственный университет. Ижевск г. **Ижевск** , e-mail: vladimir@ankudinov.org

Примечания:

- **выделенным курсивом** отмечены научные секретари – эксперты секций, представляющие АСФ России и оргкомитет ВНКСФ-23, в том числе при предварительном рассмотрении тезисов перед их публикацией

-* - обозначены те же научные секретари – эксперты, работающие в составе научного комитета только заочно.

Информация по количеству заявок и докладов по секциям ВНКСФ-25

Секция	заявки	тезисы	Устные доклады	Обзорные, пленарные	стендовые	заочные
01 - Теоретическая физика	10	10	4	2	-	2
02 - Физика конденсированного состояния вещества	58	50	21	6	15	14
03 - Физика полупроводников и диэлектриков	19	15	5	2	1	9
04 - Молекулярная физика, физика жидкостей и газов	9	6	4	-	1	1
05 - Физика плазмы, электрофизика, Секция-семинар	17	14	7	4	1	6
06- Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц (секция-семинар)	9	8	7	4	-	1
07 - Физика низких температур, сверхпроводимость	6	6	4	1	2(1)	1
08 - Магнетизм	29	24	10	5	3(1)	11
09 - Оптика и спектроскопия	25	22	10	7	6(1)	7
10 - Квантовая электроника	6	6	4	-	-	2
11 - Астрофизика, физика космоса Секция – семинар	19	16	11	9(2)	3(1)	3
12 - Биофизика, медицинская физика	21	18	11	4	5(2)	5
13 - Физическая химия, химическая физика	11	10	3	1	4	3
14 - Геофизика: земная кора, океан, атмосфера	13	9	6	3	1	2
15 - Радиофизика	12	10	3	4	1	6
16 - Акустика, гидро- и газодинамика	10	10	6	3	3(1)	2
17 - Средства автоматизации и информационные технологии в физике	23	19	12	4	1(1)	7
18 – Материаловедение	37	32	18	6(1)	5(1)	10
19 - Физика и экология	23	22	9	2	6(1)	8
20 - Проблемы преподавания физики	20	18	7	4	3	7
21 – Теплофизика	7	6	2	-	-	4
Всего по всем секциям	384 (463)	331	164	71	60	112

Примечания:

- в итоговом количестве заявок ВНКСФ-25 в скобках дополнительно учтено количество ученых, принимающих участие в конференции, но не прошедших регистрацию в базе данных (+80 человек, в том числе 7 заочных)

- в столбце обзорных и пленарных докладов в скобках, в том числе, указаны лекции, которые вынесены за пределы работы секции – в пленарные программы открытия и закрытия конференции.

- в столбце «стендовые доклады» в скобках указаны стенды заочных участников

**Статистика заявок, докладов и участия ВНКСФ-25
по городам и регионам (с востока на запад)**

Город	заявки	доклады	очные	заочные
Дальний Восток, Забайкалье				
Владивосток	1	1	0	1
Якутск	6	5	2	3
Всего по региону:	7	6	2	4
Сибирь				
Иркутск	2	0	0	0
Красноярск	25	21	14*	8
Томск	57	50	33	18
Кемерово	4	4	0	4
Новосибирск	29	14	15*	11
Новокузнецк	1	1	0	1
Барнаул	2	1	1	0
Омск	1	1	1	0
Всего по региону:	121	92	64	42
Большой Урал				
Екатеринбург	34	31	19*	13
Тюмень	4	2	2	0
Челябинск	4	4	2	2
Пермь	10	5	5	2
Уфа	22	20	8	12
Ижевск	4	3	3	0
Киров	2	2	0	2
Всего по региону	80	67	39	31
Северный регион				
Санкт-Петербург	2	2	2	0
Великий Новгород	7	7	0	7
Калининград	3	2	2	0
Архангельск	1	1	0	1
Сыктывкар	2	2	1	1
Всего по региону	15	14	5	9
Поволжье				
Казань	4	2	2	0
Ярославль	2	2	0	2
Чебоксары	4	1	2*	0
Самара	1	1	1	0
Ульяновск	1	1	1	0
Волгоград	5	5	4	1
Всего по региону	17	12	10	3
Центральная часть России				
Дубна	3	4*	7*	0
Белгород	1	1	1	0
Елец (Пензенская обл.)	1	1	1	0

Москва	11	6	10*	0
Пушино	2	2	3*	0
Тамбов	1	1	1	0
Всего по региону:	19	13	20	0
Южный регион				
Ростов-на-Дону	53	56	36*	20
Таганрог	4	5*	4*	1
Новороссийск	5	4	5*	1
Анапа	0	0	1*	0
Махачкала	1	1	0	1
Нальчик	2	2	0	2
Нейтрино	1	2	2*	0
Ставрополь	2	1	0	1
Всего по региону:	67	71	48	26
Республика Крым				
Симферополь	41	71*	73*	1
Севастополь	10	13*	13*	0
Научный	5	12*	12*	0
Украина				
Донецк	2	2	2	0
Вьетнам***				
Ханой	1	1	0	1

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

- *** - студенты, обучающиеся в России

- жирным шрифтом выделены города – лидеры по количеству участников в своих регионах.

Статистика всех конференций ВНКСФ 1 – 25

ВНКСФ	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1996	1995	1994	1993	
стран	4	5	3	2	2	7	5	6	5	7	6	7	6	7	6	5	2	3	5	1	1	3	6	5	2	
городов	50	41	42	54	51	60	62	67	63	84	79	72	75	76	69	77	65	58	69	33	24	27	33	29	27	
ВУЗов	64	52	54	64	63	76	79	106	90	122	119	108	101	100	99	117	66	72	98	40	30	32	39	38	20	
НИИ и НИЛ	26	20	24	21	27	31	37	32	35	42	40	44	38	46	44	46	34	37	21	7	4	3	5	7	2	
заявок на участие	384	466	432	478	448	475	383	496	483	655	694	588	611	685	664	825	773	496	650	315	221	142	159	130	58	
принятых тезисов	331	401	343	396	380	422	336	472	455	562	623	486	497	581	516	649	540	338	464	240	173	133	120	117	61	
Очных участников*	231	287	218	280	207	183	188	271	227	254	284	248	262	295	250	320	190	130	300	90	60	50	140	120	60	
Участвующих ученых**	81	98	83	110	52																					
Конкурентных докладов*	220	305	221	288	376	411	324	465	449	544	606	473	491	580	516	649	540	338	464	240	173	133	120	117	61	
Обзорных и пленарных**	71	91	60	78	28																					
из них заявок:																										
Россия	378	458	428	475	373	466	376	451	441	531	577	461	474	561	490	637	536	334	444		173	129	111	110	55	
Белоруссия		4	1	3	3	1		1	3	5	9	4	4	7	15	3	4	3	8		0	0	1	5	0	
Казахстан	1					5	2	7	1	2	8	2	8	8	8	2										
Армения							1	2				2														
Азербайджан								1																		
Украина	2					1	7		3	6	9	0	2	2	2	3								3	3	
Киргизстан												3	3	1	1	1										
Узбекистан		2	3			2	2	3	2			0	1	1	1	1										
США, Канада							1					1												1		
страны Европы										1					1											
Китай	1	2																								
Вьетнам	2	1																								
Европейская часть России	34	28	33	47	26	76	96	52	60	77	89	65	81	84	28		91	166	283		120	61	77	56	27	
Поволжье	17	12	21	39	19	43	31	32	54	99	39	31	46	63	28		22	*	*		*	*	*	*	*	
Южный регион	67	46	79	233	62	67	46	29	41	65	47	32	89	83	71		68	*	*		*	*	*	*	*	
Урал	80	76	175	94	95	153	91	84	147	122	106	182	106	101	90		70	168	161		53	66	34	54	28	
Сибирь	121	273	108	54	163	108	90	237	130	130	261	126	142	198	157		269	**	**		**	**	**	**	**	

Дальний восток	7	13	9	10	15	20	24	29	22	37	33	22	27	27	19	9	8	7	**	**	**	**	**	**	**	
Республика Крым, Севастополь	56	7	6	6	5																					
ВНКФ, №	25	24	23	22	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	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	0	1	0
1 курс	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	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	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	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*	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*	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*	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*	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	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	
из них:																										
женщин	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	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 ВНКСФ 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



Участники 12-го визита на космодром Байконур, 7-й конференции «Физика-космосу»
17 ноября 2018, город Байконур, пл. 17 – гостиница «Космонавт»



Участники конференции ВНКСФ-24. 7 апреля 2018 г.
Томск – Академгородок, конгресс-центр «Рубин»

1 - Теоретическая физика

Бызова Елена Сергеевна, магистрант 1 года обучения

Кемерово, Кемеровский государственный университет, институт фундаментальных наук

Молекула H_2O с точки зрения симметрии

Журавлев Юрий Николаевич, д.ф.-м.н.

e-mail: 16930@mail.ru

стр. 48

Кривцова Анастасия Владимировна, аспирант 3 года обучения

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

Двухподрешеточный негејзенберговский магнетик со сложной межзонной анизотропией

Фридман Юрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

e-mail: krivtsova.eah@gmail.com

стр. 49

Кузнецов Алексей Валерьевич, 1 курс

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, физико-математический

Анализ спектра высокого разрешения молекулы $^{73}\text{GeH}_4$ в районе 4000-4300 cm^{-1}

Громова Ольга Васильевна, PhD

e-mail: avk93@tpu.ru

стр. 50

Любичкая Диана Николаевна, 1 курс

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

Сравнительный анализ траекторий движения частиц вблизи чёрных дыр

Осокин Константин Сергеевич,

e-mail: cedoeywko@gmail.com

стр. 51

Неклюдов Евгений Алексеевич, 6 курс

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

Негејзенберговский изотропный магнетик с $S=3/2$ на треугольной решётке

Фридман Юрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

e-mail: nekludov95@rambler.ru

стр. 52

Осокин Константин Сергеевич, аспирант 3 года обучения

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

Динамика пробной нуль-струны в поле аксиально-симметричной мультиструнной системы

Леяков Александр Петрович, к.ф.-м.н.

e-mail: Oxygen93@ya.ru

стр. 53

Полянская Евгения Анатольевна, 3 курс

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

Модель двухслойной пленки с $S(1,1/2)$

Фридман Юрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

e-mail: zhenya.polyanskaya.99@mail.ru

стр. 54

Самсонов Кирилл Юрьевич, аспирант 1 года обучения

Тюмень, Тюменский государственный университет, математики и механики

Динамика солитонов уравнения синус-Гордона с учётом трех примесей, внешней силы и затухания

Екомасов Евгений Григорьевич, д.ф.-м.н.

e-mail: k.v.samsonov@gmail.com

стр. 55

Сидоров Дмитрий Борисович, доцент

Архангельск, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, высшая школа естественных наук и технологии

Расчет торможения структурного иона с учетом поправки на электронные оболочки

e-mail: d.sidorov@narfu.ru

стр. 55

Шляхтич Мария Александровна, доцент

Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт инженерной физики и радиоэлектроники

Исследование критического поведения трехмерной неупорядоченной модели Изинга вблизи порога примесной перколяции

Прудников Павел Владимирович, д.ф.-м.н.

e-mail: mmed@mail.ru

стр. 56

Молекула H₂O с точки зрения симметрии

Бызова Елена Сергеевна

Кемеровский государственный университет

Журавлев Юрий Николаевич, д.ф.-м.н.

L6930@mail.ru

Применение теории симметрии во многом помогает при изучении различных объектов. Именно она дает точный математический язык для классификации состояний сложных систем с учетом свойств симметрии, т.к. из нее вытекают все законы сохранения. В настоящее время большинство расчетов проводится при помощи компьютерного моделирования, однако знание теории симметрии позволяет ученому еще на ранней стадии вычислений оценить их точность и достоверность, что, безусловно, чрезвычайно важно для науки [1].

Поэтому с целью ознакомления и проверки корректности расчетов, выполненных в программном пакете CRYSTAL14 [2], было решено провести теоретико-групповой анализ нормальных колебаний для нашего объекта – молекулы воды. Ее группа симметрии C_{2v}, в состав входят четыре элемента: E, C₂^(z), σ^(xz), σ^(yz). Порядок группы h=4. В первую очередь была составлена таблица переходов атомов O, H1 и H2 в плоскости yz под действием этих элементов, после чего были рассчитаны характеры неприводимых представлений по формулам [1]. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеры неприводимых представлений

C _{2v}	E	C ₂ ^(z)	σ ^(xz)	σ ^(yz)
χ(Г1)	1	1	1	1
χ(Г2)	1	-1	1	-1
χ(Г3)	1	-1	-1	1
χ(Г4)	1	1	-1	-1
χ _v	3	-1	1	1
χ _T	9	-1	1	3
χ _{опт}	6	0	0	2
χ _{rot}	3	-1	-1	-1
χ _{вм}	3	1	1	3
χ _{кр}	6	2	2	2

Используя полученные χ, можно определить количество различных видов колебаний по формуле:

$$C = \frac{1}{h} \sum_g \chi(g) \chi_i^*(g),$$

где χ_i – характер соответствующего i-го представления. Полученные значения представлены в таблице 2. Здесь C_T – показывает число частот симметрии i-го неприводимого представления (число колебаний), C_v – число акустических колебаний, C_{опт} – число оптических колебаний, C_{rot} – число колебаний типа вращения, C_{вм} – число внутримолекулярных колебаний, C_{кр} – определяет активность колебаний в КР спектре. Для самопроверки учитываем следующее: общее число колебаний находится как 3N=3*3=9; сумма оптических и акустических колебаний дает полное число колебаний; сумма колебаний типа вращения и внутримолекулярных дает число оптических колебаний; активность в ИК спектре определяется по числу акустических колебаний (если 0, то не активны).

Таблица 2. Классификация колебаний молекулы H₂O

Симметрия	Кратность вырождения	Общее число колебаний	C _v	C _{опт}	C _{rot}	C _{вм}	Активность в ИК/КР спектрах
Г1	1	3	1	2	0	2	ИК, КР
Г2	1	2	1	1	1	0	ИК, КР
Г3	1	3	1	2	1	1	ИК, КР
Г4	1	1	0	1	1	0	КР

Также любопытен тот факт, что проведение теоретико-группового анализа позволяет определить форму колебаний еще до проведения вычислений. Так, в случае ориентации молекулы в плоскости YZ ее колебания могут иметь всего четыре формы, что действительно и наблюдается в наших расчетах (3 колебания формы E⁽¹⁾, 2 формы E⁽²⁾, 3 формы E⁽³⁾ и 1 формы E⁽⁴⁾):

$$E^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ a \\ b \\ c \\ 0 \\ -b \\ c \end{pmatrix}, \quad E^{(2)} = \begin{pmatrix} a \\ 0 \\ 0 \\ b \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad E^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 \\ a \\ 0 \\ 0 \\ b \\ c \\ 0 \\ b \\ -c \end{pmatrix}, \quad E^{(4)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ a \\ 0 \\ 0 \\ -a \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, в результате проведения теоретико-группового анализа молекулы H₂O мы взглянули на нее с точки зрения симметрии. При сравнении полученной методами компьютерного моделирования формы колебаний с той, что вытекает из теории, установлено полное совпадение. В дальнейшем планируется провести квантовомеханическое исследование перспективных кристаллогидратов с опорой на теорию симметрии.

Список публикаций:

- [1] Журавлев Ю.Н., Кравченко Н.Г. // Введение в теорию симметрии: Кемеровский государственный университет. 2007. С. 88.
 [2] Dovesi R., Orlando R., Erba A., Zicovich-Wilson C.M., Civaleri B., Casassa S., Maschio L., Ferrabone M., De La Pierre M., D'Arco Ph. // Int. J. Quantum Chem. 2014. V. 114. P. 1287.

Двухподрешеточный негейзенберговский магнетик со сложной межионной анизотропией

Кривцова Анастасия Владимировна

Фридман Юрий Анатольевич, Космачев Олег Александрович

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Фридман Юрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

krivtsova.eah@gmail.com

Интерес к изучению новых фазовых состояний магнетиков постоянно растет в связи с технологическим развитием [1-5]. В изотропных магнетиках с учетом высших спиновых инвариантов в обменном гамильтониане возможна реализация не только фаз с магнитным порядком, то есть с отличным от нуля средним значением спина (дипольного параметра порядка $\langle \mathbf{S} \rangle$), но также и фаз с $\langle \mathbf{S} \rangle = 0$, в которых спонтанное нарушение вращательной симметрии обусловлено средними значениями спиновых мультиполей, например, квадрупольными средними $S^{ij} = \langle S^i S^j + S^j S^i \rangle / 2$ [6]. Такое состояние, названное спиновым нематиком (SN), было найдено для магнетиков со спином $S = 1$. Изотропные системы подобного рода хорошо изучены. Представляет интерес исследовать фазовые состояния и динамические свойства двухподрешеточного негейзенберговского магнетика со сложной межиионной анизотропией.

В качестве модели рассмотрим магнетик со спином магнитного иона единица, в котором учтена возможность разбиения на две подрешетки. Такой выбор величины спина позволяет учесть кроме билинейного (гейзенберговского) обменного взаимодействия, также и биквадратичное обменное взаимодействие. Кроме того, предполагается, что эти взаимодействия существенно анизотропны. Таким образом, гамильтониан такой системы можно представить в виде:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{n \neq n'} \left\{ J_{nn'} \left(S_n^z S_{n'}^z + \Delta \left(S_n^x S_{n'}^x + S_n^y S_{n'}^y \right) \right) + K_{nn'} \left(O_{2n}^0 O_{2n'}^0 / 3 + \Delta_1 \left(O_{2n}^{zx} O_{2n'}^{zx} + O_{2n}^{yz} O_{2n'}^{yz} \right) + \Delta_2 \left(O_{2n}^2 O_{2n'}^2 + O_{2n}^{xy} O_{2n'}^{xy} \right) \right\}, \quad (1)$$

где $J_{nn'}$, $K_{nn'}$ – константы билинейного и биквадратичного обменных взаимодействий, соответственно; $\Delta, \Delta_1, \Delta_2$ – параметры межиионной анизотропии; n, n' – номера подрешеток; O_j^i ($j \leq 2S, i \leq j$) – операторы Стивенса [7]. Кроме того, предполагается, что $J, K < 0$; $\Delta, \Delta_1, \Delta_2 > 0$.

Анализ свободной энергии и спектров элементарных возбуждений показал, что в системе существуют как фазы с дипольным параметром порядка (AFM-фазы), так и фазы с тензорными параметрами (OQU-фазы), и промежуточные состояний, характеризуемых как векторным, так и тензорным параметрами порядка.

В результате были определены все фазовые состояния, реализующиеся при различных соотношениях констант обменного взаимодействия и параметров анизотропии. Проведенный в работе анализ плотности

свободной энергии и спектров элементарных возбуждений в различных фазовых состояниях позволил не только построить сечения фазовой диаграммы системы, но и определить типы фазовых переходов. Анализ динамических и статических свойств системы в случае реализации только тензорных фаз показал, что фазовые переходы по тензорному параметру порядка по характеру близки к ориентационным фазовым переходам. На линиях фазового перехода и на линиях неустойчивости фаз спектры имеют линейный закон дисперсии по волновому вектору.

Список публикаций:

- [1]. N. Papanikolaou, *Nucl. Phys. B* 305, 367 (1988).
- [2]. A.V. Chubukov, *J. Phys. Condens. Matter* 2, 1593 (1990).
- [3]. M. Arikawa, H. Tsunetsugu, *JMMM*. 310, 1308 (2007)
- [4]. Tarun Grover and T. Senthil, *Phys. Rev. Lett.* 98, 247202 (2007)
- [5]. Yu.A. Fridman, O.A. Kosmachev, Ph.N. Klevets, *JMMM*. 325, 125 (2013)
- [6]. Б.А.Иванов, Р.С. Химин, *ЖЭТФ* 131, 343 (2007).
- [7]. K.Stevens, *Proc. Phys. Soc. A* 65, 209, (1952).

Анализ спектра высокого разрешения молекулы $^{73}\text{GeH}_4$ в районе $4000\text{--}4300\text{ см}^{-1}$ Кузнецов Алексей Валерьевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Громова О.В.

avk93@tpu.ru

Знание внутренних свойств молекулы германа очень важно для многочисленных научных и прикладных задач физики, химии, астрофизики, промышленности и т.д. Герман является одним из важных компонентов атмосферы таких газовых планет-гигантов, как Юпитер и Сатурн. В ряде предыдущих работ (см. [1-3]) мы уже исследовали спектры высокого разрешения других изотопологов молекулы германа. В настоящем исследовании мы продолжаем анализ данной молекулы и сосредоточились на изотопологе ^{73}Ge в области $4000\text{--}4300\text{ см}^{-1}$, где расположены полосы $\nu_1+\nu_3$ и $2\nu_3$.

Образец германа был синтезирован в Институте химии особо чистых веществ Российской академии наук. Спектры были записаны с высоким разрешением $0,003\text{ см}^{-1}$ с использованием Фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR. На рис. 1 представлен зарегистрированный спектр молекулы $^{73}\text{GeH}_4$ в диапазоне $4000\text{--}4300\text{ см}^{-1}$. Спектрометр был оснащен источником Globar, расщепителем пучка KBr и детектором антимионида индия (InSb), охлаждаемым жидким азотом. Размер апертуры составлял 1 мм. Многоходовая белая ячейка была постоянно подключена к вакуумной системе с вакуумной системой отбора проб газа, турбомолекулярным насосом и емкостными манометрами, охватывающими диапазоны $0,01\text{--}100\text{ Тор}$. Оптический отсек спектрометра вакуумировали механической накачкой до $0,02\text{ Тор}$ и это давление сохранялось в течение эксперимента. Окончательные спектры были откалиброваны с использованием наиболее интенсивных и хорошо разрешенных линий H_2O из базы данных HITRAN. После калибровки стандартное отклонение разности между измеренным и табличным положением пиков было оценено как $2 \cdot 10^{-4}\text{ см}^{-1}$.

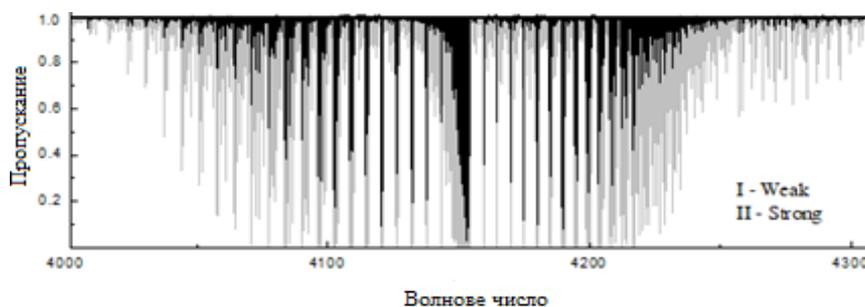


рис. 1. Экспериментальный спектр молекулы $^{73}\text{GeH}_4$ в диапазоне $4000\text{--}4300\text{ см}^{-1}$

$$H^{vib.-rot.} = \sum_{\nu\gamma, \nu'\gamma'} \sum_{n\Gamma} \sum_{\Omega K} [(|\nu\gamma\rangle \otimes \langle \nu'\gamma' |)^{n\Gamma} \otimes R^{\Omega(K, n\Gamma)}]^{A_1} Y_{\nu\gamma, \nu'\gamma'}^{\Omega(K, n\Gamma)}. \quad (1)$$

Здесь $|\nu\gamma\rangle$ – симметризованные колебательные функции; Γ – симметрия прямого произведения $(|\nu\gamma\rangle \otimes \langle \nu'\gamma' |)$ колебательных волновых функций; $Y_{\nu\gamma, \nu'\gamma'}^{\Omega(K, n\Gamma)}$ – различные спектроскопические параметры; Ω и K – степень и ранг неприводимого оператора вращения $R^{\Omega(K, n\Gamma)}$ в группе точечной симметрии T_d .

В результате анализа было определено 1640 переходов с максимальным значением квантового числа $J^{\max} = 22$ для полос $\nu_1 + \nu_3$ и $2\nu_3$. Полученные переходы были использованы в процедуре варьирования для определения параметров эффективного гамильтониана (1). В результате решения обратной задачи был получен набор из 28 различных параметров для $^{73}\text{GeH}_4$ (16 параметров колебательного состояния, 12 параметров резонансного взаимодействия). Значения всех остальных параметров были фиксированы на значениях, соответствующих параметрам молекулы $^{76}\text{GeH}_4$. Набор полученных параметров воспроизводит исходные экспериментальные данные с точностью $d_{\text{rms}} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$.

Список публикаций:

- [1] Улеников О. Н., Громова О. В., Бехтерева Е. С., Распопова Н. И., Сенников П. Г., Кошелев М. А., Вельмужова И. А., Вельмужов А. П., Адамчик С. А. // *JQSRT*. 2018. Т.205. С.96
 [2] Улеников О. Н., Громова О. В., Бехтерева Е. С., Распопова Н. И., Сенников П. Г., Кошелев М. А., Вельмужова И. А., Вельмужов А. П. // *JQSRT*. 2018. Т.221. С.129
 [3] Улеников О. Н., Громова О. В., Бехтерева Е. С., Распопова Н. И., Кузнецов А. В., Кошелев М. А., Вельмужова И. А., Вельмужов А. П., Адамчик С. А. // *JQSRT*. 2018. Т.205. С.96

Сравнительная характеристика траекторий движения незаряженных частиц вблизи черных дыр

Любицкая Диана Николаевна

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Осокин Константин Сергеевич

cedoeywko@gmail.com

Черные дыры являются одним из предсказаний общей теории относительности, которое до сих пор вызывает большой теоретический и практический интерес для изучения из-за своих уникальных свойств. Черная дыра представляет собой гипотетический объект, обладающий настолько сильным гравитационным притяжением, что находящаяся поблизости материя, и даже свет, не могут вырваться из его гравитационного поля. Черные дыры имеют вокруг себя четкую гравитационную границу, называемую горизонтом событий, за пределами которой ни о каком событии ничего нельзя узнать [1].

Теоретически возможность существования таких областей пространства-времени следует из некоторых точных решений уравнений Эйнштейна, первое из которых было получено Карлом Шварцшильдом в 1915 году. Решением Шварцшильда точно описывается изолированная невращающаяся, незаряженная и не испаряющаяся чёрная дыра (это сферически симметричное решение уравнений гравитационного поля (уравнений Эйнштейна) в вакууме). Её горизонт событий — это сфера, радиус которой, называется гравитационным радиусом или радиусом Шварцшильда. [2]

Позже были описаны другие решения уравнений Эйнштейна:

- решение Рейснера — Нордстрёма - это статичное решение (не зависящее от временной координаты) уравнений Эйнштейна для сферически-симметричной чёрной дыры с зарядом, но без вращения;
- решение Керра — где черная дыра обладает рядом интересных свойств [3]. Вокруг горизонта событий существует область, называемая эргосферой, внутри которой телам невозможно покоиться относительно удалённых наблюдателей. Они могут только вращаться вокруг чёрной дыры по направлению её вращения; и др.[4]
- решение Керра -Ньюмена — это решение которое описывает вращающуюся заряженную черную дыру[5];

Логичным продолжением изучения черных дыр, является исследование движения частиц в гравитационном поле черных дыр.

В данной работе произведен сравнительный анализ движения незаряженной частицы в гравитационных полях черных дыр различной конфигурации.

Список публикаций:

- [1] J. Michell, *Phil. Trans. Roy. Soc.* 74, 35 (1784)
 [2] Alan Ellis. *Black holes — Part 1 — History* Архивировано 08 октября 2017 года. // *The Astronomical Society of Edinburgh Journal*, № 39 (лето 1999)
 [3] S. Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes*, Oxford University Press (1983); V. P. Frolov and A. Zelnikov, *Introduction to Black Hole Physics*, Oxford University Press (2011).
 [4] Markus Heusler. *Stationary Black Holes: Uniqueness and Beyond* // *Living Reviews in Relativity*. 34, 36 (1998)
 [5] Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер. *Гравитация*, Т. 3, 1977, Дополнение 33.2. *Геометрия Керра — Ньюмана и электромагнитное поле*, с. 88.

Негейзенберговский изотропный магнетик с $S=3/2$ на треугольной решётке

Неклюдов Евгений Алексеевич

Фридман Юрий Анатольевич

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Фридман Юрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

nekludov95@rambler.ru

Хорошо известно, что в общем случае изотропное обменное взаимодействие для магнетика со спином $S > 1/2$ не ограничивается билинейным взаимодействием и может включать высшие инварианты типа $(\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2)^n$ со значениями n до $2S$, где S - величина спина магнитного иона. Для изотропных магнетиков при наличии высших спиновых инвариантов возможна реализация не только фаз с магнитным порядком, то есть с отличным от нуля средним значением спина, но также и фаз с $\langle \mathbf{S} \rangle = 0$, в которых спонтанное нарушение вращательной симметрии обусловлено значениями спиновых средних, например, квадрупольными средними $S^{ij} = \langle S^i S^j + S^j S^i \rangle / 2$. Такое состояние, названное спиновым нематиком (SN), было найдено для магнетиков со спином $S=1$ [1]. Для спина $S=3/2$ на квадратной решетке найдены фазы с $\langle \mathbf{S} \rangle = 0$, для которых симметрия относительно отражения времени нарушена за счет нетривиальных свойств трёхспиновых средних. В силу этого для спина $S=3/2$ на квадратной решетке возможно существование антинематической (SAN) фазы [2]. Также, достаточно подробно изучены фазовые состояния спинового нематика с $S=1$ на треугольной решетке [3]. Однако, вопрос о динамических и статических свойствах изотропного негейзенберговского магнетика с $S=3/2$ на треугольной решетке остается открытым. В настоящее время появился дополнительный интерес к таким состояниям, связанный с изучением свойств ультрахолодных ферми-газов, примером которых являются газы ^{132}Cs , ^9Be , ^{135}Ba со спином $S=3/2$ в оптических решетках, в которых на одну ячейку приходится один атом [4].

В качестве исследуемой модели рассмотрен изотропный магнетик со спином магнитного иона $S=3/2$ с учетом всех допустимых спиновых инвариантов имеющий треугольную кристаллическую решетку. Рассмотрение проводится при низких температурах, поскольку в этом случае наиболее ярко проявляются квантовые свойства системы. Гамильтониан такой системы имеет вид:

$$\mathcal{H} = -\frac{1}{2} \sum_{n,n'} J(n-n') (\mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n'}) - \frac{1}{2} \sum_{n,n'} K(n-n') (\mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n'})^2 - \frac{1}{2} \sum_{n,n'} L(n-n') (\mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n'})^3,$$

где \mathbf{S}_n – спиновый оператор в n -ом узле, J , K и L – обменные интегралы между ближайшими спинами. Анализ свободной энергии магнетика позволил определить все возможные спиновые конфигурации системы и области их устойчивости. Как и для случая квадратной решетки в рассматриваемой ситуации в магнетике возможна реализация двух дипольных фаз (ферро- и антиферромагнитной) и двух тензорных (спиновый нематик и спиновый антинематик). Однако, в отличие от случая, рассмотренного в [2], рассматриваемая нами система в антиферромагнитной и антинематической фазах имеет симметрию C_3 , тогда как на квадратной решетке симметрия этих фаз C_∞ [5].

Используя метод бозонизации операторов Хаббарда нами получены спектры элементарных возбуждений во всех возможных фазовых состояниях, анализ которых позволил не только определить области устойчивости фаз, но и тип фазовых переходов по материальным параметрам системы. Все фазовые переходы между рассмотренными фазами являются вырожденными переходами первого рода. Используя эти результаты, была построена фазовая диаграмма негейзенберговского изотропного магнетика с $S=3/2$ на треугольной решетке.

Список публикаций :

- [1] A. F. Andreev and I. A. Grishchuk, *Sov. Phys. JETP* 60, 267 (1984).
- [2] О.А. Космачёв, Ю.А. Фридман, Е.Г. Галкина, Б.А. Иванов, *ЖЭТФ* 147, 320 (2015).
- [3] A. Smerald and N. Shannon, *Phys. Rev. B* 88, 184430 (2013)
- [4] C. Wu, *Mod. Phys. Rev. Lett.* B 20, 1707 (2006).
- [5] Ф.Н. Клевец, Е.А. Неклюдов, Ю.А. Фридман, *ФТТ* 10, 1937 (2018).

Решение уравнений Эйнштейна для замкнутой струны с осевой симметрией

Осокин Константин Сергеевич

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Леяков Александр Петрович, к.ф.-м.н.

Oxygen93@ya.ru

Космические струны – это одномерные топологические дефекты, которые, согласно предсказаниям Калибровочных Теорий Великого Объединения (ТВО), могли образовываться в ранней Вселенной в процессе фазовых переходов [1]. В работе [2] было показано, что наличие таких объектов во Вселенной не противоречит наблюдаемому микроволновому реликтовому излучению. Также не исключается, что космические струны могли сохраниться до современной эпохи и могут быть наблюдаемыми.

Космическая струна характеризуется линейной плотностью ρ_l и радиусом поперечного сечения r_s . Для струн, фигурирующих в моделях ТВО, эти параметры связаны с типичным масштабом масс теории m_{GUT} и постоянной Хиггса λ следующими уравнениями:

$$\frac{G}{c^2} \rho_l = \lambda^{-1} \left(\frac{m_{GUT}}{m_{Pl}} \right)^2, \quad r_s = l_{Pl} \left(\frac{m_{Pl}}{m_{GUT}} \right),$$

где m_{Pl} и l_{Pl} – планковские масса и длина соответственно; G – гравитационная постоянная, c – скорость света. Если в данных уравнениях положить $m_{GUT} = 10^{15}$ ГэВ, $\lambda \approx 10^{-2}$, то радиус поперечного сечения космической струны можно оценить, как

$$r_s \approx 10^{-31} \text{ м}$$

Нуль струны реализуют предельный случай нулевого натяжения для струн Намбу-Гото [3]. В таком пределе точки нуль-струны взаимодействуют лишь с внешним гравитационным полем, но не друг с другом. При этом скорость всех точек струны равна скорости света. Так как натяжение струны измеряется отрицательными степенями планковской массы m_{Pl} , то предел нулевого натяжения соответствует асимптотически большим масштабам энергии $E \propto m_{Pl}$ [4]. С этой точки зрения нуль-струны реализуют высокотемпературную фазу теории струн, то есть могли образовываться на ранних стадиях эволюции Вселенной.

Исследование движения пробной нуль-струны в гравитационном поле замкнутой нуль-струны постоянного и переменного радиуса показало наличие для пробной нуль-струны только «узкой» области, находясь в которой она может взаимодействовать с нуль-струной, порождающей гравитационное поле, что говорит о возможности реализации «зернистой» структуры пространства, заполненного газом нуль-струн [5]-[6]. Наличие для каждой пробной нуль-струны попавшей в «зону взаимодействия» аномальных участков траектории, на которых пробная нуль-струна за очень короткий промежуток времени или ускоренно выталкивается на бесконечность или ускоренно притягивается из бесконечности, подтверждает, хотя и косвенно, гипотезу о возможной струнной природе механизма инфляции Вселенной.

В данной работе произведен поиск решения уравнений Эйнштейна для «размазанной» замкнутой нуль-струны с осевой симметрией, движущейся ортогонально плоскости, в которой она расположена.

Список публикаций:

- [1] A.D. Linde, *Particle Physics and Inflationary Cosmology*, Princeton University Press, (1994).
- [2] C.T. Hill, D.N. Schramm and J.N. Fry, *Commun Nucl. Part. Phys.* 19, 25 (1999).
- [3] A. Schild, *Phys. Rev. D* 16, 1722 (1977).
- [4] I.A. Bandos, A.A. Zheltukhin, *Fortschr. Phys.* 41, 619 (1993).
- [5] A.P. Lelyakov, *Gravitation and Cosmology* 21, No.4, 309 (2015).
- [6] O.P. Lelyakov, A.S. Karpenko, R.-D.O. Babadzhan, *Ukr. J. Phys.* 59, 1114 (2014).

Модель двухслойной пленки с S (1,1/2)

Полянская Евгения Анатольевна

Крымский федеральный университет им. В.И Вернадского

Фридман Юрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

zhenya.polyanskaya.99@mail.ru

Магнитные пленки широко применяются в микроэлектронике и вычислительной технике. Особый интерес представляют двухслойные магнитные пленки из-за наблюдаемых в них квантовых эффектов [1]. Например, в ферромагнетиках наблюдается эффект компенсации намагниченности подрешеток при определенных условиях, что было рассмотрено в настоящей работе.

В данной задаче рассматривается двухподрешеточный коллинеарный магнетик со спином $S = 1$ в первой подрешетке и $\sigma = 1/2$ во второй подрешетке. Подобные задачи были рассмотрены и другими авторами [2,3,4]. Гейзенберговский гамильтониан хорошо описывает системы со спином равным $1/2$, однако, для магнетиков с $S > 1$ это не единственный инвариант, поэтому для подрешетки со спином $S = 1$ учтем инвариант $(\mathbf{S}_m \mathbf{S}_{m'})^2$, называемый биквадратичным обменным взаимодействием.

Гамильтониан рассматриваемой системы имеет следующий вид:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{n,n'} J^{(1)}(n - n') \sigma_n \sigma_{n'} - \frac{1}{2} \sum_{m,m'} J^{(2)}(m - m') \mathbf{S}_m \mathbf{S}_{m'} - \frac{1}{2} \sum_{m,m'} K(m - m') (\mathbf{S}_m \mathbf{S}_{m'})^2 - \frac{1}{2} \sum_{n,m} J^{(12)}(n - m) \mathbf{S}_m \sigma_n,$$

где $J^{(i)} > 0$ — константы обменного взаимодействия первой и второй подрешеток ($i = 1, 2$) и $J^{(12)}$ — константа межподрешеточного обменного взаимодействия, и знак ее не фиксирован; \mathbf{S}_m — спиновый оператор первой подрешетки; σ_n — спиновый оператор второй подрешетки; m, n — номера узлов первой и второй подрешеток соответственно.

Магнитное упорядочение в веществе может изменяться при изменении внешних условий: одна магнитная фаза может перейти в другую. Магнитные фазовые переходы представляют особый интерес, так как с их помощью можно установить механизмы формирования магнитного упорядочения, закономерности поведения системы в критической области фазового перехода, также системы с магнитными фазовыми переходами представляют практический интерес, поскольку в области перехода происходит контролируемое изменение намагниченности.

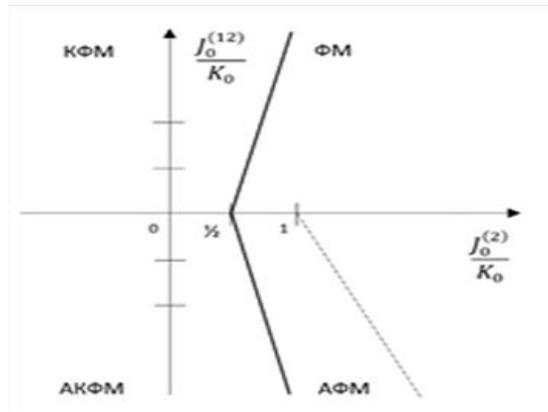


рис.1. Фазовая диаграмма магнетика S (1/2,1)

В настоящей работе был получена фазовая диаграмма данного двухподрешеточного магнетика со спинами $S=1$ и $\sigma=1/2$ (рис.1). В рассматриваемой системе возможна реализация четырех фазовых состояний; две фазы с дипольными параметрами порядка (ФМ и АФМ), и две фазы, характеризующееся тензорными параметрами (КФМ и АКФМ). Переход между ФМ и АФМ фазами связан с изменением знака константы межподрешеточного обмена. На рисунке сплошными линиями изображены линии фазового перехода, а штрихованной – линия компенсации. На линии, совпадающей с осью абсцисс, константа межподрешеточного обменного взаимодействия $J^{(12)}$ меняет знак.

Список публикаций:

- [1] Ю.А. Фридман, О.А. Космачев. ФТТ 51, 1104 (2009).
- [2] Naoki Irikura, Yujiro Eto, Takuya Hirano and Hiroki Saito. Phys. Rev. A 97, 023622 (2018).
- [3] N. De La Espriella, C.A. Mercado, G.M. Buendia. J. Magn. Magn. Mater. 417, 30-36 (2016).
- [4] A. Feraoun, M. Kerouad. Appl. Phys. A 124, 735 (2018).

$$S(t) = \frac{4\pi Z_p^2 N_a}{v^2} \left(\ln \frac{2v^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 + \Delta L_{Bloch}^{Z_p} + \Delta L_{Mott}^{Z_p} + \Delta L \right), \quad (3)$$

где I - средняя [5] атомная энергия мишени, $\Delta L_{Bloch}^{Z_p}, \Delta L_{Mott}^{Z_p}$ - поправки Блоха и Мотта в поле заряда Z_p , ΔL – оболочечная поправка.

Результаты и расчеты. Для иллюстрации результатов мы рассчитали торможение ионов криптона в среде аргона (рис. 1). Верхний график – расчет с учетом непertурбативной оболочечной поправки, нижний график – расчет по теории возмущений. Расчеты показывают, что учет поправки на возбуждения снаряда даёт вклад в эффективное торможение.

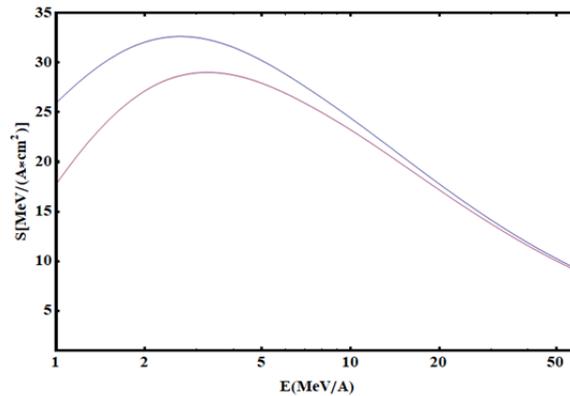


рис 1: Торможение ионов криптона (Kr) в среде аргона (Ar)

Список публикаций

- [1]. Потери энергии быстрыми тяжелыми высокозарядными структурными ионами при столкновениях со сложными атомами /Матвеев В.И., Сидоров Д.Б. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып 7. С. 18-23.
 [2]. Bethe theory of stopping incorporating electronic excitations of partially stripped projectiles / Cabrera-Trujillo R. Cruz S. Jens Oddershede J. Sabin J.R. //Physical Review A. 1997. Vol. 55. P. 2864.
 [3] H. Bichsel /Shell correction in stopping powers // Physical Review A. 2002. Vol. 65. 052709.
 [4] Квантовая механика, М.:Наука, 1989, 667 с. // Ландау Л.Д. Лифицц Е.М.
 [5] Slowing down of relativistic few-electron heavy ions / Weick H., Geisel H., Scheidenberger C. et al.// Nucl. Instr. Meth. 2000. Vol. B164.P. 168.

Исследование критического поведения трехмерной неупорядоченной модели Изинга вблизи порога примесной перколяции

Шляхтич Мария Александровна¹

Прудников Павел Владимирович², Папушин Александр Сергеевич²

¹Сибирский федеральный университет,

²Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

Прудников Павел Владимирович, д.ф.-м.н.

[E-mail mmed@mail.ru](mailto:mmed@mail.ru)

В реальных микроскопических системах всегда присутствуют те или иные дефекты. Дефекты структуры могут иметь различную природу и оказывать различное влияние на процессы, протекающие в твердых телах, поэтому описание влияния дефектов структуры во всех возможных формах их проявления является одной из интересных и сложных проблем теории критических явлений. Описание фазовых переходов считается одной из наиболее сложных и актуальных задач статистической физики. Аномально большие и долгоживущие флуктуации некоторых термодинамических величин, наблюдаемые при приближении к точке фазового перехода, характеризуются сильными взаимодействиями, что создает значительные трудности в аналитическом и экспериментальном исследовании критического поведения. Компьютерное моделирование является независимым инструментом для исследования аномального поведения фазового перехода второго порядка [1,2], о чем свидетельствует прогресс в разработке различных методов компьютерного моделирования. Поэтому одной из важных задач является разработка таких методов, которые слабо зависят от влияния критического замедления.

В последние годы изучение различных неупорядоченных моделей вблизи порога перколяции примеси стало актуальной и интересной проблемой [3,4,5]. В данной работе мы исследовали критические свойства

Динамика солитонов уравнения синус-Гордона с учётом трех примесей, внешней силы и затухания

Самсонов Кирилл Юрьевич¹

Кудрявцев Р.В.², Гумеров А.М.²

¹Тюменский государственный университет

²Башкирский государственный университет

k.y.samsonov@gmail.com

Одним из самых известных представителей интегрируемых нелинейных дифференциальных уравнений является уравнение синус-Гордона (УСГ). На сегодняшний день, модели, основанные на использовании данного уравнения и его различных модификаций, часто используются для исследования различных задач радиофизики и спинтроники, связанных с использованием магнитных материалов. Однако построение различных моделей, наиболее адекватно описывающих физические системы, приводит к необходимости модифицировать УСГ, вводя, например, переменные коэффициенты, внешнюю силу и затухание. Часто исследуется случай наличия пространственной модуляции периодического потенциала (или примеси) (см. например, [1-3]).

В работе для случая (1+1) - мерного УСГ показана возможность аналитического и численного решения задачи для случая трех и более примесей (или случая мультислойного ферромагнитного материала). Для случая наличия трех примесей определено наличие критического значения расстояния между примесями, которое приводит к двум качественно различным сценариям динамического поведения кинка УСГ. Рассмотрены структура и свойства пяти- и шестикинковых решений уравнения синус-Гордона, возбуждаемых в области примесей. Рассмотрено влияние внешней силы и неоднородного затухания на динамику кинков и солитонов модифицированного УСГ.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 18-31-00122.

Список публикаций:

1. A. M. Gumerov, E. G. Ekomasov, F. K. Zakir'yanov, R. V. Kudryavtsev, *Comput. Math. Math. Phys.*, 54(3) (2014) 491–504.

2. E. G. Ekomasov, A. M. Gumerov, R. V. Kudryavtsev, *JETP Letters*, 101(12) (2015) 835–839.

3. E. G. Ekomasov, A. M. Gumerov, R. V. Kudryavtsev, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 312 (2017) 198–208.

Расчет торможения структурного иона с учетом поправки на электронные оболочки

Сидоров Дмитрий Борисович

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

d.sidorov@narfu.ru

В настоящее время известно много расчетов торможения структурных ионов на нейтральных атомах [1],[2]. Однако все эти расчеты выполнены приближённо, с наложением многочисленных ограничений. К примеру, отношение скорости иона к видимому заряду должно быть меньше единицы.

В настоящей работе мы рассмотрели торможения легких ионов на атомах водорода и гелия с учетом поправок на электронные оболочки. Расчет проведем согласно работе [3]. Где используется так называемая непertурбативная оболочечная поправка

$$\Delta L = \gamma + K_0(2x) + \ln(x) \quad (1)$$

где $\gamma = 0.5662$ - постоянная Эйлера, $K_0(2x)$ - функция Макдональда, $x = \frac{(2\beta)^{\frac{1}{2}}\eta}{2}$, $\eta = Z/v$ - кулоновский параметр. С случае многоэлектронного атома с эффективным зарядом $Z_a^{(n,l)}$ необходимо суммировать вклады от различных электронов:

$$\Delta L = \frac{1}{N_a} \sum_{n,l} N_{n,l} \Delta L_{n,l} \quad (2)$$

где $N_{n,l}$ - число атомных электронов в состояниях с квантовыми числами n,l .

Эффективное торможение [4] $S^{(t)}$ на возбуждение и ионизацию электронов атома-мишени структурным ионом, описываемым как протяженный заряд вычислим как в [1] и при тех же условиях, накладываемых на ион-снаряд с видимым зарядом Z_p

модели Изинга вблизи порога перколяции. При концентрации, близкой к критической, появляется кластер, который соединяет противоположные стороны решетки. При критической концентрации $p = p_c$ самый большой кластер имеет фрактальную размерность. При теоретическом описании поведения таких систем концентрация дефектов больше не может рассматриваться как малая величина. Это делает их теоретическое описание очень сложным или даже невозможным. Перколяционный кластерный (invaded) алгоритм был предложен в [6], который более эффективен, чем все предыдущие методы вблизи порога перколяции.

Для расчета критических показателей неупорядоченной модели Изинга была рассмотрена кубическая решетка с линейным размером $L = 128$. Система моделируется численно, начиная с полностью упорядоченного состояния с начальной намагниченностью $m_0 = 1$ как с помощью алгоритма Метрополиса, так и с помощью перколяционного кластерного алгоритма. Моделирование проводится при температуре равной критической $T_c = 3.091\ 266\ (20)$ и при концентрации спинов $p = p_c = 0.688\ 313\ 500$. Измеряемыми величинами являются намагниченность $m(t)$ и второй момент намагниченности $m^{(2)}(t)$. Моделирование было выполнено до $t = 10000$ MCS/s. Итоговые кривые были получены путем усреднения по 600 конфигурациям примеси.

По наклону временной зависимости намагниченности $m(t) \sim t^{-\beta/\nu z}$ и кумулянта Биндера второго порядка $U_2(t) \sim t^{d/z}$ (рис.1) могут быть определены значения критических индексов $\beta/\nu z$ и d/z , соответственно. В данной работе итоговые значения статических и динамических критических индексов были получены с учетом ведущих поправок к скейлингу. Значение показателя $d/z = 1.1838(109)$ было вычислено с помощью $\omega/z = 0.3275$, значение $\beta/\nu z = 0.6518(609)$ было вычислено с $\omega/z = 0.0860$ для алгоритма Метрополиса. Значение показателя $d/z = 4.099(88)$ было вычислено с помощью $\omega/z = 0.098$, значение $\beta/\nu z = 2.255(33)$ было вычислено с $\omega/z = 0.270$ для перколяционного кластерного алгоритма.

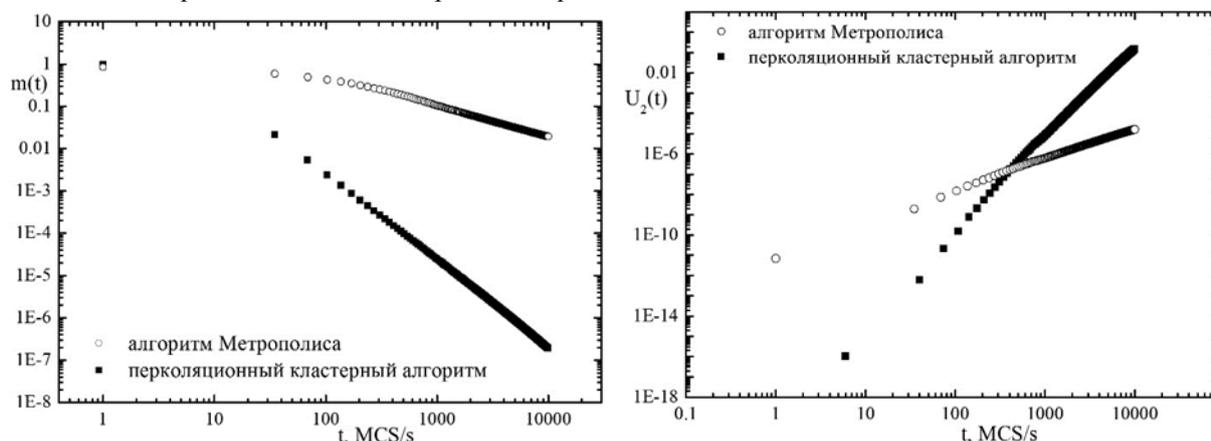


рис.1. Временные зависимости намагниченности $m(t)$ и кумулянта Биндера второго порядка $U_2(t)$.

На основе этих значений мы определили конечные значения критических показателей $z = 2.534(234)$, $\beta/\nu = 1.652(37)$ для алгоритма Метрополиса и $z = 0.732(16)$, $\beta/\nu = 1.650(56)$ для перколяционного кластерного алгоритма. Значение динамического критического показателя z , полученное с помощью перколяционного кластерного алгоритма значительно меньше, чем значение для алгоритма Метрополиса. Вот почему перколяционный кластерный алгоритм может быть успешно применен для введения неупорядоченной системы в состояние равновесия.

Работа выполнена при поддержке грантов 17-02-00279, 18-42-55003 Российского фонда фундаментальных исследований и гранта Президента Российской Федерации МД-6868.2018.2.

Моделирование было проведено с помощью вычислительных ресурсов, предоставленных Центром общего фонда «Центр обработки данных ДВО РАН» (Хабаровск), Суперкомпьютерным центром МГУ им. М.В. Ломоносова, Московским объединенным суперкомпьютерным центром и Санкт-Петербургским суперкомпьютерным центром Российской Академия Наук.

Список публикаций:

- [1] Prudnikov V. V., Prudnikov P. V., Krinitsyn A. S., et. al. // *Phys. Rev. E*. 2010. V. 81. P. 011130.
- [2] Prudnikov P. V., Medvedeva M. A. // *Progr. Theor. Phys.* 2012. V. 127. P. 369.
- [3] Balog I., Uzelac K. // *Phys. Rev. E*. 2007. V. 76. P. 011103.
- [4] Faraggi E. // *Phys. Rev. B*. 2008. V. 78. P. 134416.
- [5] Dixon K., Venus D. // *Phys. Rev. B*. 2017. V. 95. P. 245438.
- [6] Machta J., Choi Y. S., Lucke A., Schweizer T. // *Phys. Rev. Lett.* 1995. V. 15. P. 2792.

2 - Физика конденсированного состояния вещества

Баишева Алия Хазинуровна, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Электрофизические и тепловые свойства сплавов $K(x)Cu(2-x)S$
Балапанов Малик Хамитович, д.ф.-м.н.
e-mail: aliya-baisheva@yandex.ru стр. 65

Болат-оол Анна Андрияновна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий
Исследование режимов спекания кальций фосфатных мишеней разного состава для ВЧ магнетронного напыления биопокрытий
Шаркеев Юрий Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: anna_bolat-ool@mail.ru стр. 66

Бурдуковский Владимир Николаевич, 4 курс
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический
Исследование тонкой кристаллической структуры спеченных керамик ZrO_2 и ZrO_2-ZrV_2 после ударно-волнового компактирования
Кульков Сергей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: vladimirburdukovsky@gmail.com стр. 67

Вагапов Александр Шамильевич, 3 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический
Влияние 10МэВ пучка электронов на оптические свойства прозрачной керамики $MgAl_2O_4$
Зацепин Анатолий Фёдорович, к.т.н.
e-mail: Alexander1705q@icloud.com стр. 68

Габдрахманова Лилия Айратовна, доцент
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Влияние пластической деформации ковкой на мартенситное превращение в сплаве системы Ni-Mn-Ga
e-mail: la-gabdrahmanova@mail.ru стр. 69

Гордиенко Кирилл Алексеевич, аспирант 1 года обучения
Кемерово, Кемеровский государственный университет, институт фундаментальных наук
ИК-спектр молекулярных кристаллов $C_7H_{16}NO_2(Cl)$ и $C_5H_{14}NO(Cl)$
Журавлев Юрий Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: gordie-kirill@rambler.ru стр. 70

Денисова Алена Николаевна, 4 курс
Барнаул, Алтайский государственный педагогический университет, институт физико-математического образования
Исследование теплостойкости полимерных материалов с помощью вероятностно-статистических подходов
Насонов Алексей Дмитриевич, к.ф.-м.н.
e-mail: tnovichihina@mail.ru стр. 72

Доможирова Александра Николаевна, аспирант 1 года обучения
Екатеринбург, Институт физики металлов УрО РАН
Электронные свойства монокристалла WTe_2
Марченков Вячеслав Викторович, д.ф.-м.н.
e-mail: domozhirova@imp.uran.ru стр. 74

Драганюк Оксана Николаевна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 75

Ерагер Ксения Романовна, магистрант 2 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Гранулометрический состав хромсодержащих полититанатов калия
Саунина Светлана Ивановна, к.ф.-м.н.
e-mail: eragerk@rambler.ru стр. 76

Жармухаметов Айнур Ринатович, аспирант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Моделирование магнитоэлектрических и поверхностных свойств в сверхрешетках и нанопленках мультиферроиков
Шарафуллин Ильдус Фанисович, к.ф.-м.н.
e-mail: aiderfarro@gmail.com стр. 77

Замковская Анастасия Игоревна, магистрант 1 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, Физико-технический институт
Исследование размерно-напряженных эффектов в боратах ABO₃ (A=In, Fe, Ga)
Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.
e-mail: trabem.z@gmail.com стр. 78

Игнатова Кристина Игоревна, магистрант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики
Оценка фрактальной размерности сформированных структур серебра на поверхности стеклообразных ионных проводников системы AgGe_{1+x}As_{1-x}(S+УНТ)₃, содержащих одностенные углеродные нанотрубки
Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.
e-mail: christinaignatova@gmail.com стр. 80

Каптелинин Святослав Юрьевич, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Исследование локальной атомной структуры меди в процессе твердофазного синтеза CuMOR по данным спектроскопии EXAFS
Срабионян Василий Валерьевич, к.ф.-м.н.
e-mail: kaptelinin@sfedu.ru стр. 81

Катков Всеволод Леонидович, с.н.с.
Дубна, Объединенный институт ядерных исследований, лаб. теоретической физики
Моделирование электронных и транспортных свойства графена на основе метода сильной связи
e-mail: katkov@theor.jinr.ru стр. 82

Кашина Раэно Рустамовна, магистрант 1 года обучения
Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермская научно-производственная приборостроительная компания, физический
Исследование эффективности генерации иттербиевого лазера от длины волокна
Азанова Ирина Сергеевна, к.ф.-м.н.
e-mail: ranoxan13@gmail.com стр. 82

Костенко Валерия -, аспирант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ИШФВП
Влияние ионного облучения на фазовую перестройку керамики ZrO₂-3Y₂O₃
Гынгазов Сергей Анатольевич, д.т.н.
e-mail: kostenko.lerochka@mail.ru стр. 86

Костенко Валерия, аспирант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ИШФВП
Исследование модифицированной ионными пучками керамики Al_2O_3 методом сканирующей электронной микроскопии
Гынгазов Сергей Анатольевич, д.т.н.
e-mail: kostenko.lerochka@mail.ru стр. 84

Куличкина Туяра Петровна, 4 курс
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, физико-технический институт
Моделирование движения частицы в наклонной плоскости под действием потока воды
Яковлев Борис Васильевич, д.ф.-м.н.
e-mail: Turaret_2017@mail.ru стр. 87

Лебедева Ольга Сергеевна, ассистент
Волгоград, Волгоградский государственный университет, институт математики и информационных технологий
Пьезорезистивные свойства дираковских материалов
e-mail: lebedeva_os@volsu.ru стр. 89

Луговской Назар Викторович, инженер
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
О переходных слоях в эпитаксиальных пленках ферритов-гранатов
Бержанский Владимир Наумович, д.ф.-м.н.
e-mail: lugovskoynv@cfuv.ru стр. 90

Любутина Марианна Владимировна, вед. инженер
Москва, Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, отдел ядерных методов и магнитных структур
Мультиферроидные свойства кристалла $GdFe_3(VO_3)_4$, индуцированные высоким давлением
e-mail: lyuanne@mail.ru стр. 92

Максимов Глеб Сергеевич, 2 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Структурное совершенство эпитаксиальных пленок
Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.
e-mail: neondreamer00@gmail.com стр. 93

Милодан Ариолла Владимировна, аспирант 2 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Синтез и исследование железосфатов
Сапига Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: ariolla@mail.ru стр. 94

Мкртчян Виктория Дмитриевна, магистрант 2 года обучения
Ставрополь, Северо-Кавказский федеральный университет, институт математики и естественных наук
Исследование силы взаимодействия плоских проводников с током, помещенных в магнитную коллоидную наносистему
Диканский Юрий Иванович, д.ф.-м.н.
e-mail: vika_g96@mail.ru стр. 95

Могиленец Юлия Александровна, аспирант 2 года обучения
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 стр. 97

Наухацкий Игорь Анатольевич, аспирант 2 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Разработка температурной приставки для рентгеноструктурного исследования веществ при отрицательных температурах
Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.
e-mail: nauhatsky@cfuv.ru стр. 98

Оборотова Любовь Александровна, 4 курс
Елец, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, институт математики, естествознания и техники
ТермоЭДС в биологических жидкостях
Кузнецов Денис Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: olubov97@yandex.ru стр. 99

Отаев Амирджон Ахмаджонович, магистрант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физический
Фазовые переходы в дираковском 3D полуметалле Cd₃As₂ с содержанием наногранул MnAs при высоких давлениях
Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.
e-mail: otaev-95@mail.ru стр. 101

Паладян Юлия Александровна, аспирант
Донецк, Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, отдел теории динамических свойств сложных систем
Особенности трансформации поляритонного спектра, вызванные структурными дефектами в цепочки микропор
Румянцев Владимир Васильевич, д.ф.-м.н.
e-mail: paladyan0108@yandex.ru стр. 101

Перескоков Владислав Сергеевич, аспирант 3 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Вихревые решетки поверхностных плазмон-поляритонов на границе раздела металл-диэлектрик
Дзедолик Игорь Викторович, д.ф.-м.н.
e-mail: pereskokow@gmail.com стр. 103

Петров Илья Александрович, магистрант 1 года обучения
Чебоксары, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, прикладной математики, физики и информ. технологий
Синтез пленочных структур оксид меди-sp1 углерод для создания газовых сенсоров
Смирнов Александр Вячеславович
e-mail: fizteh21@yandex.ru стр. 104

Петрова Светлана Дмитриевна, магистрант 1 года обучения
Красноярск, Сибирский федеральный университет, ИИФиРЭ
Кристаллохимические условия выращивания монокристаллов тригональных ферроборатов SmFe₃(BO₃)₄
Гудим Ирина Анатольевна, к.ф.-м.н.
e-mail: i02060517@yandex.ru стр. 106

Пипкова Анна Сергеевна, магистрант 1 года обучения
Ярославль, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, физический
Рентгенофазовый анализ пленок In₂S₃ после плазменной обработки
Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.
e-mail: anna_pipkova@mail.ru стр. 107

Пономарев Владислав Валериевич, магистрант 1 года обучения
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, физико-технический институт
Влияние допирования на электронные свойства графеновых нанолент
Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: pon_slav@mail.ru стр. 109

Прилепский Дмитрий Юрьевич, магистрант 2 года обучения
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 стр. 109

Руденская Елизавета Александровна, 2 курс
Кемерово, Кемеровский государственный университет, технологический институт пищевой промышленности
Механизм образования химической связи и электронные свойства молекулы L-лизина
Оболонская Оксана Сергеевна, к.ф.-м.н.
e-mail: lizaveta23071999@mail.ru стр. 110

Рыбалка Алексей Евгеньевич, 6 курс
Донецк, Донецкий национальный университет, физико-технический
Влияние дефектов структуры на дисперсионные характеристики поляритонной 2D решетки туннельно связанных микропор, содержащих квантовые точки
Румянцев Владимир Васильевич, д.ф.-м.н.
e-mail: rybalka96@inbox.ru стр. 111

Семянникова Алена Александровна, аспирант 1 года обучения
Екатеринбург, Институт физики металлов УрО РАН
Особенности магнитных и гальваномагнитных свойств сплавов Гейслера Co_2YSi ($Y=Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$)
Марченков Вячеслав Викторович, д.ф.-м.н.
e-mail: semiannikova@imp.uran.ru стр. 113

Смагина Елизавета Александровна, 4 курс
Ижевск, Удмуртский государственный университет, ИМИТиФ
Переохлаждение расплавов Fe – Co (до 20 ат.% Co)
Камаева Лариса Вячеславовна, к.ф.-м.н.
e-mail: elizaveta.smagina.97@mail.ru стр. 114

Смирнова Анастасия Юрьевна, 6 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Изучение импульсных откликов ЯМР в двухспиновых системах
Сапига Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: a.smirnovasbox@gmail.com стр. 116

Снегирёв Никита Игоревич, 6 курс
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 стр. 117

Солодухин Дмитрий Сергеевич, 2 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Исследование оптических свойств нанопленок углерода на стеклах. Метод магнетронно-распылительных систем
Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.
e-mail: alkrommus@gmail.com стр. 118

Томилина Ольга Андреевна, аспирант
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт
Влияние диэлектрического окружения на изменение резонансной частоты локализованных плазмонов
Бержанский Владимир Наумович, д.ф.-м.н.
e-mail: olga_tomilina@mail.ru стр. 119

Угодчикова Анна Владимировна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий
Формирование силикатных биопокрытий на поверхности сплава $Mg_{0.8}Ca$
Седельникова Мария Борисовна, д.т.н.
e-mail: Ugodch99@gmail.com стр. 121

Федосов Эрнест Энверович, магистрант 2 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Магнитные и диэлектрические свойства композитов на основе углеродных нанотрубок
Бержанский Владимир Наумович, д.ф.-м.н.
e-mail: ernestfedosov@gmail.com стр. 122

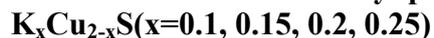
Филиппов Даниил Игоревич, аспирант
Кемерово, Кемеровский государственный университет, физический
Расчет диэлектрических свойств и эффективных масс тяжелых электронов и дырок для азидов двухвалентных металлов
Гордиенко Алексей Болеславович, д.ф.-м.н.
e-mail: filippovdaniil@kemsu.ru стр. 123

Хацаюк Вероника Викторовна, 4 курс
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 стр. 125

Шихова Евгения Петровна, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Мессбауэровское исследование магнитных свойств твердого раствора $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$
Кубрин Станислав Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: zhes1999@yandex.ru стр. 127

Шляхова Софья Алексеевна, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Влияние катионных замещений на магнитные свойства твердого раствора $1-x\text{BiFeO}_3-x\text{PbFe}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}\text{O}_3$ исследованное методами мессбауэровской спектроскопии
Кубрин Станислав Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: sofia.shlyhova@gmail.com стр. 128

Термоэлектрические и тепловые свойства полупроводниковых сплавов



Баишева Алия Хазинуровна¹,

Сахабаева Сайра², Галиева Роза Ибрагимовна¹

¹Баширский государственный университет

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

Балапанов Малик Хамитович, д.ф.-м.н.

aliya-baisheva@yandex.ru

Суперионные полупроводниковые халькогениды являются перспективными полупроводниковыми материалами для использования в термоэлектрических генераторах, солнечных элементах, оптических устройствах [1-3].

Целью данной работы было исследование влияния легирования калием на термоэлектрические и тепловые свойства сульфида меди. Известно, что на электрические и тепловые свойства поликристаллических полупроводниковых материалов значительно влияет размер зерен и дефектная структура материала. Исходя из этого, в данной работе были поставлены следующие задачи:

1. Получение составов $K_xCu_{1.85}S$ ($x=0.1, 0.15, 0.2, 0.25$) и оценка размеров частиц порошка. Компактирование образцов для измерений. Отжиг образцов, оценка размеров зерен.
2. Определение фазового состава образцов методом рентгенофазового анализа и методом ДСК.
3. Измерение температурной зависимости электронной проводимости, электронной термо-э.д.с. и теплопроводности образцов $K_xCu_{2-x}S$ в области температур 20-400 °С.
4. Анализ результатов и оценка термоэлектрической эффективности изучаемых составов.

Образцы в виде порошка были получены методом реакции замещения в расплаве NaOH и KOH при температуре 165 °С. Размеры частиц синтезированного порошка находились от 20 до 200 нм. Для измерений кинетических параметров были методом холодного прессования скомпактированы поликристаллические образцы размерами 2х5х20 мм³.

Рентгенофазовый анализ образцов проводился при комнатной температуре на дифрактометре D8 ADVANCE ECO фирмы Bruker с Cu K_α -излучением.

По результатам рентгенофазового анализа образца $K_{0.2}Cu_{1.8}S$ при комнатной температуре он представляет собой смесь различных фаз сульфида меди: кубической $Cu_{1.84}S$, кубической Cu_2S , ромбоэдрической Cu_7S_9 и тетрагональной Cu_2S . Кубическая фаза $Cu_{1.84}S$ и сосуществующая с ней кубическая фаза Cu_2S составляют практически 70 % в общем составе фаз образца $K_{0.2}Cu_{1.8}S$. Известна работа T. Ohtani et al. [4] об образовании квазиодномерного канального проводника KCu_7S_4 ($K_{0.25}Cu_{1.75}S$) с тетрагональной структурой типа $I\bar{4}$ в интервале температур от 0 до 273 К. Ионы калия в этой структуре расположены внутри тетрагональных Cu_4S_4 -цепочек. Также известна работа Li et al. [1], в которой описывается образование клатратной структуры в нитевидных кристаллах $KCu_{7-x}S_4$, имеющих свойства фононного стекла и электронно-жидкого кристалла. Из-за сильного различия в способе синтеза наши образцы не являются однофазными клатратами, однако, судя по низкой теплопроводности, также имеют свойства фононного стекла.

В работе представлены результаты измерений температурных зависимостей электронной проводимости, коэффициента электронной термо-э.д.с. и теплопроводности образцов $K_xCu_{2-x}S$ в области температур 20-400 °С. Анализ результатов показал, что из исследованных материалов наиболее перспективные свойства ($ZT \sim 0.8$ при 200 °С) для термоэлектрических применений имеют сплавы состава $K_{0.15}Cu_{1.85}S$.

Список публикаций:

[1]. Xi Li, Ch. Hu, Xu. Kang, Q. Len, Yi Xi, K. Zhanga and H.Liu. // *J. Mater. Chem. A*. 2013. V.1. P.13721.

[2]. Balapanov M.K., Ishembetov R.K., Kuterbekov K.A., Nurakhmetov T.N., Urazaeva E.K., Yakshibaev R.A. // *Inorg mater.* 2014. V.50. P. 930.

[3]. Balapanov M. Kh., Ishembetov R.Kh., Kuterbekov K.A., Kubenova M.M., Almukhametov R.F., and Yakshibaev R.A. // *Ionics*. 2018. V.24. N5. P. 1349.

[4]. Ohtani T., Ogura J., Yoshihara H. and Yokota Y. // *J. Solid State Chem.* 1995. V.115. P.379.

Исследование режимов спекания кальцийфосфатных мишеней разного состава для ВЧ магнетронного напыления биопокровтий

Болат-оол Анна Андрияновна

Прололов Константин Александрович, Химич Маргарита Андреевна, Белявская Ольга Андреевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Шаркеев Юрий Петрович, д.ф.-м.н.

anna_bolat-ool@mail.ru

Улучшение биосовместимости металлических внутрикостных имплантатов достигается созданием промежуточного слоя между ним и костью, обладающего оптимальными физическими, механическими и биологическими свойствами. Интерес к покрытиям на основе фосфатов кальция определяется их высоким химическим сходством с минеральной составляющей костной системы. Среди методов нанесения биосовместимых покрытий на медицинские имплантаты метод высокочастотного (ВЧ) магнетронного распыления привлекает возможностью получения покрытий из диэлектрических материалов, чистотой, равномерностью покрытия по толщине, высокой адгезионной прочностью. Для реализации метода ВЧ магнетронного распыления необходимо решение задачи создания мишени из хрупкого материала, представляющей собой плоский тонкий диск (3-4 мм) большого диаметра (порядка 110 мм) и обладающей прочностью, достаточной для закрепления на катоде.

В работе проведены исследования режимов спекания мишеней, сформированных методом одноосного прессования из порошков гидроксипатитового (ГА) состава с частичными замещениями катионов Ca^{+2} в элементарной ячейке катионами Zn^{+2} и Cu^{+2} : $(\text{Ca}_{9,6}\text{Zn}_{0,4}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$ (Zn-ГА), $(\text{Ca}_{9,8}\text{Cu}_{0,2}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$ (Cu-ГА)), полученных методом механохимического синтеза, характеризующихся удельной поверхностью не более $1,5 \text{ м}^2/\text{г}$.

Спекание – процесс уплотнения и объединения частиц порошка под действием высоких температур, вследствие которого происходит упрочнение материала. Из исследований процессов спекания керамики на основе ГА известно, что типичными процессами, влияющими на свойства однофазной керамики, являются уплотнение материала за счет сокращения пористости, рекристаллизация и каталитическое действие, оказываемое парциальным давлением паров воды в атмосфере [1]. Выбор режимов спекания ГА керамики осложняется возможной потерей радикалов гидроксильной группы и распадом ГА при высоких температурах на окись кальция, трикальцийфосфат, тетракальцийфосфат, а в вакууме возможной диссоциацией ГА до образования фазы оксида фосфора (P_2O_5). Известно также, что увеличение размера частиц исходного порошка ГА приводит к значительному повышению температуры начала интенсивной усадки при спекании. Спекание в вакууме ГА керамики начинается при более низких температурах, чем в воздушной атмосфере, а частичное замещение в структуре ГА катионов Ca^{+2} на другие катионы может способствовать активизации спекания, связанной с реакциями дефектообразования.

Исследуемые режимы спекания были определены на основе собственного опыта и информации из литературных источников. Спекание мишеней проводилось в нескольких режимах в воздушной среде и в вакууме. Спеченные мишени исследовались методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре ДРОН-7 в ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН в CoK_α -излучении. Рентгеновские профили, полученные при съемке мишеней, спеченных при разных режимах, показаны на рисунке 1. Также были рассчитаны соотношения параметров кристаллических решеток c/a Zn-ГА мишеней.

Однофазность и плоскостность мишеней состава Zn-ГА с удельной поверхностью $1,5 \pm 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$ обеспечивается спеканием во всех исследованных режимах: в воздушной среде с максимальной температурой $T_{\text{max}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ (мишень 1), в воздушной среде с $T_{\text{max}} = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ (мишень 3) и спеканием в две стадии – в воздушной среде с $T_{\text{max}} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ на первой стадии, затем в вакууме с $T_{\text{max}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ на второй стадии (мишень 2). Наибольшей интенсивностью и четким разделением отличаются пики профилей для мишеней, спеченных в две стадии и в воздушной среде с $T_{\text{max}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$. По результатам расчетов замечено, что соотношение c/a для решеток мишеней, обладающих наибольшей интенсивностью пиков, имеют более высокое значение, что скорее всего, является характеристикой степени спекания мишеней.

Однофазность и плоскостность Cu-ГА мишеней с удельной поверхностью $0,7 \pm 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$ достигается сложнее, чем для мишеней состава Zn-ГА, спрессованных из порошка с более высокой удельной поверхностью ($1,5 \pm 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$). Из двух исследованных режимов – в воздушной среде при $T_{\text{max}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ (мишень 5) и в вакууме при $T_{\text{max}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ (мишени 4 и 6), плоская и однофазная мишень получена только в первом режиме. Спекание в вакууме требует дополнительного исследования, поскольку в мишени, спеченной в использованном режиме, обнаружены дополнительные фазы $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и P_2O_5 .

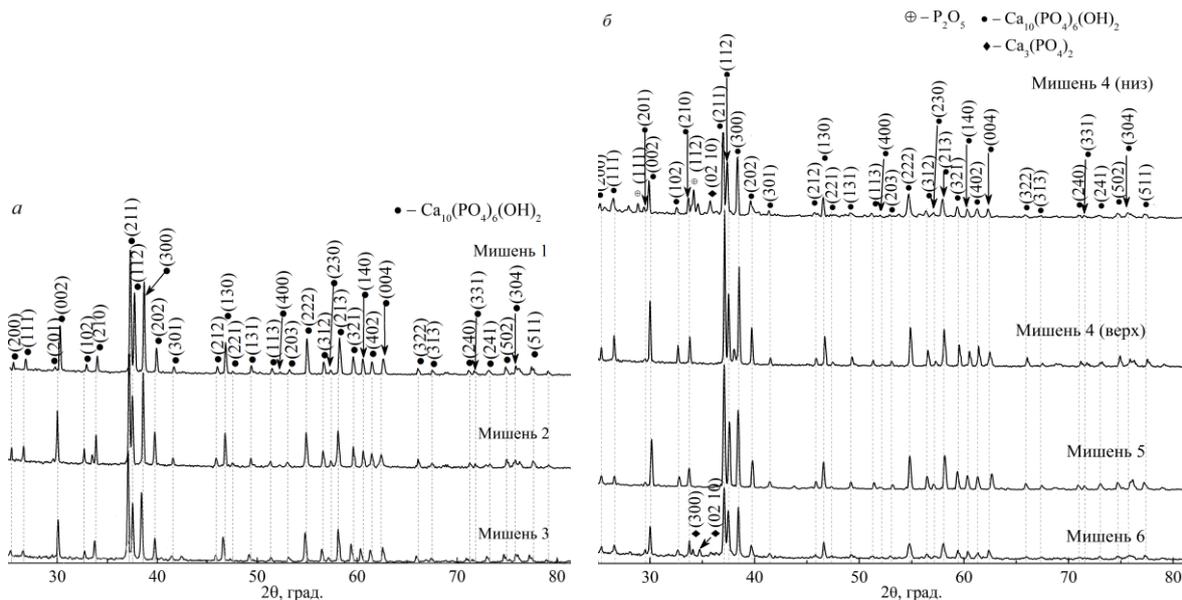


рис.1. Рентгеновские профили мишеней гидроксиапатитового состава (а – Zn-ГА, б – Si-ГА), спеченных при разных режимах

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23.2.5, в ИФПМ СО РАН. Авторы выражают благодарность специалистам ЛФХВМ (зав. лаб. д.т.н. Лернер М.И.) за проведение исследований удельной поверхности порошков и специалистам ИХТГМ, д.х.н. Чайкиной М.В. за подготовку катионозамещенных гидроксиапатитов с сопроводительной информацией по результатам исследований.

Список публикаций:

[1] Баринов С. М., Комлев В. С. // Биокерамика на основе фосфатов кальция. М.: Наука, 2005. 203 с.

Исследование тонкой кристаллической структуры спеченных керамик ZrO_2 и ZrO_2-ZrB_2 после ударно-волнового компактирования

Бурдуковский Владимир Николаевич

Буяков Аlesia Сергеевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Кульков Сергей Николаевич, д.ф.-м.н.

vladimirburdukovsky@gmail.com

Керамики на основе ZrO_2 и ZrO_2-ZrB_2 являются перспективными материалами, обладающими высокой твердостью, прочностью и износостойкостью [1, 2]. Данные материалы востребованы в нефтегазовой промышленности, металлургии, медицине и др.

Керамики на основе ZrO_2 и ZrB_2 относятся к труднопрессуемым. Одним из методов прессования данных керамик является ударно-волновое компактирование [3], обеспечивающее существенно большее уплотнение по сравнению с традиционными методами. Исследовательские работы ряда авторов в данной области ведутся долгое время, однако, существует недостаток данных о влиянии такого вида компактирования на кристаллическую и микроструктуру материалов.

Целью данной работы является исследование тонкой кристаллической структуры спеченных керамик ZrO_2 и ZrO_2-ZrB_2 после ударно-волнового компактирования.

Образцы ZrO_2 и ZrO_2-ZrB_2 получены ударно-волновым компактированием с последующим спеканием в воздушной печи при температуре 1600 °С с изотермической выдержкой в течение часа. Для исследования тонкой кристаллической структуры материалов были сняты рентгенограммы на дифрактометре ДРОН-3 в условиях фильтрованного $Co-K\alpha$ излучения (длина волны $\lambda = 1,789 \text{ \AA}$) в угловом диапазоне от 25° до 65° с шагом 0.05° и временем экспозиции 3 с. Были оценены параметры кристаллической решетки [4], средний размер областей когерентного рассеяния (ОКР), микродисторсия и величина напряжений второго рода.

Обнаружено, что после отжига при 1600 °С ZrO₂ представлен моноклинной фазой, параметр a – уменьшился на 0,08 %, b – увеличился на 0,34 %, c – уменьшился на 0,49 % относительно табличных значений [JCPDS #13-307]. В ZrO₂-ZrB₂ параметры моноклинного диоксида циркония: a – уменьшился на 0,42 %, b – уменьшился на 0,5 %, c – уменьшился на 0,46 %; параметры ZrB₂ a и b – уменьшились на 0,618 %, а параметр c – уменьшился на 0,1 % относительно табличных значений [JCPDS #34-423].

Значения полученных микроискажений, среднего размера областей когерентного рассеяния и напряжений второго рода приведены в таблице.

Материал	Фаза	ε (10^{-3})	D (нм)	σ_{micro} (МПа)
ZrO ₂	моноклинная	1	70	300
ZrO ₂ -ZrB ₂	моноклинная	2,5	65	450
ZrO ₂ -ZrB ₂	гексагональная	6	40	3000

Показано, что после ударно-волнового компактирования ZrO₂ представлен кубической и моноклинной фазой, а после отжига при температуре 1600 °С только моноклинной. Отжиг приводит к релаксации напряжений второго рода и уменьшению микродисторсии и росту среднего размера ОКР в ZrO₂. В то же время средний размер ОКР ZrB₂ снижается, а микроискажения кристаллической решетки растут.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00304

Список публикаций:

- [1] Kulkov S.N. Porosity and mechanical properties of zirconium ceramics // AIP Conference Proceedings. – 2014. – V. 1623. – No. 1. – P. 225–228.
 [2] Kulkov S.N. Rheology and porosity effect on mechanical properties of zirconia ceramics // *Épitöanyag*. – 2015. No. 4. – P. 155.
 [3] Первухин Л.Б. и др. Компактирование взрывом керамических порошков // Письма о материалах 2015. Т. 5. № 1. С. 57-60.
 [4] Hannink R. H. and Garvie R. C. Subeutectoid aged Mg-PSZ alloys with enhanced thermal up-shock resistance // J. Mater. Sci. – 1982. – V. 1 – No. 7. –P. 2837-2843.

Влияние 10МэВ пучка электронов на оптические свойства прозрачной керамики MgAl₂O₄

Ваганов Александр Шамильевич¹

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

²Институт геологии и геохимии УрО РАН

Киряков Арсений Николаевич¹, Зацепин Анатолий Федорович¹, Щапова Юлия Владимировна^{1,2}

Alexander1705q@icloud.com

Керамики магний-алюминиевой шпинели (МАШ) интенсивно исследуются ввиду их высокой радиационной и химической стойкости, широкого окна оптического пропускания (0,2-5,5мкм), большой механической прочности. Легирование МАШ ионами переходных металлов позволяет получать люминесценцию в разных диапазонах спектра. Монокристаллы шпинели, легированные марганцем, титаном или хромом могут быть использованы в качестве активных сред твердотельных лазеров. Известно, что керамики МАШ, полученные различными методами, обладают частичной катионной инверсией, то есть ион Al³⁺ в тетраэдрическом положении Mg²⁺ и наоборот. Такие anti-site дефекты (ADs) могут выступать в качестве ловушек носителей заряда. С другой стороны, облучение прозрачных керамик ионизирующим излучением стимулирует образование дополнительных анионных и катионных дефектов в различном зарядовом состоянии. Влияние 10МэВ пучка электронов на оптические свойства МАШ до конца не установлено. В связи с чем цель работы заключалась в исследовании оптических свойств МАШ до и после облучения ускоренными электронами.

Микроструктурные образцы прозрачной МАШ получены из Санкт-Петербургского университета имени Петра Великого. Аттестация образцов проводилась методами СЭМ и РФА. Образцы содержат 100% фазы MgAl₂O₄ пространственная группа Fd3m. Размер зерен составляет 5-15 мкм. Спектры оптического поглощения измерены на спектрофотометре Lambda 35 (Perkin Elmer), спектры фотолюминесценции записаны на CCD камеру при возбуждении лазером с энергией 2,53эВ. Облучение быстрыми электронами выполнено на линейном ускорителе электронов UERL – 10С в Уральском Федеральном Университете (E = 10 МэВ, флюенс 10¹⁷ e/cm²).

На (рис 1) представлены спектры оптического поглощения прозрачной керамики МАШ до и после облучения ускоренными электронами. Разложение разностной кривой на гауссианы показывает, что в низкоэнергетической части спектра образуются V – центры окраски (катионные вакансии, либо поглощения примесных катионов типа Cr^{3+} , Mn^{2+}). В диапазоне от 3.5 до 4.5 эВ регистрируются центры, образованные ADs с захваченными электроном или дыркой. УФ область характеризуется поглощением F^+ и F – центров (анионные вакансии с одним или двумя захваченными электронами) с энергией максимумов 4.75 и 5.3 эВ соответственно. При энергии фотонов свыше 5.5 эВ наблюдаются полосы поглощения, которые могут быть связаны с F^2 либо F^{2+} – агрегатными анионными вакансиями.

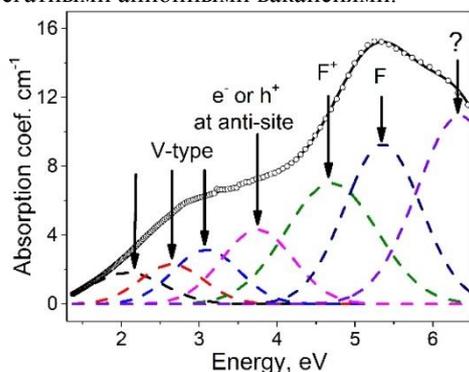


рис. 1. Изменение коэффициента абсорбции до и после облучения электронами

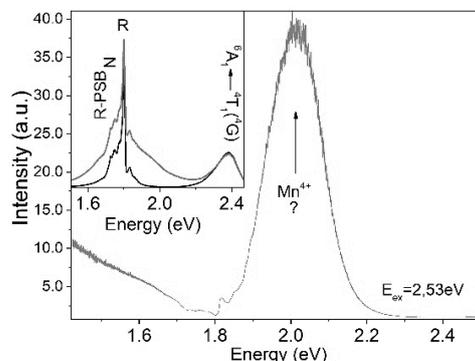


рис.2. Пик люминесценции в 2эВ и полосы люминесценции примесных ионов Cr^{3+} и Mn^{2+}

Фотолюминесценция исходных керамик при лазерном возбуждении в 2.53эВ (рис 2) характеризуется свечением примесных ионов Cr^{3+} и Mn^{2+} в диапазонах 1.5 – 1.85эВ, 2.2 – 2.45эВ соответственно. Облучение 10МэВ электронами приводит к образованию дополнительной полосы, разрешить которую можно при нормировании на исходный спектр люминесценции. Люминесценция в 2 эВ предположительно, связана со свечением ионов марганца в отличном от Mn^{2+} состоянии.

Таким образом показано, что при облучении МАШ 10МэВ пуском электронов образуются оптически-активные центры в видимом и УФ диапазонах спектра, а также образуется новая полоса люминесценции в 2 эВ, природа которой не установлена.

Подготовка сплавов Гейслера системы Ni-Mn-Ga для деформационно-термической обработки методомковки

Габдрахманова Лилия Айратовна¹

*Мусабиров Ирек Ильфирович², Сафаров Ильфат Миндигалеевич², Галеев Рафаил Мансурович²,
Гайфуллин Руслан Юнусович¹, Абдуллина Динара Рамиловна¹, Коледов Виктор Викторович³*

¹Башкирский государственный университет

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

³Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

^{1,2}Мулюков Радик Рафикович, д.ф.-м.н.

la-gabdrahmanova@mail.ru

Перспективные функциональные сплавы Гейслера системы Ni-Mn-Ga, демонстрирующие такие эффекты как ферромагнитный эффект памяти формы, магнитокалорический эффект и др., обладают рядом недостатков. В литом состоянии они хрупкие и подвержены разрушению при термоциклировании через температуру мартенситного превращения. Одним из методов решения данной проблемы является деформационно-термическая обработка (ДТО) литых поликристаллических сплавов. Одним из оптимальных и наиболее подходящих является обработка методом всесторонней изотермическойковки (ВИК). С помощью данного метода возможно получение объемной заготовки сплава с требуемой микроструктурой. Кроме того за счет комбинирования схем осадка-протяжка достигается однородная деформация и соответственно однородная микроструктура по объему заготовки. Возможно внесение в материал значительной энергии на единицу массы – намного больше, чем при использовании известных методов интенсивной пластической деформации, таких как кручение под давлением и равноканальное угловое прессование.

Стандартная методика выплавки сплавов Гейслера системы Ni-Mn-Ga заключается в выплавке сплава методом аргонно-дуговой плавки. Поскольку выплавка проводится на водоохлаждаемом медном тигле, то при кристаллизации расплава идет интенсивный рост кристаллов от низа слитка. В нем формируются крупные,

вытянутые зерна. В результате внутренних напряжений, вызванных мартенситным превращением, по границам крупных зерен формируются микротрещины. Так же в приповерхностном слое (~ 1 мм) нередко образуются микропоры. Такая структура непригодна для ДТО. Кроме того заготовка в форме «таблетки» так же не пригодна для данного метода обработки. С целью устранения данных недостатков, а также для очистки (дегазации) слиток сплава был подвергнут индукционной вакуумной переплавке. Для этого после аргонно-дуговой выплавки расплав был залит в кварцевый стакан. Затем остывший слиток в новом кварцевом стакане помещался в индукционную вакуумную печь. Индукционным нагревом в вакууме 10^{-1} Па сплав доводили до расплавленного состояния и затем медленно кристаллизовали. Стоит отметить, что переплавка в кварцевом стакане приводит к диффузии атомов Si и равномерному распределению по объему слитка сплава. Как показывают дальнейшие исследования, добавление в состав Si приводит только к снижению температуры мартенситного превращения.

Анализ микроструктуры полученного слитка выполнен с помощью растровой электронной микроскопии в режиме BSE. Он показывает, что в структуре наблюдаются равноосные зерна 100-500 мкм, практически отсутствуют микропоры и микротрещины. Таким образом, микроструктура сплава после индукционной вакуумной переплавки пригодна для дальнейшей деформационно-термической обработки.

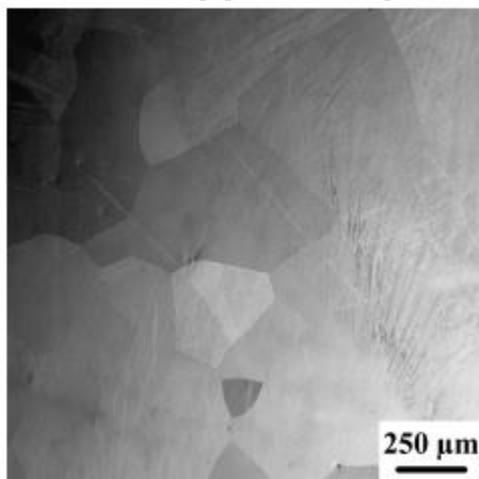


рис. 1. Микроструктура сплава $Ni_{54.1}Mn_{19.6}Ga_{24.6}Si_{1.7}$ в исходном литом состоянии

Еще одним положительным моментом такого метода подготовки сплава является отсутствие необходимости для дальнейшей термической обработки с целью выравнивания атомного состава и реализации в нем мартенситного превращения. Известно, что на сплавах данной системы гомогенизационный отжиг занимает от нескольких часов до нескольких дней. В нашем случае процесс равномерного перераспределения атомов происходит в процессе индукционного разогрева сплава и некоторая выдержка в околоплавильных температурах.

Работа выполнена на базе Центра коллективного пользования ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов».

ИК-спектр молекулярных кристаллов $C_7H_{16}NO_2(Cl)$ и $C_5H_{14}NO(Cl)$

Гордиенко Кирилл Алексеевич

Кемеровский государственный университет

Журавлев Юрий Николаевич, д.ф.-м.н.

gordie-kirill@rambler.ru

В настоящее время молекулы ацетилхолина и холина (рис.1) активно применяются в медицине и биотехнологии из-за того, что они играют существенную роль в передаче нервных импульсов, как в периферической, так и в центральной нервной системе [1]. Это ставит задачу теоретических исследований кристаллических структур данных молекул, результаты которых затем могут быть использованы для производства лекарственных средств как для лечения болезней связанных с нарушением когнитивных функций, так и для повышения производительности труда.

Расчеты в данной работе проводились с использованием пакета Crystal [6], основанного на теории функционала плотности. Использовался VЗLУР функционал с дисперсионной поправкой D3 [7], которая позволяет корректно учитывать межмолекулярное взаимодействие.

Молекулярные кристаллы $C_7H_{16}NO_2(Cl)$ и $C_5H_{14}NO(Cl)$ имеют орторомбическую кристаллическую решетку, с симметрией $P2_12_12_1$ (рис.1). Отличия молекул двух кристаллов заключаются в наличии функциональной группы CH_3CO_2 в молекуле ацетилхолина. Параметры решетки, полученные путем оптимизации геометрии для кристалла $C_7H_{16}NO_2(Cl)$ $a=9.65(\text{Å})$, $b=15.12(\text{Å})$, $c=6.22(\text{Å})$, для кристалла $C_5H_{14}NO(Cl)$ $a=10.72(\text{Å})$, $b=11.47(\text{Å})$, $c=5.74(\text{Å})$. Данные по длинам связей приведены в таблице. Проведено сравнение с работами других авторов и экспериментом:

$C_7H_{16}NO_2(Cl)$				$C_5H_{14}NO(Cl)$			
Связь	Данная работа	Расчет [2]	Эксперимент [3]	Связь	Данная работа	Эксперимент [4]	Расчет [5]
O_1-C_2	1.442	1.443	1.443	O_1-C_1	1.425	1.427	1.440
C_2-C_4	1.510	1.509	1.509	C_1-C_2	1.517	1.518	1.461
C_4-N_1	1.516	1.511	1.511	C_2-N_1	1.516	1.529	1.559
N_1-C_6	1.498	1.496	1.496	N_1-C_3	1.500	1.508	1.491
N_1-C_7	1.502	1.499	1.499	N_1-C_4	1.505	1.511	1.507
N_1-C_5	1.508	1.505	1.505	N_1-C_5	1.505	1.513	1.509

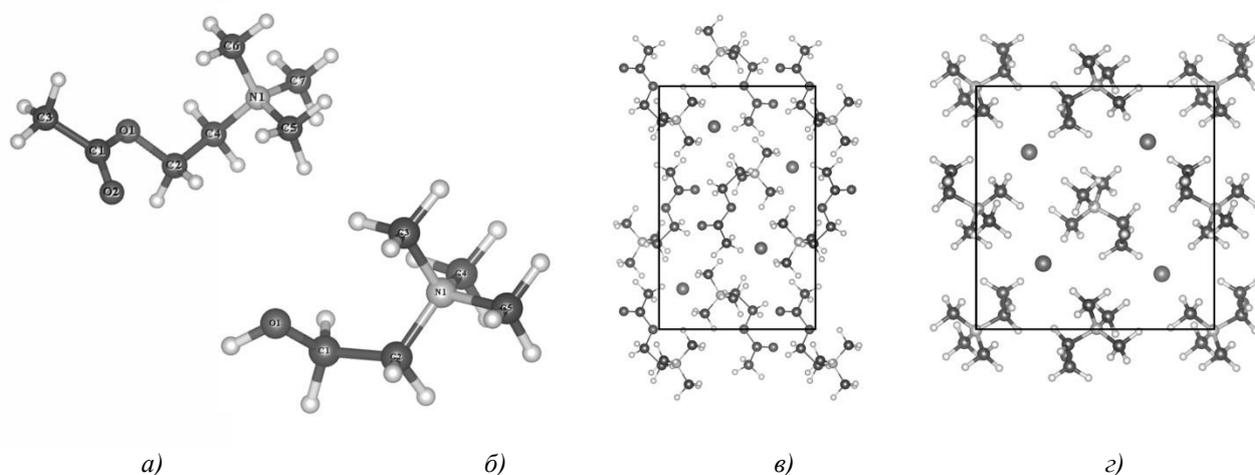


рис.1. Молекула а) Ацетилхолина б) Холина. Структура кристалла в) $C_7H_{16}NO_2(Cl)$ з) $C_5H_{14}NO(Cl)$

Как видно из таблицы 1, результаты данной работы имеют хорошее соответствие как с первопринципными расчетами [2], [5], так и с экспериментальными данными. Для кристалла $C_5H_{14}NO(Cl)$ соответствие с экспериментом лучше, чем в работе [5]. Соответствующие связи в обеих молекулах в кристаллах имеют практически идентичные длины. Результаты расчета ИК спектров кристаллов представлены на рисунке 2, в области от 1600 см^{-1} до 600 см^{-1} .

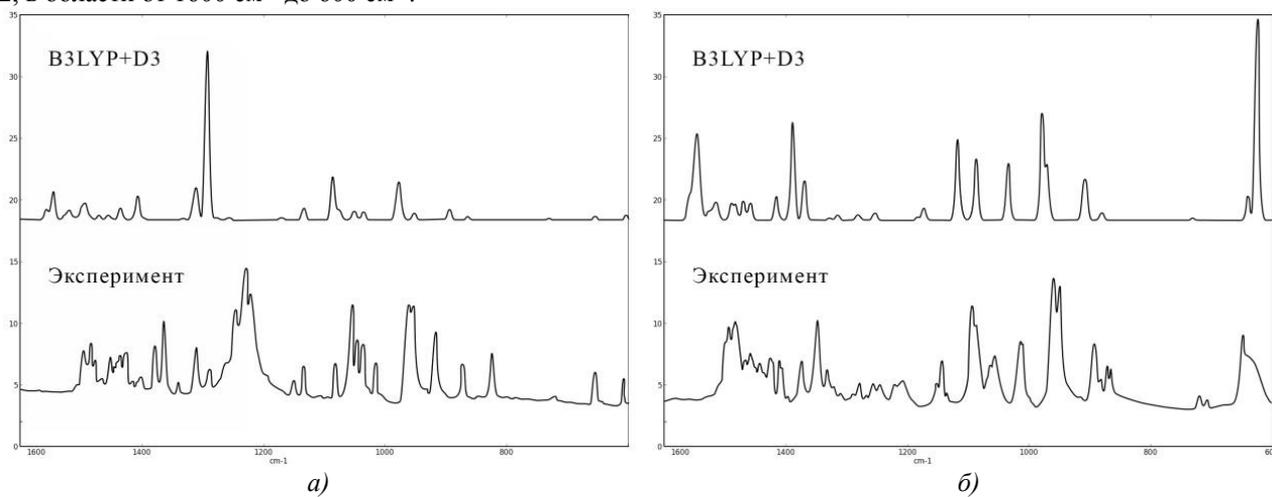


рис.2. ИК-спектр кристалла а) $C_7H_{16}NO_2(Cl)$ б) $C_5H_{14}NO(Cl)$

Как видно из рисунка 2, полученные в данной работе ИК спектры имеют хорошее соответствие с экспериментом. Видно общее смещение спектров нашей работы в более высокочастотную область по сравнению с экспериментом. Например, для кристалла ацетилхолина пики, отвечающие изгибным и

качательным модам четырех групп CH_3 в эксперименте равны 1249 см^{-1} , 1231 см^{-1} , 1223 см^{-1} , а в нашей работе соответственно 1314 см^{-1} , 1308 см^{-1} и 1277 см^{-1} . Для кристалла холина пик, отвечающий качательным модам CH_3 группы равен 960 см^{-1} , а моде растяжения N-CH_2 группы 949 см^{-1} ; в нашей работе 979 см^{-1} и 969 см^{-1} соответственно. Для более объективного сравнения был выполнен расчет коэффициентов корреляции настоящего расчета с результатами эксперимента: 0.94 для $\text{C}_7\text{H}_{16}\text{NO}_2(\text{Cl})$ и 0.91 для $\text{C}_5\text{H}_{14}\text{NO}(\text{Cl})$, что показывает хорошее соответствие.

Таким образом, на основе хорошего соответствия полученных спектров и экспериментальных можно сделать вывод о том, что вычисления с использованием теории функционала плотности могут хорошо описывать геометрические и динамические свойства систем с водородными связями. На данном этапе мы можем сделать вывод о возможности использовать данный метод для исследования свойств молекулярных кристаллов, для которых нет экспериментальных данных.

Список публикаций:

[1] R.W. Alder // *Chem. Soc. Prekin. Trans 2*. 1998. № 10. С. 2083-2108.

[2] F. Karla // *Acta Cryst.* 1996. Т. B52. С. 184-193.

[3] A. Pawlukojc // *Vibrational Spectroscopy*. 2016. Т. 82. С. 37-43.

[4] D. Templeton // *Acta Cryst.* 1960. Т. 13. С. 281.

[5] A. Pawlukojc // *Chem. Phys.* 2014. Т. 445. С. 31-37.

[6] R. Dovesi // *WIREs Comput. Mol. Sci.* 2018. Т. e1360.

[7] S. Grimme // *Chem. Phys.* 2010. Т. 132. С.154104.

Исследование теплостойкости полимерных материалов с помощью вероятностно-статистических подходов

Денисова Алена Николаевна

Новичихина Татьяна Ивановна

Алтайский государственный педагогический университет

Насонов Алексей Дмитриевич

tnovichihina@mail.ru

Основной проблемой исследования влияния старения на границы теплостойкости полимерных материалов является обработка результатов с помощью вероятностно-статистических подходов. Для решения этой проблемы в настоящее время используется компьютерная обработка результатов научного эксперимента.

В настоящее время информационные технологии все чаще используются при математической обработке экспериментальных результатов [1, 2]. В настоящей работе для обработки экспериментальных данных по влиянию старения на физические свойства полимерных композитных материалов (ПКМ) выбрана программа Sp 120, представляющая собой визуализатор, который аппроксимирует экспериментальные данные с помощью алгоритма В-сплайн. Аппроксимация экспериментальной кривой проводилась так, чтобы отклонение этой функции от экспериментальной кривой в заданной области было наименьшим. В качестве исходной кривой выбиралась экспериментальная зависимость динамического модуля сдвига от температуры. Построение первой производной зависимости $G = f(T)$ позволяла определить точки экстремумов, а по ним температуры для соответствующих релаксационных переходов. Экстремальные точки на кривой второй производной дали возможность определить температурные границы этих переходов. Таким образом, были определены температуры стеклования как для исходных полимерных материалов, так и подвергнутых старению.

Для исследований выбраны образцы ПКМ, где связующим использовалась эпоксидная смола Epikote-828, а наполнителем служила углеродная ткань.

Образцы представляли собой полосок размером $58 \times 8 \times 1$ мм. Время старения экспериментальных образцов ПКМ составляло 102, 456, 1501 сутки.

В ходе проведения эксперимента были получены результаты, представленные на рисунках 1 и 2.

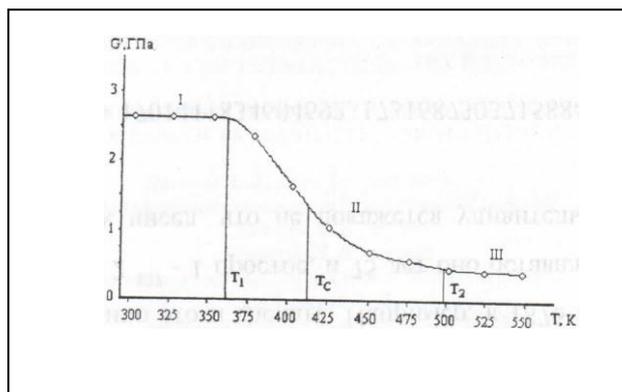


рис.1. Температурная зависимость динамического модуля сдвига для исходного образца КМУ-4Л

Характеристические температуры ПКМ, подвергнутых атмосферному воздействию, в зависимости от длительности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Материал	\bar{t} , сут.	T_1 , К	T_c , К	T_2 , К
КМУ-4Л	0	360	416	498
	102	383	435	491
	456	406	456	508
	1501	435	461	525

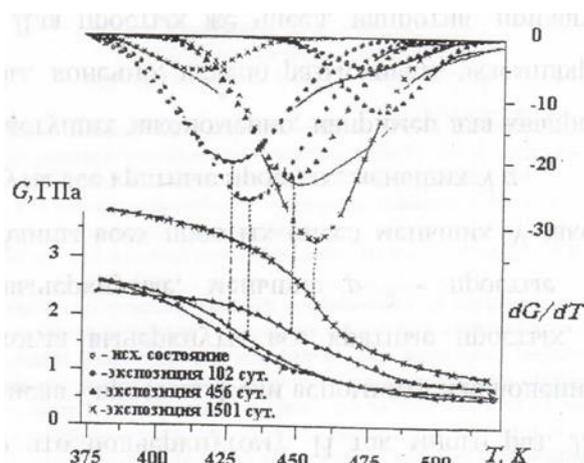


рис.2. Картина релаксационных процессов в углепластике КМУ-4Л при различных сроках старения

Из таблицы видно, что с увеличением длительности старения температура стеклования ПКМ (T_c) увеличивается. Кроме того, температура начала (T_1) и конца (T_2) процесса стеклования тоже увеличиваются. Это означает, что теплостойкость ПКМ не только не уменьшается, как можно было бы предположить, а наоборот повышается с увеличением времени старения материала. Следует отметить, что разница между температурами T_1 и T_2 с увеличением времени старения ПКМ существенно уменьшается от 138 до 90 градусов. Это означает, что процесс стеклования при увеличении времени старения ПКМ происходит в более узком интервале температур.

Таким образом, использование статистической обработки экспериментальных результатов позволило оценить влияние старения на физические свойства полимерных материалов, в том числе на их теплостойкость.

Список публикаций:

[1] Старцев О.В.[и др]. // Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных сред.: Изд-во Алтайского гос. ун-та. 1997.-148 с.

[2] Сортыяков Е.Д. [и др.] // Новые тенденции развития вероятностно-статистических знаний.: Горно-Алтайск: Изд-во Горно-Алтайского гос. ун-та. 2013.- 105 с.

Электронные свойства монокристалла WTe_2

Доможирова Александра Николаевна¹

Махнев Александр Афонасьевич⁽¹⁾, Шредер Елена Ивановна⁽¹⁾, Наумов Сергей Владимирович⁽¹⁾,
Патраков Евгений Иванович⁽¹⁾, Чистяков Василий Владимирович⁽¹⁾, Марченкова Елена Борисовна⁽¹⁾,
Huang Jung-Chun-Andrew⁽²⁾

¹Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

²National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

³Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Марченков Вячеслав Викторович^(1, 3), д.ф.-м.н.

domozhirova@imp.uran.ru

В настоящее время поиск и изучение новых топологических материалов привлекают большой интерес исследователей. Такие материалы перспективны для применения в устройствах электроники и спинтроники, поскольку обладают уникальными электронными свойствами, возникающими вследствие их необычной зонной структуры. В последние годы были обнаружены топологические изоляторы, вейлевские полуметаллы и топологические полуметаллы с линиями узлов, которые являются новыми квантовыми материалами, демонстрирующими уникальные физические свойства. В вейлевских полуметаллах наблюдается необычный перенос заряда на поверхности и в объеме, что открывает новые возможности их потенциального применения. Характерной особенностью вейлевских полуметаллов является наличие экзотических бесщелевых поверхностных состояний – ферми-дуг. Квазичастицами в объеме вейлевских полуметаллов являются «безмассовые» вейлевские фермионы [1]. Управлять такими квазичастицами можно гораздо быстрее, чем обычными носителями заряда, а вероятность их рассеяния достаточно мала, что делает вейлевские полуметаллы перспективными для создания устройств сверхбыстрой электроники. Недавно было обнаружено, что свойства вейлевских полуметаллов проявляются в полуметаллических дихалькогенидах переходных металлов WTe_2 , $MoTe_2$ и трехкомпонентных соединениях $Mo_xW_{1-x}Te_2$ [2], поэтому получение новой информации об их физических свойствах представляет большой интерес. Цель данной работы – исследование электросопротивления и оптических свойств монокристалла вейлевского полуметалла WTe_2 .

Монокристаллы WTe_2 были выращены методом химического газового транспорта с использованием WBr_2 в качестве транспортного агента. Данное соединение кристаллизуется в орторомбической структуре с параметрами решетки $a = 3.435(8) \text{ \AA}$, $b = 6.312(7) \text{ \AA}$, $c = 14.070(4) \text{ \AA}$. Структура поверхности и химический состав исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа FEI Inspect F, оснащенного приставкой EDAX. Температурная зависимость электросопротивления $\rho(T)$ измерена в интервале температур от 80 до 300 К по стандартной 4-контактной методике на постоянном токе. Оптические постоянные, действительная ϵ_1 и мнимая ϵ_2 части комплексной диэлектрической проницаемости, оптическая проводимость σ и коэффициент отражения R , измерены эллипсометрическим методом Битти при комнатной температуре с одним отражением от плоскости образцов в диапазоне спектра 0.2-5.0 эВ.

Установлено, что измеренная температурная зависимость электросопротивления WTe_2 имеет металлический тип, однако его значения достаточно высоки для металлов. Оптические исследования показали, что на исследованном участке спектра монокристалл WTe_2 не проявляет особенностей, характерных для металлов. Спектр оптической проводимости $\sigma(\omega)$ представляет собой одну широкую полосу с центром при 3.4 эВ, сформированную межзонными переходами (рис. 1а). В инфракрасной области спектра отметим низкие

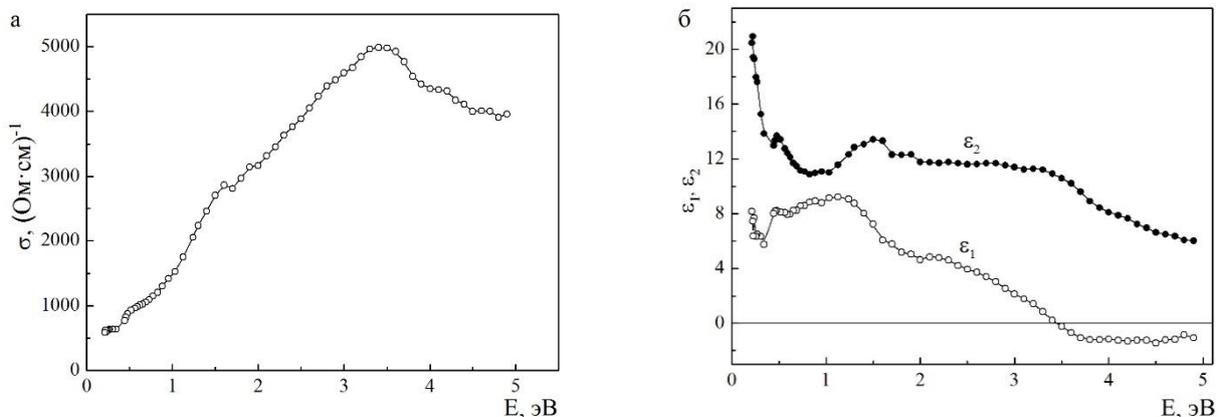


рис. 1 Дисперсия оптической проводимости σ (а), действительной ϵ_1 и мнимой ϵ_2 частей диэлектрической проницаемости (б) монокристалла WTe_2 .

значения мнимой части ε_2 диэлектрической проницаемости и положительные значения действительной части ε_1 (рис. 1б), что дает основания говорить об отсутствии вклада от свободных носителей вплоть до 0.2 эВ. Отражательная способность R также имеет низкие значения, изменяясь от 0.37 в ультрафиолетовой области спектра до 0.5 в инфракрасной.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Спин», № АААА-А18-118020290104-2 и «Электрон», АААА-А18-118020190098-5) при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-52-52008), Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006).

Список публикаций:

[1] Xu S.Y., Belopolski I., Alidoust N. et al. // *Science*. 2015. Vol.349. P.613.

[2] Belopolski I., Sanchez D.S., Ishida Y. et al. // *Nature Communications*. 2016. Vol.7. P.13643.

Влияние локального окружения на магнитные свойства силицидов марганца

Драганюк Оксана Николаевна

Жандун Вячеслав Сергеевич, Замкова Наталья Геннадьевна

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ

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

don-oks@mail.ru

Силициды переходных металлов представляют собой материалы, которые являются перспективными для использования в таких областях как спинтроника, микроэлектроника, оптоэлектроника. Особый интерес вызывают соединения с кристаллической структурой типа DO_3 (рис. 1), в которой имеется два неэквивалентных положения атомов переходных металлов. Одной из причин повышенного интереса к таким силицидам является возможность регулирования их магнитных свойств, например, путем легирования или изменения давления. Поскольку эти воздействия связаны с изменениями в локальном окружении, необходимо проводить теоретические исследования для понимания роли локального окружения в формировании магнитных свойств.

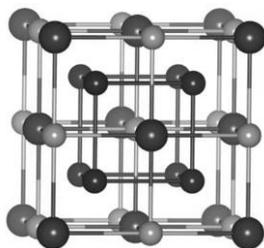


рис.1. Структура типа DO_3 .

В рамках подхода, связанного с отображением результатов *ab initio* расчетов на мультиорбитальную модель [1], было проведено теоретическое исследование влияния локального окружения на магнитные свойства силицида марганца Mn_3Si , обладающего DO_3 структурой. Mn_3Si является антиферромагнетиком с температурой Нееля $T_N = 23$ К. Экспериментальные магнитные моменты на атомах MnI и MnII составляют $\mu_{MnI} = 2.40 \mu_B$ и $\mu_{MnII} = -0.28 \mu_B$. Это соединение обладает полуметаллическими свойствами, и эта особенность полезна для реализации спиновой инжекции через границу раздела металл-полупроводник. Мы используем самосогласованный подход для выявления роли, которую играют ближайшие соседи (NN) и соседи во второй координационной сфере (NNN) в формировании магнитного момента на атомах марганца. Мультиорбитальная модель описывается гамильтонианом, учитывающим взаимодействия между d-электронами атомов марганца и p-электронами атомов кремния:

$$H = H^{Mn} + H_{J'}^{Mn-Mn} + H_0^{Si} + H_{hop}, \quad H^{Mn} = H_0^{Mn} + H_K^{Mn} \quad (1)$$

где H_{hop} описывает межузельные перескоки в рамках формализма Слетера-Костера [2].

Модельный анализ роли локального окружения показал, что основную роль в формировании магнитного состояния в Mn_3Si играет взаимодействие Mn-Mn; взаимодействия типа Mn-Si не оказывают сильного влияния на магнитные моменты на атомах марганца. Формирование магнитного момента на атоме марганца MnI обусловлено взаимодействием $t_1(MnI-MnII)$ в первой координационной сфере. Магнитный момент на атоме MnI плавно спадает с увеличением значения интеграла перескока t_1 . Магнитный момент на атоме марганца MnII главным образом определяется перескоками $t_3(MnII-MnII)$ во второй координационной сфере. При этом отличительной особенностью поведения магнитного момента на атоме MnII является наличие резкой границы

между немагнитным и магнитным состоянием, что приводит к резкой зависимости магнитного момента от интеграла перескока $t_3(\text{MnII-MnII})$. Абсолютная величина магнитного момента уменьшается при увеличении интеграла перескока $t_3(\text{MnII-MnII})$ и при больших его значениях стремится к нулю.

Для подтверждения выводов модели был проведен сравнительный анализ результатов, полученных в модельном и *ab initio* расчетах. *Ab initio* магнитные моменты атомов MnI и MnII для различных параметров решетки вместе с модельными магнитными моментами показаны на рис. 2, верхняя шкала показывает значения интегралов перескока между атомами марганца в первой и второй координационных сферах при заданных параметрах решетки. Зависимость модельных и *ab initio* магнитных моментов от интегралов перескока и параметра решетки, соответственно, имеет хорошее согласие. Примечательно, что если мы изменим только один интеграл перескока t_3 во второй координационной сфере, поведение модельных магнитных моментов атома MnII остается прежним, т.е. значение магнитного момента MnII определяется исключительно взаимодействием между атомами марганца во второй координационной сфере. В свою очередь, поведение магнитного момента MnI отличается: при фиксированном значении $t_1(\text{MnI-MnII})$ зависимость магнитного момента MnI от интеграла перескока t_3 практически отсутствует. Таким образом, решающую роль в формировании магнитного момента атомов MnII и MnI играют взаимодействия MnII-MnII и MnI-MnII, соответственно, в то время как взаимодействия MnI-Si и MnII-Si не оказывает существенного влияния на формирование магнитного момента.

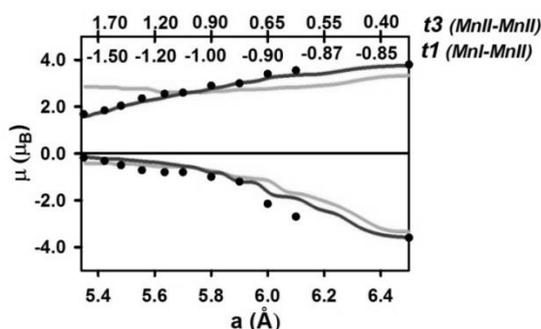


рис.2. Зависимость магнитного момента на атомах марганца от параметра решетки и ключевых интегралов перескока. Точками обозначены значения *ab initio*, черная линия показывает зависимость от изменяющихся интегралов перескока t_1 и t_3 , серая – только от интеграла перескока t_3 при зафиксированном значении t_1

Используемый модельный анализ представляет не только теоретический интерес. Интегралы перескока являются наиболее чувствительными параметрами для различных типов давления. Наличие резкой границы между магнитным и парамагнитным состояниями в Mn_3Si дает перспективы практического применения таких пленок (например, для включения и выключения магнитного состояния внешними полями).

Список публикаций:

- [1] N.G. Zamkova, V.S. Zhandun, S.G. Ovchinnikov, I.S. Sandalov. // *Journal of Alloys and Compounds*. 2017. T. 695. C. 1013-1222.
 [2] J.C. Slater, G.F.Koster. // *Phys.Rev.*1954. T. 94, C. 1498

Гранулометрический состав хромсодержащих полтитанатов калия

Ерагер Ксения Романовна¹

Пирожков Дмитрий Алексеевич¹, Попова Дарья Вячеславовна²

Челябинский государственный университет¹

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.²

Саунина Светлана Ивановна¹, к.ф.-м.н.

eragerk@rambler.ru

Керамические материалы обладают многообразием свойств, отличающих их от металлов и полимеров, таких как: высокая коррозионная стойкость, устойчивость к радиационным воздействиям, биологическая совместимость и т.д. Реакционная способность керамического сырья зависит от его дисперсности. Меньший размер частиц дает возможность получить большую начальную плотность компакта и, как следствие, приводит к меньшей усадке спекаемых керамических изделий. Анализ фракционного состава исходного керамического сырья позволяет определять способы получения функциональной керамики и ее конечные свойства.

В работе было изучено изменение гранулометрического состава образцов полтитанатов калия (ПТК), модифицированных в водных растворах нитрата хрома (III), при различных значениях pH (3, 5, 7, 9) и

подвергнутых термической обработке при 500°C. Изменение размеров частиц исходных и термообработанных образцов модифицированного ПТК было определено с использованием лазерного анализатора размеров частиц Analysette 22 Micro Tec plus, в диапазоне 0,01 – 2000 мкм. На основании полученных данных гранулометрического анализа была построена диаграмма Винклера (рис. 1).

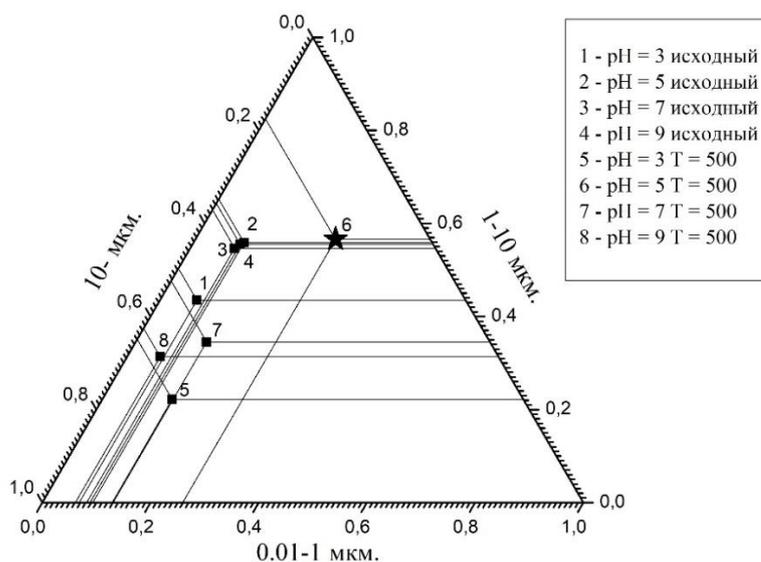


рис. 1. Диаграмма Винклера

По данным исследования были определены доли частиц, лежащие в областях от 0.01-1 мкм, 1-10 мкм и более 10 мкм. Так для всех исходных образцов, не прошедших термообработку, доля частиц, лежащая в области от 0.01-1 мкм менее 9%, в области 1-10 мкм составляет ~50%, а в области от 10 и более ~40 %. После термообработки при 500°C наибольшей долей частиц, лежащей в области от 1 до 10 мкм, обладает образец, модифицированный в растворе нитрата хрома при pH = 5. Авторами работы [1] было определено, что для получения высокопрочной функциональной керамики используются полититанаты калия с предпочтительным размером частиц не более 10 мкм.

Список публикаций:

[1] Горюховский А.В. Способ получения изделий из высокоупорядоченной керамики на основе титаната калия // Патент России № 2415107. 2011г. стр 9.

Моделирование магнитоэлектрических и поверхностных свойств в сверхрешетках и нанопленках мультиферроиков

Жармухаметов Айнур Ринатович

Нугуманов Айдар Гайсович, Юлдашева Алина Рифовна

Башкирский государственный университет

Шарафуллин Ильдус Фанисович

aiderfarro@gmail.com

В работе рассматриваются фазовые переходы и влияние температуры, внешнего магнитного поля в модели сверхрешетки мультиферроика с двумя параметрами порядка методом Монте-Карло. Изучаемая структура образована чередующимися ферромагнитными и ферроэлектрическими слоями.

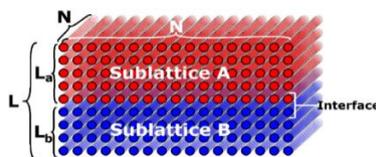


рис.1. Схема сверхрешетки мультиферроика,

состоящая из ферромагнитной и ферроэлектрической подсистем

Здесь ферромагнитные подрешетки *A* описываются моделью гейзенберга, где параметр ферромагнитного взаимодействия между спином и его ближайшими соседями считается одинаковым как внутри слоев подрешетки, так и между ними. Для описания ферроэлектрических подрешеток *B* используется кубическая

модель Изинга, где параметр ферроэлектрического взаимодействия одинаков подобно ферромагнитной подсистеме.

Гамильтониан магнитоэлектрического взаимодействия

$$H_{mf} = - \sum_{i,j,k} J_{ijk}^{mf} [\vec{S}_i \times \vec{S}_j] \times \vec{P}_k \quad (1)$$

Здесь $J_{ijk}^{mf} > 0$ - параметр взаимодействия между вектором электрической поляризации \vec{P}_k в верхнем ферроэлектрическом слое и векторным произведением спинов $[\vec{S}_i \times \vec{S}_j]$ в нижнем ферромагнитном слое.

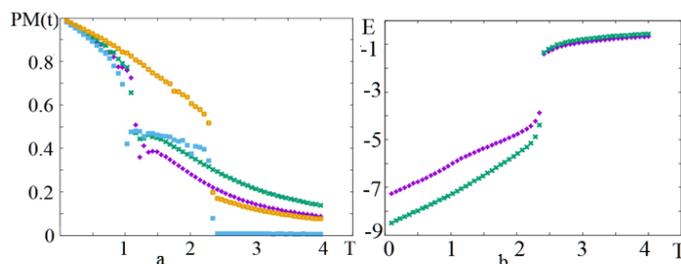


рис.2. а) Параметр порядка $PM(t)$ ферромагнитной подсистемы в зависимости от T в относительных величинах пропорциональных kT . Фиолетовые и зеленые точки соответствуют $PM(t)$ для $J^{mf} = -2.5, H^z = 1.0$ и $J^{mf} = -2.5, H^z = 1.5$, голубые и желтые точки соответствуют $PM(t)$ для $J^{mf} = -6.0, H^z = 0$ и $J^{mf} = -6.0, H^z = 1.0$. б) Энергии ферромагнитной (фиолетовые точки) и ферроэлектрической (зеленые точки) подсистем в зависимости от T для $J^{mf} = -6.0$.

Параметр порядка $PM(t)$ близится к значению 1 при низкой T , где каждый спин слабо отклоняется от основного состояния, и стремится к нулю при высокой T из-за сильных колебаний в парамагнитном состоянии. Заметим, что в отсутствии внешнего магнитного поля и при большом значении магнитоэлектрического параметра ($J^{mf} = -6.0$) наблюдаются два чередующихся фазовых перехода второго рода при $T_{C1} = 1.05 J_B^{m/k}$ и $T_{C2} = 2.19 J_B^{m/k}$.

В работе изучено влияние магнитоэлектрической связи между ферроэлектрическим и ферромагнитным слоями системы на критическую температуру, параметры порядка, восприимчивость, внутреннюю энергию, поверхностную намагниченность системы. Построены температурные зависимости параметров порядка и восприимчивостей подрешеток, а также теплоемкости и энергии системы для различных параметров взаимодействия и поля.

Список публикаций:

[1] Sharafullin, I. F., Nugumanov, A. G., Yuldasheva, A. R., Zharmukhametov, A. R., & Diep, H. T. (2019). Modeling of magnetoelectric and surface properties in superlattices and nanofilms of multiferroics. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 475, 453-457.

Исследование размерно-напряженных эффектов в боратах ABO_3 (A=In, Fe, Ga)

Замковская Анастасия Игоревна

Науцацкий Игорь Анатольевич, Максимова Елена Михайловна

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

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

trabem.z@gmail.com

Карбонат кальция ($CaCO_3$) существует в трех различных полиморфах: кальцит, ватерит и арагонит. Плоские кислородные треугольники BO_3^{3-} могут замещать группы CO_3^{3-} , формируя бораты металлов $A^{III}BO_3$, изоструктурные различным формам $CaCO_3$. Обычно, катионы A^{3+} приводят к кристаллизации структур типа кальцита $A^{III}BO_3$, принадлежащих к тригональной пространственной группе симметрии R-3c. Катионы A^{3+} могут быть замещены Fe^{3+} , Ga^{3+} , In^{3+} , Al^{3+} , Sc^{3+} и др. Такие соединения могут применяться в качестве магнитооптических устройств, фотолюминесцентных материалов, лазерных сред, сцинтилляционных и магнитных материалов.

С помощью дифракционного метода наряду с фазовым составом, параметрами кристаллической решетки, статическими и динамическими смещениями атомов из положения равновесия можно определить микронапряжения в решетке и размер кристаллитов. Размер кристаллитов и величина микронапряжений зависят от процесса синтеза, равновесных реакций, кинетики и фазовых изменений.

Целью работы является определение размера кристаллитов и величины микронапряжений в кристаллах бора железа FeBO_3 , бора индия InBO_3 и бора галлия GaBO_3 .

Рентгеновские исследования кристаллов бора индия и бора железа проводились на дифрактометре SmartLab (Rigaku). Использовались: Cu-K α -излучение, графитовый монокроматор, порошковый кремний в качестве внешнего стандарта, фокусировка по Брэггу-Брентано, шаг съемки 0.02°, выдержка в каждой точке 1,2 с. Дифрактограмма бора галлия была получена на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 с использованием медного излучения Cu-K α . Диапазон углов рассеяния для всех образцов $2\theta=20-100^\circ$.

Определение размерно-напряженных эффектов дифракционным методом основано на измерении уширения профиля дифракционного пика β . Точное определение ширины дифракционных отражений возможно только путем теоретического восстановления формы экспериментального отражения. Для аппроксимации дифракционных пиков нами была использована функция псевдо-Фойгта, являющаяся сочетанием функций Лоренца и Гаусса. Для решения вопроса о главной причине уширения (микронапряжения или размера кристаллитов) необходимо найти угловую зависимость уширения, т. е. сравнить отношение уширения β двух линий, различающихся только порядком отражения от одной и той же совокупности плоскостей (hkl), β_2/β_1 с отношением $\tan \theta_2/\tan \theta_1$ и $\sec \theta_2/\sec \theta_1$, [1]. Если отношение β_2/β_1 совпадает с учетом экспериментальной ошибки с отношением тангенсов, то уширение вызвано микронапряжением ε ; если же оно совпадает с отношением секансов, то уширение связано с малым размером кристаллитов. В первом случае можно найти величину микронапряжений ε по формуле Уилсона-Стокса:

$$\varepsilon = \beta_{hkl}/4 \tan \theta \quad (1)$$

Во втором случае можно определить размер областей когерентного рассеяния D по формуле Селякова-Шеррера:

$$D = K\lambda/\beta_{hkl} \cos \theta \quad (2)$$

где $K \approx 0,94$, [2].

Если отношение β_2/β_1 находится между значениями $\tan \theta_2/\tan \theta_1$ и $\sec \theta_2/\sec \theta_1$, то используется метод Вильямсона-Холла, [3]. Общее уширение дифракционных пиков состоит из уширения от микродеформаций β_ε и уширения от размера кристаллитов β_D :

$$\beta_{tot} = \beta_\varepsilon + \beta_D = 4\varepsilon \tan \theta + \frac{K\lambda}{D \cos \theta} \quad (3)$$

Умножим получившееся выражение на $\cos(\theta)$:

$$\beta_{tot} \cos \theta = 4\varepsilon \sin \theta + \frac{K\lambda}{D} \quad (4)$$

Сравним выражение (4) со стандартным уравнением прямой $y = ax + b$. Видно, что если построить зависимость $\beta_{tot} \cos \theta$ от $\sin \theta$ для всех пиков, то вклад микронапряжений ε определяем из коэффициента наклона прямой $\varepsilon = a/4$, а вклад от малого размера областей когерентного из начальной ординаты $D = K\lambda/b$.

Результаты вычислений для бора железа, бора галлия и бора индия приведены в таблице.

Образец	β_2/β_1	$\tan \theta_2/\tan \theta_1$	$\sec \theta_2/\sec \theta_1$	Размер кристаллитов D, нм	Величина микронапряжений ε , 10^{-5}
FeBO_3	1,10	2,18	1,09	159±8.4	-
InBO_3	2,02	2,29	1,15	333.4±13.7	77.25±3.18
GaBO_3	1,54	2,78	1,40	56.9±3.4	-

Видно, что в кристаллах бора индия существенный вклад в уширение дифракционных пиков вносят микронапряжения, которые могут возникать из-за несовершенств кристаллах, таких как дислокации, дефекты упаковки, когерентные напряжения, деформации, возникающие в процессе спекания. Т.о., в исследованных кристаллах FeBO_3 и GaBO_3 преобладают размерные, а в InBO_3 – напряженные эффекты.

Результаты исследований могут быть полезны при синтезе нанопорошков боратов индия, железа и галлия.

Список публикаций:

[1] N. H. Andersen, M. Eldrup, N. Hansen, D. J. Jensen, T. Leffers, H. Lilholt, O. B. Pedersen, B. N. Singh, // Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory. 1984. pp. 153-168.

[2] Zamkovskaya A., Maksimova E., Nauhatsky I. // J. Phys.: Conf. Ser. 1135 012020. 2018

[3] Williamson G. K., Hall W. H. // Acta Met. 1953. pp. 22-31

Оценка фрактальной размерности сформированных структур серебра на поверхности стеклообразных ионных проводников системы $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{УНТ})_3$, содержащих одностенные углеродные нанотрубки

Игнатова Кристина Игоревна

Мельникова Нина Владимировна, Слаутин Борис Николаевич

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

Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.

christinaignatova@gmail.com

Стеклообразные халькогениды из системы Ag-Ge-As-S , а также их композиты $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$, содержащие одностенные углеродные нанотрубки (УНТ или CNT - carbon nanotubes) обладают уникальным комплексом свойств, например: высокой долей ионной проводимости (более 0.99) по ионам Ag^+ . Применение моделей, справедливых для однородной среды, позволило провести оценку динамики ионов в однородных стеклах системы из системы Ag-Ge-As-S [1]. В связи с этим они являются актуальными объектами исследований, и особый интерес представляют их транспортные свойства.

Цель данной работы: изучение и анализ сформированных фрактальных структур серебра на поверхности стеклообразных ионпроводящих халькогенидов $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$, содержащих углеродные нанотрубки.

Синтез, аттестация и атомная структура материалов подробно описаны в [2-4]. Для исследования топографии поверхности проводящих образцов и формирования фрактальных структур серебра на поверхности материалов под действием электрического поля зонда был использован сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) NTEGRA Aura.

Для фрактального анализа были выбраны кластеры серебра (один из таких кластеров представлен на *рис.1*), которые можно рассматривать как двумерные плоские структуры, так как отношение размеров (высота/радиус) в них достаточно мало. Оценка фрактальной размерности Минковского была осуществлена с помощью традиционного клеточного метода вычисления фрактальной размерности [7]. Рассчитанное значение фрактальной размерности составляет 1.7, что характерно для кластерных фракталов.

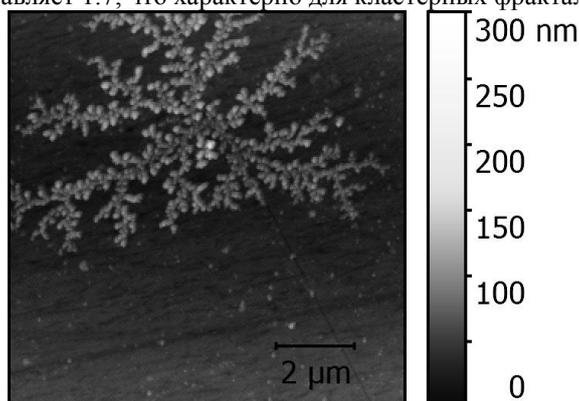


рис.1. Сформированная под действием электрического поля зонда структура на поверхности $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ ($x=0.4$).

Таким образом, в ходе проведенного фрактально-размерного анализа было найдено значение фрактальной размерности Минковского, которое хорошо согласуется с ранее полученными значениями фрактальных размерностей для массовых фракталов. В следствие этого, можно сделать вывод, что структура серебра, выращенная зондом, является масштабно-инвариантной в определенном диапазоне масштабов, то есть является фрактальной структурой. Показано, что исследуемый класс материалов может быть использован для литографии. Таким образом, учитывая уникальные свойства исследуемых материалов, например: наличие ионной проводимости, возможность применения их в качестве резистивных материалов [5-6], они имеют высокий потенциал практического применения и могут иметь прикладное значение в качестве multifunctional materials.

Список публикаций:

- [1] Мельникова Н.В., Абрамова В.В. // Труды симпозиума ОМА 20., Фонд науки и образования. 2017. Т. 1. №20. С. 165-168
- [2] Melnikova N. V., Kurochka K. V., Kheifets O. L., Kadyrova N. I., Volkova Ya. Yu. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. 2015. V. 79. pp. 719-722.
- [3] Kurochka K.V., Melnikova N.V. // Solid State Ionics. 2017. V. 300. pp. 53-59.
- [4] Kheifets O.L., Shakirov E.F., Melnikova N.V., Filippov A.L., Nugaeva L.L. // Semiconductors. 2012. V. 46. pp. 943-947.
- [5] Мельникова Н.В. и др. Пат. 2614738 РФ, опубл. 29.03.2017, Бюл. №10
- [6] Мельникова Н.В. и др. Пат. 2614942 РФ, опубл. 31.03.2017, Бюл. №10
- [7] Р. М. Кроновер. // Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М. 2000. — 352 с.

Исследование локальной атомной структуры меди в процессе твердофазного синтеза CuMOR

Каптелинин Святослав Юрьевич

Дурыманов Вениамин Александрович, Срабионян Василий Валерьевич, Базовая София Вадимовна, Авакян Леон Александрович, Бугаев Лусеген Арменакович

Южный федеральный университет

Срабионян Василий Валерьевич

kaptelinin@sfedu.ru

В настоящее время исследование функциональных материалов, применяемых для превращения метана в метанол представляет как практический [1], так и фундаментальный интерес [2]. Поскольку эти материалы представляют из себя возобновляемый источник спирта, они вызывают колоссальный спрос в промышленности. Также они интересны и в рамках исследования химических реакций, таких как окисление метана. В качестве подобных материалов часто применяются медьсодержащие цеолиты различных структур. Для достижения максимальной эффективности выхода метанола необходимо четкое понимание процесса самой реакции. В работе [3] показано, что выход метанола зависит от содержания меди (I) и меди (II), которая является катализатором реакции. Количество же меди различной валентности зависит как от структуры самого изначального цеолита, так и способа загрузки меди в структуру цеолита, а также от механизма активации центров меди. Наиболее простым способом загрузки меди в цеолит является ионный обмен с CuCl: ионы меди замещают собой водород в структуре цеолита. Авторы работы [3] получили четкую связь выхода метанола в зависимости от того, твердофазным или жидкофазным ионным обменом была загружена медь в структуру цеолита (рис. 1). Нашей задачей является исследование локальной атомной структуры меди в составе цеолита, поскольку расположение меди неэквивалентных позициях прямо влияет на содержание меди (I) и меди (II) в образце. В настоящей работе проводилось *in situ* исследование твердофазного синтеза цеолита. В качестве метода исследования была выбрана спектроскопия рентгеновского поглощения, или XAS. Таким образом, у нас имеется температурная зависимость спектров поглощения К-края меди. В работе выполнен количественный анализ спектров меди с использованием кумулянтного разложения. Были проанализированы температурные изменения как в структуре CuCl, так и температурная эволюция активных центров меди непосредственно в структуре цеолита.

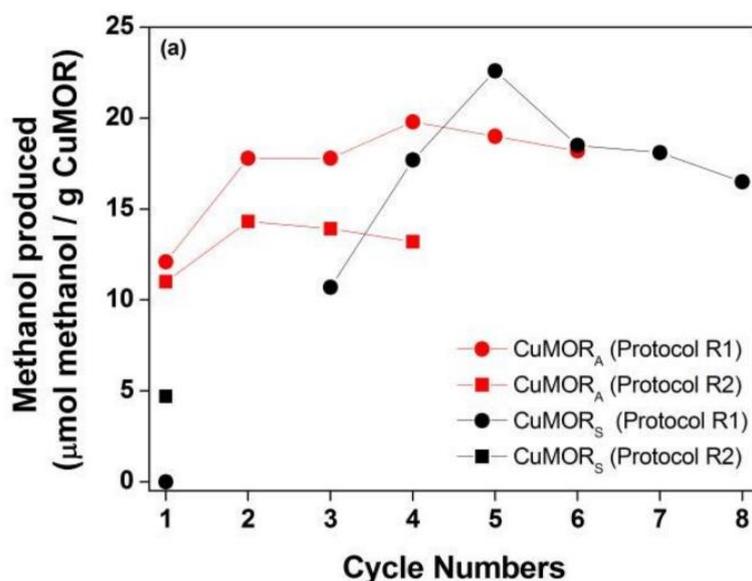


рис.1. Зависимость выхода метанола (мкмоль/г. цеолита) от количества циклов активации для твердофазного (черная кривая) и жидкофазного синтеза (красные кривые) соответственно [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ по проекту № 18-72- 00096 «Изменения атомной и электронной структуры активных центров меди в Cu-цеолитах и их каталитическая активность в ходе реакций окисления метана до метанола».

Список публикаций:

[1] Patrick Tomkins, Ali Mansouri, Dr. Selmi E. Bozbag et. al // *A Journal of the German Chemical Society*. 2016. V. 55. I. 18. pp. 5467-5471.

[2] Zhong Li, Kechang Xie, Robert C.T. Slade // *Applied Catalysis A: General*. 2001. V 209. I. 1-2. pp. 107-115.

[3] Selmi E. Bozbag, Evalyn Mae C. Alayon, Jeroen A. van Bokhoven et. al // *Catalysis Science & Technology*. 2016 V. 6. I. 13. pp. 5011-5022

Плоский туннельный полевой транзистор на основе графена

Катков Всеволод Леонидович

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова

Объединенный институт ядерных исследований

katkov@theor.jinr.ru

Методом функций Грина [1] в рамках приближения сильной связи рассчитан туннельный ток в контакте, состоящем из полуплоскостей графена и двуслойного графена с двумя возможными типами упаковки в двух возможных ориентациях кристаллической решетки. Показано, что зонная структура графена, ориентированного краем типа “кресло”, приводит к специфической для каждого из графенов степенной зависимости туннельного тока от напряжения, характер которой определяется изменением числа транспортных каналов при изменении напряжения. Обнаружено, что при встречной ориентации краем типа “зигзаг” для всех видов рассмотренных контактов туннельный ток содержит характерные пики, обусловленные влиянием локализованных краевых состояний. Исследован эффект влияния затвора. Показано, что в случае структур с краем зигзаг имеет место эффект “включения/выключения” контактов. Контакты же на графенах с краем “кресло” не обладают выраженным “переключающим” свойством, а увеличение напряжения на затворе приводит к увеличению проводимости. В соответствии с этим была предложена схема нового переключающего устройства - плоского туннельного полевого транзистора, переключающая способность которого связана с возможностью манипулирования областью с высокой плотностью состояний на краю “зигзаг” относительно положения транспортного окна [2-4]. Для подтверждения устойчивости данного прибора к появлению краевых вакансий были исследованы влияния распределений и концентраций краевых вакансий на “топологически защищенные” электронные краевые состояния и туннельный ток в устройстве [5, 6].

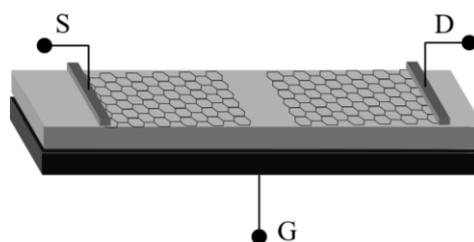


рис.1. Схематическое изображение транзистора

Список публикаций:

[1] Katkov V.L. and Osipov V.A. // *J. Vac. Sci. Technol. B*. 2017. Vol. 35. 050801.

[2] Katkov V.L. and Osipov V.A. // *Appl. Phys. Lett.* 2014. Vol. 104. 053102.

[3] Катков В.Л., Осипов В.А. // *Письма в ЖЭТФ*. 2013. Т. 98. С.782.

[4] Катков В.Л., Осипов В.А. // *Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели»*. 2015. Т. 18. 2 554 694.

[5] Glebov A.A., Katkov V.L. and Osipov V.A. // *JETP Letters*. 2016. Vol. 104. p.842.

[6] Glebov A.A., Katkov V.L. and Osipov V.A. // *Europhys. Lett.* 2017. Vol. 118. 27003.

Исследование эффективности генерации иттербиевого лазера от длины волокна

Кашина Раёно Рустамовна

Рахматуллина Алина Римовна

Пермский государственный национальный исследовательский университет

Пермская научно-производственная приборостроительная компания

Азанова Ирина Сергеевна

ranoxan13@gmail.com

Оптические волокна (ОВ), легированные ионами иттербия, являются самой популярной средой при создании мощных и энергетически эффективных источников лазерного излучения, благодаря особенной структуре энергетических уровней (рис. 1).

Данная система уровней ведет себя как квазичетырехуровневая с относительно большим временем жизни метастабильного уровня. Квантовый дефект между длинами волн накачки и излучения ионов иттербия

мал, кооперативные эффекты незначительны [1]. Таким образом, иттербий по своей природе обладает высокой эффективностью с оптико-оптической эффективностью преобразования излучения более 70%.

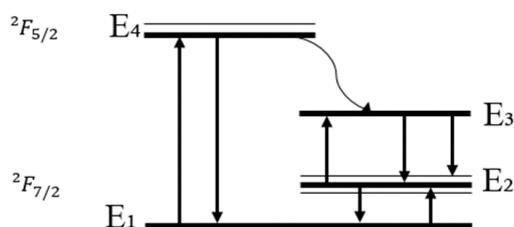


рис.1. Структура энергетических уровней ионов иттербия

Эффективное применение иттербиевых волокон при накачке в оболочку оказывается возможным благодаря высокому сечению поглощения на длинах волн накачки. В спектральной области $\lambda > 1050$ нм сечение люминесценции сильно превышает сечение поглощения, что делает возможным получение лазерной генерации при относительно низкой заселенности верхнего уровня.

При конструировании мощных лазеров [2,3] используют ОВ с накачкой в оболочку, то есть излучение от диодов накачки вводится в оболочку активного световода, и при прохождении через сердцевину это излучение поглощается ионами редкоземельных элементов (РЗЭ). Одним из способов накачки в оболочку является использование световодов с многоэлементной первой оболочкой, или GT-Wave (Gradually Transferred Wave).

Волокна с многоэлементной первой оболочкой имеют ряд преимуществ:

Уменьшение тепловой нагрузки на волокно, так как накачка заводится не с торца активного волокна, а в пассивное волокно, находящееся в оптическом контакте с активным волокном [4];

Упрощение оптической схемы лазера или усилителя, из-за нескольких входных портов для накачки [5];

Упрощение схемы за счет стандартной конструкции жил, которые можно сваривать со стандартными компонентами для оптической схемы.

В данной работе представлены результаты по исследованию эффективности генерации непрерывного волоконного иттербиевого лазера в широком спектральном диапазоне от 1066 нм до 1153 нм. Для получения высокой выходной мощности излучения в качестве активной среды лазера было использовано иттербиевое волокно с многоэлементной первой оболочкой GT-Wave, позволяющее вводить высокую мощность излучения от многомодового лазерного диода накачки в оболочку и сохранять при этом полностью волоконное исполнение схемы. Исследование выполнено для длин активного волокна от 20 до 30 м. Максимальная эффективность 71% (рис.2) получена при длине активного волокна 30 м на длине волны 1080 нм, соответствующей пику люминесценции ионов иттербия.

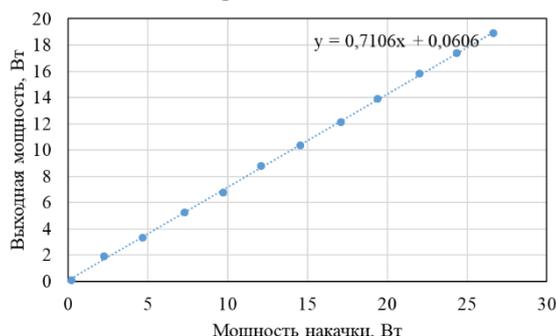


рис.2. Зависимость выходной мощности от мощности накачки при длине волны генерации 1080 нм и длине резонатора 30 м

Дифференциальная эффективность во всем диапазоне длин волн от 1066 нм до 1125 нм при данной длине волокна составила более 40% (рис.3). При сокращении длины активного световода до 20 м эффективность генерации на длине волны 1066 нм увеличилась от 40 до 60%, тогда как на остальных длинах волн эффективность генерации понизилась. Таким образом, показано, что для повышения эффективности генерации в коротковолновом диапазоне необходимо сокращать длину активной среды, тогда как для высокой эффективности генерации в длинноволновом диапазоне необходимо увеличивать длину активной среды.

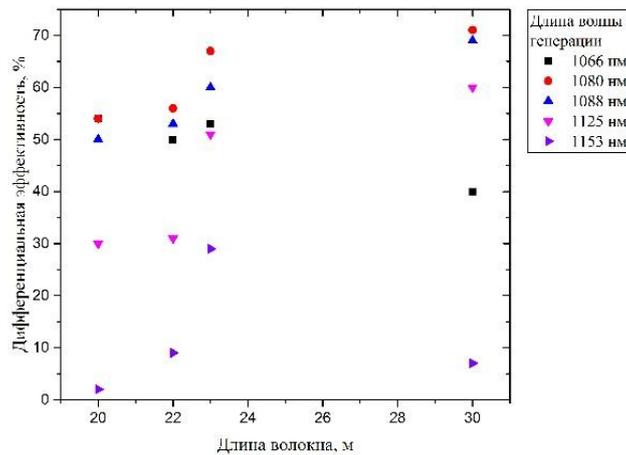


рис.3. Зависимость эффективности лазера от длины волны генерации

Список публикаций:

- [1] Мелькумов М.А., Буфетов И.А., Кравцов К.С., Шубин А.В., Дианов Е.М. // Сечения поглощения и вынужденного излучения ионов Yb^{3+} в силикатных световодах, легированных P_2O_5 и Al_2O_3 . Препринт № 5, Москва, РАН Научный Центр Волоконной Оптики при Институте Общей Физики РАН им. А.М. Прохорова. 2004. С. 58
- [2] Zhihe Huang, Jianqiu Cao, Shaofeng Guo, Jinbao Chen, Xiaojun Xu, Jinyong Leng // Model of distributed side-coupled cladding-pumped fiber lasers. *Advanced Solid-State Lasers Congress Technical Digest. OSA 2013*
- [3] Yingbooo Chu, Yu Yang, Yunxiu Ma, Negli Dai, Jinyan Li, Luyun Yang // Yb^{3+} doped large core silica fiber based on glass phase – separation technology. *Workshop on Specialty Optical Fibers and Their Applications. OSA 2015*
- [4] Буров Н.В., Лин Дж., Ромашова В.Б. // Высокомощные волоконные объединители. <https://oessp.ru>, Санкт-Петербург 2018
- [5] Курков А.С. // Волоконные лазеры: принципы построения и основные свойства. Шолохов Е.М. и др. Ульяновск: издательский центр УлГУ, Ульяновск УлГУ, 2012.

Исследование модифицированной ионными пучками керамики Al_2O_3 методом сканирующей электронной микроскопии

Костенко Валерия

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Гынгазов Сергей Анатольевич, д.т.н.

kostenkova@tpu.ru

При производстве материалов электронной техники, материалов функционального и инструментального назначения часто возникает потребность создавать структуры с градиентными свойствами. Одним из направлений создания таких структур являются методы радиационной обработки. Среди них широкое распространение получил метод модифицирования мощными импульсными ионными пучками (МИИП) [1-3]. В результате таких воздействий происходит модификация поверхности, что проявляется в изменении фазового и химического состава приповерхностного слоя, структурировании поверхности в виде рекристаллизации зерен [4].

Особую роль в микроэлектронике играет корундовая керамика, которая наиболее широко используется как подложечный материал. Алюмооксидная керамика обладает повышенной твердостью, устойчивостью фазового состава и характеризуется высокими диэлектрическими характеристиками. Представляет интерес управления структурой и свойствами данного типа керамики методами ионной обработки. Целью работы являлось исследование влияния поверхностной обработки посредством МИИП на структурные преобразования модифицированных слоев алюмооксидной керамики.

Методика эксперимента. Керамика представляла собой образцы размером 1×1 см толщиной 0.52 мм. Ионное облучение образцов проводилось с помощью импульсного ускорителя ТЕМР-4М [5]. Состав ионов пучка - ионов углерода (C^+) и протонов (H^+) в соотношении 85%/15%. Величина ускоряющего напряжения, измеренная делителем напряжения, составляла 180 кэВ, длительность импульса составляла 100 нс. Плотность ионного тока составляла 15 A/cm^2 , 50 A/cm^2 и 85 A/cm^2 . Плотность энергии в импульсе составляла $W=0.3$, 1.0 и 1.5 Дж/см^2 , соответственно. Воздействие ионной обработки исследовалось в зависимости от плотности ионного тока и энергии, осажденной на поверхности материала, которая была установлена количеством импульсов N . Количество импульсов изменялось от 3 до 300.

Исследование модификации структуры поверхности алюмооксидной керамики проводилось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi-TM 3000 с разрешающей способностью 30 нм. Результаты электронно-микроскопического исследования представлены на (рис. 1, 2).

На (рис. 1 а) представлено SEM изображение поверхности образца корундовой керамики не подвергнутого радиационной обработке. На поверхности можно увидеть зернистую структуру керамики. На изображении хорошо видны поры, распределенные случайным образом по поверхности. Воздействие МИИП приводит к изменению микроструктуры поверхности. Поверхность обработанной керамики имеет мозаичную структуру (рис. 1 б) в виде отдельных блоков, разделенных микротрещинами. Средний размер блоков составляет 10-15 мкм. Образование трещин обусловлено низкой теплопроводностью материала и режимами тепловой обработки. На поверхности можно заметить следы оплавления.

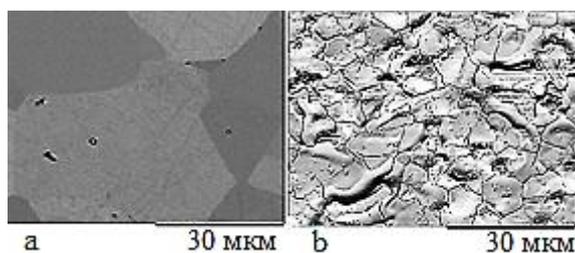


рис.1. Вид сверху алюмооксидной керамики: а – до ионной обработки;
б – после ионной обработки при $j=85 \text{ A/cm}^2$, $W=1.5 \text{ Дж/см}^2$

На (рис.2) представлено изображение поперечного скола керамических образцов, подвергнутых воздействию МИИП. Обработка МИИП при плотности тока ионного пучка 15 A/cm^2 не приводит к заметному изменению приповерхностных слоев керамики (рис.2 а). На (рис.2 б) показано, что зона модифицирования составляет 6-8 мкм. На некоторых участках этой зоны наблюдается микроструктура «столбчатого типа», формы зерен в приповерхностных слоях ориентированы по направлению к обрабатываемой поверхности. Образованные трещины, в процессе обработки МИИП, распространены на всю глубину оплавленного слоя (рис.2 с). С увеличением плотности ионного тока микроструктура «столбчатого типа» не наблюдается. Толщина оплавленного слоя составляет 9-11 мкм.

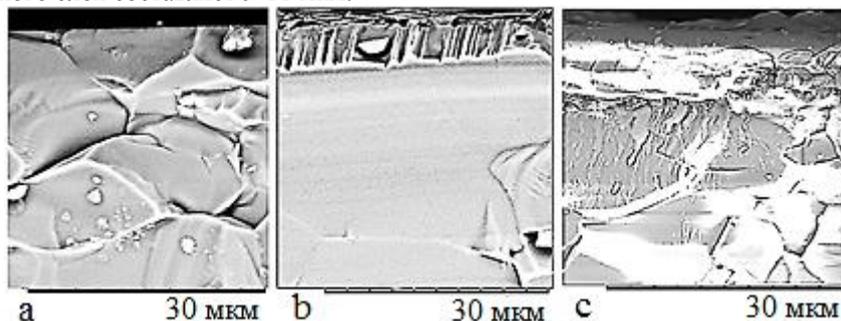


рис.2. Поперечный скол модифицированной керамики МИИП: а – $j=15 \text{ A/cm}^2$, $W=0.3 \text{ Дж/см}^2$;
б – $j=50 \text{ A/cm}^2$, $W=1 \text{ Дж/см}^2$; с – $j=85 \text{ A/cm}^2$, $W=1.5 \text{ Дж/см}^2$

Таким образом, установлено, что воздействие МИИП углерода приводит к изменению микроструктуры приповерхностных слоев керамики. Ионная обработка позволяет создать керамику с градиентной структурой. Обнаруженные эффекты позволяют управлять механическими свойствами оксидных керамических материалов.

Список публикаций:

- [1] Schmidt B., Wetzig K. // Springer Verlag: Germany. 2013. 424 p.
- [2] Ghyngazov S. A. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B. 2018. V. 435. P. 190.
- [3] Зацепин Д. А., Чолаха С. О., Вайнштейн И. А. // Учебник: Екатеринбург: ГОУ ВПО УРФУ. 2014. 106 С.
- [4] Ghyngazov S. A., Vasil'ev I. P., Surzhikov A. P., Frangulyan T. S., Chernyavskii A. V. // Technical Physics. 2015. no 60. P. 128.
- [5] Davis H. A., Remnev G. E., Stinnett B. W., Yatsui K. // MRS Bulletin. 1996. 21(8). P. 58-62.

Влияние ионного облучения на фазовую перестройку керамики $ZrO_2-3Y_2O_3$

Костенко Валерия

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Гынгазов Сергей Анатольевич, д.т.н.

kostenkova@tpu.ru

Тенденция развития современной техники предполагает создание особо прочных материалов, а так же улучшение функциональных свойств уже имеющихся структур. Диоксид циркония обладает комплексом многофункциональных свойств, что делает его перспективным материалом для использования в разных отраслях промышленности. Области применения циркониевой керамики могут быть значительно расширены путем создания методами модификации на ее основе керамических структур с градиентными свойствами.

Для модификации керамических материалов перспективно использовать радиационные методы обработки [1, 2]. Известно, что структурное и фазовое состояние керамики из частично стабилизированного диоксида циркония влияют на ее механические свойства. Ионное облучение является одним из перспективных методов обработки материалов с целью изменения их эксплуатационных свойств. В работе [2] приведены результаты ионного облучения керамики из диоксида циркония мощными импульсными пучками, воздействие которых приводит к структурной и фазовой перестройке керамики. Такая перестройка приводит к изменению механических свойств керамики в приповерхностном слое. Применение такого вида ионного воздействия приводит к созданию керамики с градиентными свойствами и может расширить область ее применения.

Воздействие ионного облучения в постоянном режиме широко применяется для модификации металлов и сплавов. При этом наблюдается изменение их свойств, в частности, упрочнение. Представляет интерес изучение возможностей ионного модифицирования для управления структурой и свойствами керамических материалов, в том числе циркониевой керамики.

Целью работы являлось исследование влияния облучения непрерывными ионными пучками аргона на фазовую перестройку керамики из диоксида циркония.

Объектом исследования являлась керамика из частично стабилизированного диоксида циркония состава $ZrO_2-3Y_2O_3$. Образцы были изготовлены в виде таблеток с геометрическими размерами - диаметр 9 мм, толщина 3 мм. Образцы спекались в высокотемпературной муфельной печи СНОЛ 12/16 при температуре 1400°C в течение 1 часа. После спекания керамические образцы подвергались механической обработке в два этапа с использованием абразивного порошка из Al_2O_3 с размерами зерен 15 – 20 мкм и 3 - 5 мкм. Далее образцы подвергались полировке алмазной пастой с размером зерен порядка 0,5 - 1 мкм. Готовые керамические образцы подвергались ионному облучению.

Облучение керамических образцов проводили на ионном имплантере ИЛИМ-1, оснащенный ионным источником «Пульсар-1М» [3]. Облучение проводили ионами аргона с энергией 30 кэВ. Плотность тока ионного пучка во время облучения составляла 300 мкА/см^2 . В ходе облучения флюенс ионов варьировался от 10^{16} до 10^{18} см^{-2} .

Исследование структуры поверхности керамики $ZrO_2-3Y_2O_3$ проводилось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi-TM 3000 с разрешающей способностью 30 нм. Результаты электронно-микроскопического исследования керамики $ZrO_2-3Y_2O_3$ представлены на (рис. 1).

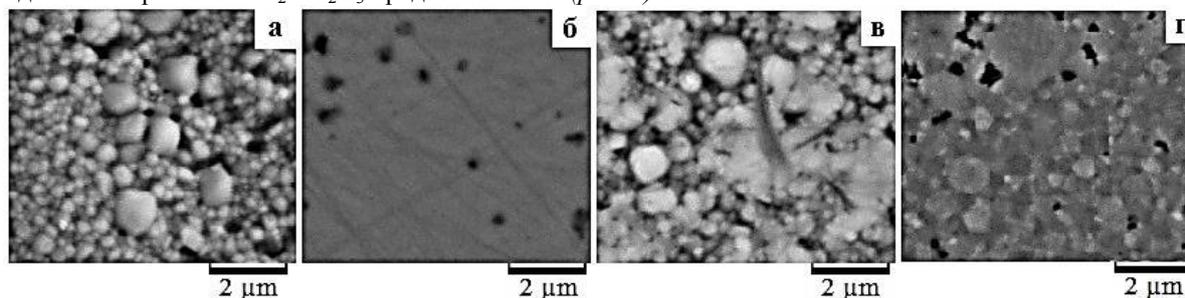


рис.1. Поверхность керамики: а – после спекания; б – после полировки; в, г – после ионного облучения $f = 2,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и $f = 10^{18} \text{ см}^{-2}$ соответственно

Из (рис. 1 а) видно, что микроструктура спеченной керамики характеризуется межзерненными границами и наличием пор. После обработки алмазной пастой образцы приобретают «зеркальную» поверхность (рис. 1 б), на которой видны поры и дефекты в виде царапин. Во время облучения образцов флюенсом $2,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ наибольшее воздействие ионный пучок оказывает на места скопления пор, в результате чего в этих местах наблюдается выявление исходной зерненной структура керамики (рис. 1 в). В местах, где отсутствуют поры,

выявление зернистой структуры не наблюдали. Во время облучения керамики флюенсом 10^{18} см⁻² наблюдается выявление зернистой структуры по всей поверхности образца (рис. 1 з).

Известно, что радиационные методы обработки материалов сопровождаются фазовой перестройкой [4]. Фазовый анализ керамических образцов проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'tra, с использованием программного комплекса Powder Cell 2.4. На дифрактограммах керамики в исходном состоянии (после спекания) и после ионного облучения непрерывными ионными пучками наблюдался набор основных рефлексов, которые соответствовали основной тетрагональной фазе t-ZrO₂ (рис. 2).

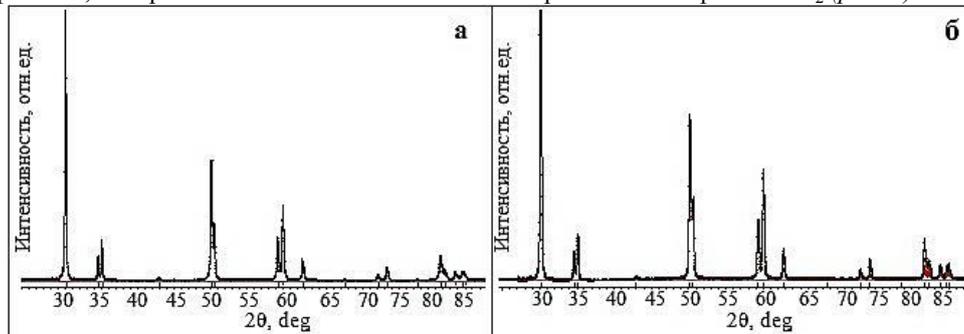


рис.2. Дифрактограммы образцов циркониевой керамики до (а) и после (б) ионного облучения

Согласно результатам рентгенофазового анализа ионное облучение керамики не вызывает существенного изменения размеров области когерентного рассеяния L (ОКР) и микроискажений решетки $\Delta d/d$.

Таким образом, облучение непрерывными пучками ионов аргона с энергией 30 кэВ, плотностью тока 300 мкА/см² и флюенсом от 10^{16} до 10^{18} см⁻² не приводит к фазовой перестройке керамики из частично стабилизированного диоксида циркония.

Список публикаций:

- [1] Elke W., Werner W. // *Springer Series Surface Sciences*. 2016. V. 61.
- [2] Ghyngazov S. A. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B*. 2018. V. 435. P. 190.
- [3] Гаврилов Н. В., Никулин С. П., Радковский Г. В. // *Приборы и техника эксперимента*. 1996. №1. С. 93.
- [4] Ghyngazov S. A., Vasil'ev I. P., Surzhikov A. P., Frangulyan T. S., Chernyavskii A. V. // *Technical Physics*. 2015. no 60. P. 128.

Моделирование движения частицы в наклонной плоскости 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 усовершенствовании устройств обогащения полезных ископаемых или проектировании новых устройств необходимо знать их параметры при различных режимах работы. Для оптимизации этих параметров разрабатываются математические модели процессов сепарации в устройствах гравитационного обогащения. Одним из современных методов при математическом моделировании процессов обогащения и сепарации является использование теории стохастических процессов [1]. При разработке математических моделей коллективного движения частиц появляются задачи определения вероятности положения одной частицы в устройстве. Целью данной работы является определение вероятности положения частицы на наклонной плоскости, которая движется под действием изотропного потока воды исходящего из одного нижнего угла наклонной прямоугольной плоскости. В зависимости от начального положения, массы и размеров частицы, от скорости потока воды, угла наклона плоскости частица упадет на нижнюю часть плоскости на определенном расстоянии от начала координат (точки откуда истекает поток жидкости). Такое устройство является простейшим элементом более сложных устройств гравитационной сепарации полезных ископаемых. Для достижения указанной цели необходимо решать следующие задачи:

1. Разработка математической модели наклонной прямоугольной плоскости с изотропным потоком идеальной жидкости.
2. Разработка математической модели движения частицы по рабочей поверхности устройства.
3. Разработка математической модели движения изотропного потока невзаимодействующих частиц. Определение возможных положений частиц за равные определенные промежутки времени и создания множества возможных состояний системы.

4. Определение вероятности положения частицы на наклонной плоскости, используя метод Гиббса.

Исследования проведены методами математического моделирования и натурального эксперимента. В настоящей работе разработана математическая модель изотропного потока идеальной жидкости на наклонной плоскости, которая включает уравнения непрерывности и уравнение Эйлера. Разработана математическая модель движения частицы, которая движется под действием потока жидкости и силы тяжести по наклонной плоскости. Получено обыкновенное дифференциальное уравнение движения второго порядка:

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

где \mathbf{R} – радиус вектор тела, m – его масса, $\mathbf{F}_v = a(\mathbf{u} - \mathbf{v})$ – сила действия потока воды, 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 устройства. Скорость потока воды уменьшается с расстоянием от точки истока. Согласно уравнению непрерывности для несжимаемой жидкости $\text{div } \mathbf{v} = 0$. Отсюда следует уравнение баланса потоков $\mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{v}_1 = \mathbf{S}_2 \cdot \mathbf{v}_2$, что приводит изменению скорости потока воды по закону $\mathbf{u} = u_0 r_0 \frac{1}{r} \mathbf{e}_r$. В результате решения уравнения (1) методом Рунге-Кутты 4-го порядка получены закон движения и траектория частицы (рис.1). Для определения множества возможных положений частицы использован метод ансамблей Гиббса [2], согласно которому состояние системы в каждый момент времени рассматривается как элемент некоторого пространства состояний. Рассматривается движение первоначально изотропного потока невзаимодействующих частиц в изотропном потоке идеальной жидкости. Начальные параметры зависят от начального значения распределения вероятностей. Изотропность потока частиц в начальный момент времени означает произвольное направление начальной скорости частицы, т.е. равномерное по всем направлениям распределение вероятности начальной скорости частицы. Теоретически получено множество возможных положений частиц, концентрация которых определяет вероятность местоположения частицы на наклонной поверхности. При определении концентрации возможных положений частиц использован численный метод. Полученные результаты представлены в виде графиков. Проведены целенаправленные натурные эксперименты. Результаты экспериментальных исследований показали достаточно хорошее соответствие теоретических результатов математической модели с данными эксперимента.

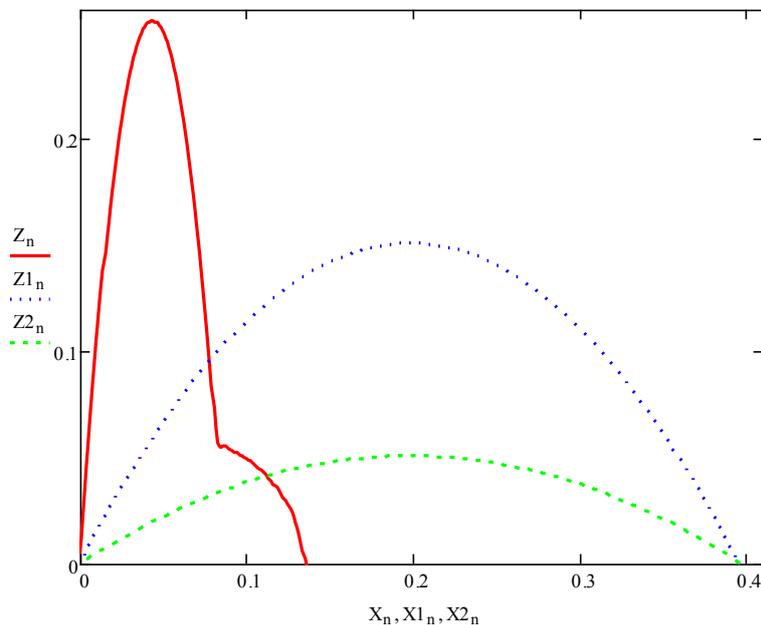


рис.1 Траектории частиц на плоскости в зависимости от направлений начальной скорости частицы (красная линия 87° , синяя – 60° , зеленая – 30°).

Список публикаций:

- [1] Слепцова Е.С., Никифорова Л.В., Яковлев Б.В., Матвеев А.И. Математическое моделирование процесса концентрации тяжелых частиц в постели отсадочной машины // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 10. — С. 239—245.
 [2] S. R. Krylatova, B. V. Yakovlev. Modeling by Gibbs method of processes in equipment for enrichment and separation of mineral resources // AIP Conference Proceedings 2041, 050004 (2018).

Пьезорезистивные свойства дираковских структур

Лебедева Ольга Сергеевна

Лебедев Николай Геннадьевич¹, Ляпкосова Ирина Александровна²

¹Волгоградский государственный университет

²Волгоградский аграрный университет

lebedeva_os@volsu.ru

С открытием и изучением физических свойств двумерной формы углерода – графена [1], обладающего линейным законом дисперсии вблизи уровня Ферми, сформировался новый класс материалов, названных дираковскими структурами. В 2010 г. впервые синтезирован родственный графену материал – силицен, представляющий собой двумерный слой из атомов кремния, составляющих две гексагональные подрешетки, смещенные друг относительно друга [2]. Он привлекает большое внимание в связи с перспективами практического применения в кремниевой электронике и спинтронике. В 2014 г. синтезирован еще один двумерный аналог графена, составленный из атомов германия – германен [3]. Запрещенная щель в германене (~24 мэВ) превосходит графеновую (<0.05 мэВ), что делает германен идеальным кандидатом для изучения квантового спинового эффекта Холла при допустимых температурах. Малая запрещенная щель германена поддается управлению электрическим полем, адсорбцией различных атомов, деформацией и взаимодействием с подложкой.

Стремительное и ускоряющееся развитие информационных технологий предполагает дальнейшее увеличение мощности вычислительных устройств, что стимулирует поиск новых энергосберегающих технологий обработки информации, одной из которых призвана стать недавно сформировавшаяся стрейнтроника [4]. Это новое научное направление в физике конденсированного состояния, использующие 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.

Одна из ветвей стрейнтроники связана с изучением влияния механических напряжений на электронные свойства исследуемого образца – пьезорезистивный эффект. Структурные деформации дираковских материалов также обуславливают изменение их проводимости. При этом происходит изменение ширины запрещенной зоны в зависимости от величины внешних механических воздействий, что открывает возможности их использования в приборах, работа которых основана на эффекте пьезосопротивления, таких как спиновый поляризатор, транзисторы, пьезосенсоры.

Взаимосвязь механических и электронных свойств таких дираковских структур, как германена и силицена остаются не исследованными, поэтому изучение возможностей управления их электронным строением путем деформации структуры представляется достаточно актуальным.

В работе представлены результаты теоретического исследования пьезорезистивных свойств дираковских структур на примере графеновых нанолент (ГНЛ) [1] различной геометрической конфигурации и ширины, содержащих донорные и акцепторные примеси. В рамках моделей Хаббарда с использованием метода сильной связи проведено моделирование зонной структуры деформированных нанолент. Деформированное состояние кристаллита в общем случае задается тензором дисторсии $u_{\alpha\beta} = \partial_{\beta}(\mathbf{r}' - \mathbf{r})_{\alpha}$, ($\alpha, \beta = x, y, z$), где \mathbf{r} и \mathbf{r}' – радиус-векторы начального и конечного положения некоторой точки кристаллита.

Построена математическая модель зонной структуры деформированных примесных ГНЛ в рамках периодической модели Андерсона. Рассмотрены относительные деформации растяжения (сжатия) графеновых нанолент $\delta = \pm 0.035, \pm 0.069, \pm 0.104, 0.25$ соответственно. Принципиальных качественных различий зонных структур по сравнению со спектром недеформированных лент не наблюдается. Акцепторные дефекты создают примесную зону вблизи уровня Ферми. Зона примесных состояний в случае донорных дефектов локализована вблизи уровня энергии электрона на дефекте -3.28 эВ. Количественный анализ показывает уменьшение (увеличение) плотности π -электронных состояний в случае растяжения (сжатия).

Исходя из определения тензора эластопроводимости его продольная компонента для одномерных структур может быть выражена следующей формулой:

$$M = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_0} \frac{1}{\delta}, \quad (1)$$

где M – продольная компонента тензора 4-го ранга эластопроводимости, $\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0$ – изменение продольной компоненты тензора удельной проводимости вследствие деформации кристаллита, σ и σ_0 –

продольные компоненты σ_{zz} тензора 2-го ранга удельной проводимости деформированного и недеформированного кристаллита соответственно.

Продольные компоненты M тензора эластопроводимости примесных ГНЛ разной ширины и геометрического типа рассчитаны в рамках модели Кубо-Гринвуда с использованием метода функций Грина. Анализ результатов расчета показал, что с ростом δ величина M возрастает (убывает) при растяжении (сжатии) для ГНЛ всех типов. А также возрастает монотонно при малых концентрациях акцепторных дефектов ($x = 10^{-5}$, 10^{-4} , 10^{-3}), но при $x = 10^{-2}$ наблюдается уменьшение величины пьезорезистивной константы. Кроме того, тензор эластопроводимости не зависит от концентрации донорных примесей.

Список публикаций:

- [1] *Physics of graphene*. By editors H. Aoki, M.S. Dresselhaus. Springer International Publishing Switzerland, 2014. 356 p.
- [2] Герт А.В., Нестоклон М.О., Ясиевич И.Н. // ЖЭТФ. 2015. Т. 148. № 1. С. 133.
- [3] A. Acun, L. Zhang, P. Vampoulis, M. Farmanbar, A. Van Houselt, A.N. Rudenko, M. Lingenfelder, G. Brocks, B. Poelsema, M.I. Katsnelson, H.J.W. Zandvliet // *J. Phys.: Condens. Matter* 2015. V.27(443002).
- [4] Бухараев А. А., Звездин А. К., Пятко А. П., Фетисов Ю. К. // УФН. 2018. Т. 188. № 12(12). С. 1288.

О переходных слоях в эпитаксиальных пленках ферритов-гранатов

Луговской Назар Викторович

Семук Евгений Юрьевич, Тимченко Максим Юрьевич, Евтухова Екатерина Андреевна

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

Бержанский Владимир Наумович

lugovskoynv@cfuv.ru

Эпитаксиальные пленки ферритов-гранатов (ЭПФГ) обладают уникальными магнитными и магнитооптическими свойствами и находят широкое применение в различных прикладных областях [1]. Одним из возможных применений таких пленок является магнитооптическая вихретоковая интроскопия, где они используются в качестве сенсоров для обнаружения дефектов. Визуализация дефектов основана на способности пленок менять свое магнитное состояние под действием вихревых магнитных полей, топология которых существенно искажается вблизи дефектов [2].

Эпитаксия - процесс ориентированного наращивания, в результате которого новая фаза продолжает кристаллическую решетку подложки с образованием переходного эпитаксиального слоя. Этот слой способствует когерентному срастанию двух кристаллических решеток по плоскостям и направлениям со сходной плотностью упаковки атомов [3].

Одним из самых сложных вариантов эпитаксии является гетероэпитаксия - процесс ориентированного наращивания одного вещества, отличающегося по составу от другого вещества. При кристаллизации на ориентированной монокристаллической подложке в условиях малых пересыщений осуществляется процесс эпитаксии, и структура пленки повторяет структуру подложки. Кинетика осаждения пленок определяется температурой и давлением исходной жидкой фазы, поверхностными энергиями образующихся границ раздела пленки с подложкой и окружающей средой.

В процессе эпитаксиального осаждения пленки на начальной стадии происходит образование некоторого переходного слоя между пленкой и подложкой, обладающего структурными и электрофизическими свойствами, отличными от свойств как пленки, так и подложки. Толщина переходного слоя и его свойства зависят от протекания процесса эпитаксии. Этот слой может включать большое количество структурных дефектов. Основными причинами образования дефектного переходного слоя являются: несовершенство механической обработки поверхности подложки и неполное химическое удаление нарушенного слоя; образование рельефа поверхности подложки при химическом или газовом травлении перед эпитаксией; загрязнение поверхности; захват атомов примесей поверхностью растущих зерен и ускоренная диффузия примесей из подложки в пленку [3,4].

В рамках выбора оптимального сенсора для вихретоковой магнитооптической дефектоскопии были исследованы 13 образцов эпитаксиальных висмутсодержащих пленок ферритов-гранатов с общей формулой $(R,Vi)_3(Fe, Me)_5O_{12}$ и различным типом магнитной кристаллографической анизотропии «легкая ось» и «легкая плоскость». Пленки синтезированы методом жидкофазной эпитаксии на прозрачных подложках из гадолиний-галлиевого граната. Девять образцов обладали магнитной кристаллографической анизотропии типа «легкая ось», четыре - «легкая плоскость». Измерение динамических свойств пленок производилось индуктивно-частотным методом и методом ФМР. Оба метода показали наличие во всех образцах подслоя. В качестве

примера на рисунке 1 показан спектр ФМР одного из образцов, содержащий две линии - основной сигнал (а) и сигнал от подслоя (б).

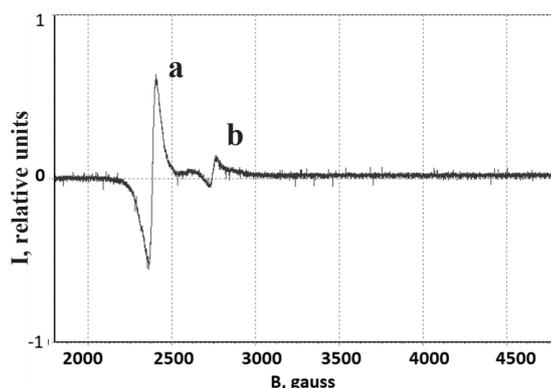


рис.1 Спектр ФМР ЭПФГ с анизотропией «легкая ось»: а – сигнал от основного слоя, б-сигнал от подслоя.

Было предположено что появление данных подслоев объясняется описанной выше природой образования переходного слоя между пленкой и подложкой.

Исследование ориентационных зависимостей резонансных полей при изменении направления приложенного магнитного поля относительно плоскости пленки показало, что в подслое, как правило, реализуется магнитная анизотропия типа «легкая плоскость» независимо от того, какую анизотропию имеет основной слой «легкая ось» или «легкая плоскость» (рис. 2).

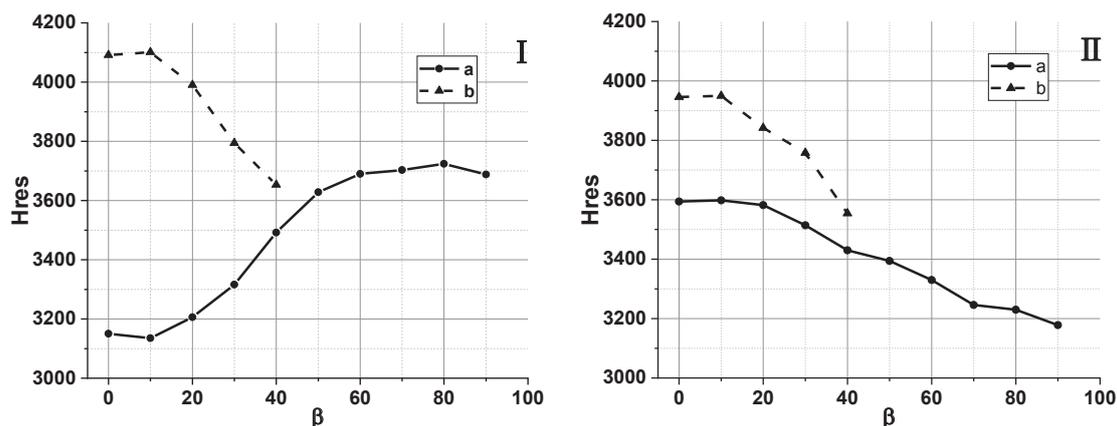


рис.2. Ориентационные зависимости сигналов ФМР от основного (а) и переходного (б) слоёв в ЭПФГ; I – легкоосная пленка с легкоплоскостным подслоем, II – легкоплоскостная пленка с легкоплоскостным подслоем, β - угол между нормалью к пленке и направлением магнитного поля.

Выводы:

В тонких пленках ферритов-гранатов, выращенных методом жидкофазной эпитаксии, в определённых случаях образуется переходной слой, способствующий когерентному срастанию двух кристаллических решеток. Переходной слой может быть идентифицирован методом ФМР и может обладать одинаковым или отличным от основного слоя типом магнитной кристаллографической анизотропии.

Исследование выполнено в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта №ВГ11/2018».

Список публикаций:

- [1] Zvezdin A.K., Kotov V.A. *Modern Magnetooptics and Magneto-optical Materials*, 1997 – 404 с.
- [2] Berzhansky V., Filippov D., Lugovskoy N., *Physics procedia*, 2016, 82C, 27-31 pp.
- [3] Шаскольская, М. П. *Кристаллография*. – М.: Высшая школа, 1984 – 385 с.
- [4] Случинская, И.А. *Основы материаловедения и технологии полупроводников*. – М.: Мир, 2002 – 372 с.

Мультиферроидные свойства кристалла $GdFe_3(BO_3)_4$, индуцированные высоким давлением

Любутина Марианна Владимировна¹

Гаврилюк Александр Григорьевич^{1,2}, Андрушин Н.Д.^{3,4}, Павловский М.С.³,
Зиненко Виктор Иванович³, Огаркова Юлия Леонидовна¹, Любутин Игорь Савельевич¹

¹Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

²Институт ядерной физики РАН

³Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

⁴Сибирский Федеральный университет

lyuanne@mail.ru

Редкоземельный ферроборат $GdFe_3(BO_3)_4$ имеет как $3d$, так и $4f$ переходные элементы и является редким магнитным материалом, прозрачным в видимой части. В нормальных условиях кристалл $GdFe_3(BO_3)_4$ имеет тригональную симметрию с пространственной группой $R32$. При воздействии высоких давлений в этом кристалле в области $P = 25$ и 43 ГПа были обнаружены структурные и электронные фазовые переходы со резким уменьшением оптической щели и переходом диэлектрика в полупроводник. Таким образом, внешние воздействия приводят к новым эффектам, и может сильно влиять на свойства $GdFe_3(BO_3)_4$.

В настоящей работе при воздействии высоких давлений, создаваемых в камерах с алмазными наковальнями, изучены структурные и колебательные (фононные) свойства кристалла $GdFe_3(BO_3)_4$. Методом синхротронной мессбауэровской спектроскопии на ядрах Fe-57 (ядерное резонансное рассеяние вперед - NFS) и синхротронной рентгеновской дифракции исследован структурный фазовый переход в области давлений 23 ГПа. Методом рамановской спектроскопии изучено изменение фононных спектров кристалла при структурном переходе. Для анализа влияния гидростатического давления на фононный спектр кристалла $GdFe_3(BO_3)_4$ в фазе $R32$, были проведены расчеты динамики решетки при величинах приложенного давления от нормального до 30 ГПа. Расчет динамики решетки проводился с использованием вычисленных параметров решетки и координат атомов, соответствующих минимуму полной энергии. Параметры решетки и относительные координаты атомов, вычисленные в настоящей работе для фазы $R32$, хорошо согласуются с экспериментальными значениями.

Теоретический анализ рамановских спектров позволил установить, что при давлениях выше структурного перехода (около 23 ГПа) кристалл переходит в полярную фазу с пространственной группой $R3$ и может обладать сегнетоэлектрическими свойствами (электрической поляризацией). При этом установлено хорошее согласие расчетных рамановских частот и экспериментальных данных при давлениях как в фазе низкого давления ($R32$), так и в фазе $R3$ при давлениях выше структурного перехода.

Установлено, что при перестройке структуры с формированием $R3$ фазы ион бора в позициях $B(2)$ смещается вдоль оси Z и выходит из плоскости кислородного треугольника. Смещения ионов кислорода при перестройке структуры приводит к увеличению числа ближайших ионов в окружении бора и образуется бор-кислородный тетраэдр BO_4 . При этом также значительно меняется ближайшее окружение иона гадолиния. Вместо шести ионов кислорода в $R32$ фазе, в ближайшем окружении иона гадолиния в фазе $R3$ появляется девять ионов кислорода. Это координация имеет сложную форму многогранника, нижнее основание которого представляет собой треугольник, а верхнее шестиугольник. Сам ион гадолиния смещается вдоль оси z в том же направлении, что и ион бора.

Учитывая магнитные свойства кристалла $GdFe_3(BO_3)_4$ при низких температурах следует рассматривать этот кристалл, как мультиферроик, индуцированный высоким давлением. Так как фаза $R3$ является полярной, можно провести оценку электрической поляризации в этой фазе, приняв в качестве параэлектрической фазы фазу $R32$. Величина поляризации, вычисленная на основе смещения ионов и их зарядов, составила 290 мкКл/см².

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 17-02-00766 и № 18-02-00696), РНФ (проект № 16-12-10464), а также Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Структурное совершенство эпитаксиальных пленок

Максимов Глеб Сергеевич

Наухацкий Игорь Анатольевич

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

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

neondreamer00@gmail.com

Тонкие пленки и структуры на их основе обладают рядом физических и химических свойств, не встречающихся у объемных материалов, что делает их актуальными объектами экспериментального и теоретического исследования уже не одно десятилетие. Особое место в этих исследованиях занимают магнитные пленки в связи с возможностями их использования в устройствах твердотельной микро- и нанoeлектроники.

Свойства пленок существенным образом определяются их микроструктурным строением, кристаллической структурой и кристаллографической ориентацией (текстурой), которые, в свою очередь, зависят от метода получения пленки, выбора технологических режимов напыления, материала подложки и состояния ее поверхности. По строению кристаллической структуры пленки можно разделить на 4 класса: аморфные, поликристаллические, текстурированные и эпитаксиальные пленки.

В представленной работе исследовались монокристаллические эпитаксиальные пленки со структурой феррит-гранатов, представляющие собой группу материалов, обладающих рядом уникальных свойств, интересных как для физических исследований, так и для технических приложений.

Основным источником дефектов, формирующихся в эпитаксиальных слоях в процессе выращивания кристаллических пленок, является различие в размерах кристаллической решетки сопрягающихся материалов пленки и подложки – $\Delta a = a_{\text{film}} - a_{\text{substrate}}$. Величина Δa определяется методом рентгеноструктурного анализа по разности в положении дифракционных пиков (углов Брегга) от материалов пленки и подложки (рис. 1).

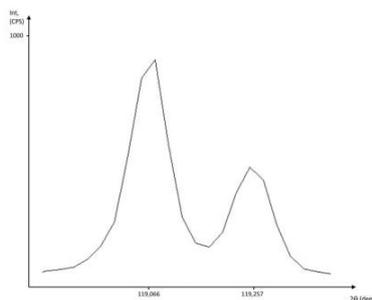


рис. 1. Дифракционные пики (рефлекс (888)) от подложки ($2\theta=119,07^\circ$) и пленки ($2\theta=119,26^\circ$).

Образец – пленка $(YBi)_3(FeAl)_5O_{12}$ с $\Delta a=0,014$.

Рассогласование Δa является основной структурной аттестационной характеристикой эпитаксиальных пленок. Однако, в ряде работ было отмечено, что при одинаковом химическом составе и равном значении величины рассогласования Δa эпитаксиальные пленки проявляют разные физические свойства. В настоящей работе предлагается ввести дополнительную характеристику структурного совершенства пленки, а именно – величину областей когерентного рассеяния D :

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения K – коэффициент ~ 1 . β – полуширина пика; θ – угол Брегга.

В результате было установлено, что параметры рассогласования, величины областей когерентного рассеяния и морфология поверхностей исследованных эпитаксиальных пленок коррелируют между собой.

Список публикаций:

[1] Y.H. Kim, J.S. Kim, S.I. Kim, M.J. Levy *Korean Phys. Soc.*, 43 (3), 400-405 (2003).

[2] 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).

Синтез и исследование железофосфатов

Милодан Ариолла Владимировна

Наухацкий Игорь Анатольевич

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

Санига Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.

ariolla@mail.ru

Поиск новых оксидов на основе переходных металлов является одной из наиболее активных и интересных областей в физике твердого тела из-за открытия различных интересных свойств этих веществ и возможности их широкого использования в промышленности. Современное информационное общество трудно представить без портативных технических устройств, автономность работы которых обеспечивается относительно лёгкими и малогабаритными источниками электрической энергии, литий-ионными аккумуляторами. Они являются самыми энергоёмкими среди коммерчески реализованных перезаряжаемых электрохимических систем, что определило их повсеместное распространение. В настоящее время наиболее востребован железо фосфат лития (LiFePO_4) используемый в современных литий-ионных аккумуляторах.

Обычно при получении железофосфатов широко используются следующие технологии: твердофазный, гидротермальный синтезы, спрей-пиролиз, золь-гель - метод, осаждение из газовой фазы, темплатные и микроэмульсионные технологии. Однако все эти технологии ориентированы на получение мелкодисперсных фракций конечного продукта, из которых впоследствии формируются пористые материалы для катодов литий-ионных аккумуляторов.

Основной целью данной работы было изучение возможности синтеза объемных кристаллов железофосфатов, которые можно было бы применить для исследования различными физическими методами. Предполагается, что использование кристаллов в отличие от порошков позволит лучше изучить тонкие механизмы молекулярной и ионной динамики в этих материалах, в том числе оптическими методами и методами ЯМР и ЭПР.

За основу были взяты результаты работ [1,2], в которых методом раствор-расплавной кристаллизации удалось получить объемные кристаллы $\text{K}_4\text{Fe}_4\text{P}_5\text{O}_{20}$ и работы [3] в которой выращивались кристаллы $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$. Структура $\text{K}_4\text{Fe}_4\text{P}_5\text{O}_{20}$ оказалась идентична структуре типичного волокнистого цеолита натролита. Поскольку этот минерал был ранее хорошо нами изучен, мы предприняли попытки синтезировать его изоструктурный аналог.

В качестве исходных материалов были взяты соединения K_2CO_3 , Fe_2O_3 и $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. В качестве растворителя согласно предложению [1] использовался KF. Исходные вещества измельчались и просушивались в сушильном шкафу при 100°C , затем смешивались в необходимой пропорции и помещались в керамические тигли с крышками. Тигли тщательно герметизировались с применением клея на основе цемента и жидкого стекла. После полного высыхания клея тигли помещались в электрическую печь шахтного типа и в течение 10 часов нагревались до температуры 1050°C . Затем выдерживались в течение 10 часов при этой температуре. После чего температура снижалась со скоростью $1^\circ/\text{час}$. По достижении до 700°C печь охлаждалась со скоростью $100^\circ/\text{час}$ до комнатной температуры.

В результате проведенных экспериментов были получены образцы, которые представляли собой спекшуюся твердую массу, в которой микроскопическими исследованиями было установлено наличие мелких кристаллических агрегатов игольчатой формы. Рентгеновский фазовый анализ подтвердил наличие фазы $\text{K}_4\text{Fe}_4\text{P}_5\text{O}_{20}$ в количестве до 32,1% в расплаве шихты. Исследования проводились для излучения $\lambda = 1.78897\text{\AA}$. Было установлено, что $\text{K}_4\text{Fe}_4\text{P}_5\text{O}_{20}$ синтезируется в тетрагональной симметрии P^-421c с постоянными решетки $a=9.74500\text{\AA}$, $c=9.38000\text{\AA}$ и $Z=2$.

Фазовый состав вещества был исследован методом рентгеновской порошковой дифракции (XRD), который был выполнен при комнатной температуре в диапазоне углов $2\theta = 10^\circ-100^\circ$ с шириной щели, ограничивающей первичный пучок, равной 1мм, шагом сканирования $0,05^\circ$ и фиксированным временем экспозиции 0,5с. Рентгенограмма полученного вещества показана на рисунке 1.

Также был выполнен полуколичественный анализ. Процентное содержание фаз в образце определено, исходя из известных корундовых чисел для каждой фазы, методом с использованием «корундового числа».

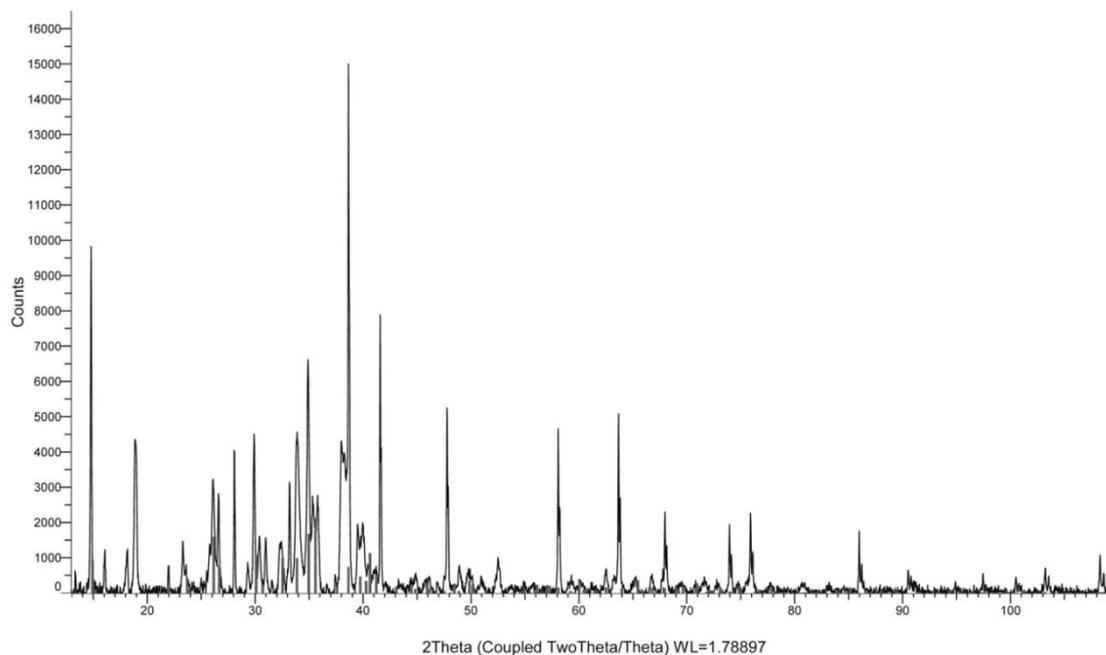


рис 1: Рентгенограмма полученного вещества, чёрточками показаны рефлексы от $K_4Fe_4P_5O_{20}$.

С целью поиска метода синтеза более крупных кристаллов основное внимание было уделено выбору режима охлаждения. Было предложено снижать температуру ступенчато на $50^{\circ}C$ с выдержкой в течение трех часов. В результате были получены более крупные игольчатые агрегаты сросшихся кристаллов, размеры которых были толщиной порядка 0.1 мкм и достигали 1 мм в длину.

В докладе обсуждают возможности синтеза крупных кристаллов $K_4Fe_4P_5O_{20}$ методом раствор-расплавного синтеза, в которых калий замещается на натрий, железо замещается на галлий.

Список публикаций:

- [1] Z. He, W. Zhang, W. Cheng, A. Okazawa and N. Kojima, // *Inorganic Chemistry*, 2012, 51, 7469.
- [2] Z. He, W. Zhang, W. Cheng, A. Okazawa and N. Kojima, // *Dalton Trans.*, 2013, 42, 5860
- [3] Z. He, W. Guo, W. Cheng, M. Itoh J. // *Solid State Chemistry* 215 (2014) 189–192

Исследование силы взаимодействия плоских проводников с током, помещенных в магнитную коллоидную наносистему

Мкртчян Виктория Дмитриевна

Северо-Кавказский федеральный университет

Диканский Юрий Иванович, д.ф.-м.н.

vika_g96@mail.ru

Исследование взаимодействия немагнитных тел в намагничивающейся жидкости во внешних силовых полях представляет собой актуальную научно-техническую задачу в связи с многочисленными техническими приложениями. Данной теме посвящено множество работ как теоретических, так и экспериментальных [1].

Однако на данный момент не имеется работ, в которых рассматривалось бы взаимодействие тел, помещенных в намагничивающуюся среду, когда по ним протекают электрические токи. Исключение составляет работа [2], в которой рассмотрено взаимодействие цилиндрических проводников с током в магнитной жидкости.

Вместе с тем, изучение эффектов, возникающих в системе проводников с током, помещенных в жидкую намагничивающуюся среду, позволило бы на более глубоком уровне описать магнитное взаимодействие, а также открыть возможности для создания высокоточного магнитометрического способа определения магнитной проницаемости жидких сред.

В настоящей работе предпринята попытка исследования особенностей взаимодействия двух тонких плоских проводников с током, помещенных в магнитную жидкость.

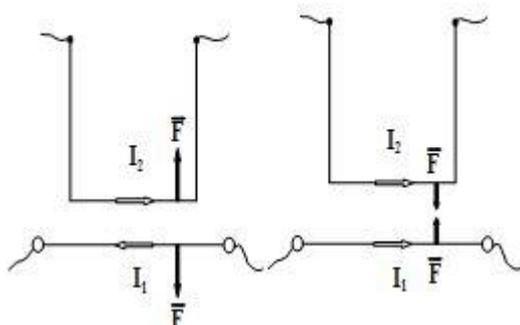


рис. 1. Взаимодействие проводников с током в магнитной жидкости.

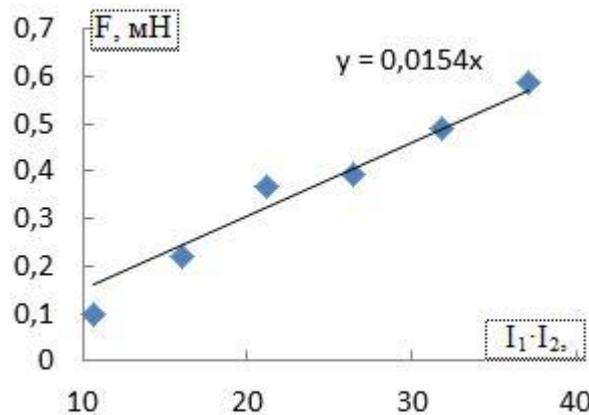


рис. 2. Экспериментальная зависимость силы взаимодействия двух плоских проводников с током в магнитной жидкости от произведения силы токов в проводниках.

Методика эксперимента состояла в следующем. В стеклянную прямоугольную ячейку высотой 14 см, в центре которой горизонтально располагалась плоская текстолитовая пластинка (толщина 2 мм, ширина $h = 5$ мм, длина $l_1 = 12$ см) с медным покрытием помещалась прямоугольная проволочная рамка, горизонтальная часть которой представляла собой такую же пластинку, как в ячейке, но длиной $l_2 = 10$ см, и располагалась параллельно проводнику в ячейке (рис. 1). Рамка подвешивалась к электронным весам. Расстояние между центрами проводников составляло $y = 2$ мм. Ячейка целиком заполнялась магнитной коллоидной наносистемой, представляющей собой коллоидный раствор магнетита (средний размер частиц 10 нм) в керосине с олеиновой кислотой в качестве стабилизатора. Плотность магнитной жидкости равнялась 1460 кг/м^3 .

По проводникам пропускались постоянные токи, направленные как параллельно друг другу, так и антипараллельно. Сила тока измерялась с помощью амперметров, включенных в цепь с соответствующим проводником. Ток в нижнем проводнике оставался неизменным, его величина составляла 5,3 А. Величина тока в верхнем проводнике (рамке) последовательно изменялась от 1 до 7 А с шагом 1 А. При каждом значении тока в рамке фиксировались показания весов.

Было обнаружено, что в обоих случаях – как однонаправленных, так и разнонаправленных токов – сила взаимодействия между проводниками приводила к изменению положения горизонтальной части рамки в вертикальной плоскости, что в свою очередь влекло за собой изменение показания весов. В случае однонаправленных токов эти изменения были положительными – проводники притягивались, в случае разнонаправленных токов изменения были отрицательными – проводники отталкивались. Было установлено, что в пределах погрешностей измерений, величина силы взаимодействия не зависит от ориентации токов.

По итогам проведенных экспериментов была получена зависимость силы взаимодействия двух плоских проводников с током в магнитной жидкости от произведения силы токов в проводниках (рис. 2). Погрешность измерений лежит в пределах размеров экспериментальных точек на графике.

Для определения магнитной проницаемости магнитной жидкости была предпринята попытка измерения сил взаимодействия плоских проводников в воздухе. Однако чувствительность измерительной системы (электронных весов) не позволила измерить столь малые значения. В связи с этим, зависимость силы взаимодействия от произведения силы токов в проводниках, когда проводники расположены в воздухе, была получена путем расчета по формуле:

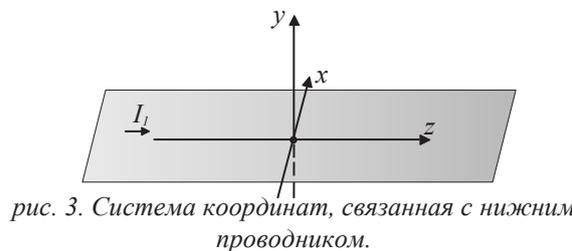


рис. 3. Система координат, связанная с нижним проводником.

$$F = F_y = \int_{\frac{l_2}{2}}^{\frac{l_2}{2}} \int_{-h}^h \frac{I_2 \cdot B_x(x, z)}{2 \cdot h} \cdot dx \cdot dz, \text{ т.к. } F_x = 0. \quad (1)$$

где I_2 – сила тока в рамке, $B_x(x, z)$ – индукция магнитного поля нижнего проводника в месте нахождения верхнего (горизонтальной части рамки) в соответствии с выбранной системой координат (рис. 3).

В работе [2], было показано, что магнитная проницаемость использовавшейся в опытах магнитной жидкости, определенная по закону Ампера (как отношение коэффициента угла наклона графика зависимости силы от произведения сил токов в магнитной жидкости к аналогичному коэффициенту для случая взаимодействия в воздухе), имеет большее значение, чем полученное с помощью вибрационного магнитометра, в связи с чем был сделан вывод о наличии дополнительного механизма взаимодействия, заключающегося в возникновении расклинивающего давления в жидкости за счет ее перетекания в области с большими значениями поля.

В случае плоских проводников оказалось, что значения магнитной проницаемости магнитной жидкости, определенные по закону Ампера и с помощью вибрационного магнитометра не отличаются.

Список публикаций:

[1] Розенцвейг Р.Е. Феррогидродинамика. М.: Мир. 1989.

[2] Мкртчян Л. С., Федина О.В., Груненко В.Д. // Физико-химические и прикладные проблемы магнитных дисперсных наносистем: сборник научных трудов VI Всероссийской научной конференции: Изд-во ФГАОУ ВО СКФУ. 2017. С. 63-69.

Магниторезонансные исследования тонкой эпитаксиальной пленки FeVO_3

Могиленец Юлия Александровна¹

Селезнева Кира Андреевна¹, Ягунов Сергей Владимирович¹, Стругацкий Марк Борисович¹,

Дровосеков Алексей Борисович², Крейнес Наталия Михайловна², Клява Янис³

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

²Институт физических проблем имени П.Л. Капицы РАН

³LOMA, UMR 5798 Université de Bordeaux-CNRS, Talence, France

Селезнева К.А., к.ф.-м.н.; Стругацкий М.Б., д.ф.-м.н.

mogilenecya@cfuv.ru

Борат железа обладает уникальным сочетанием магнитных и оптических свойств, поэтому он представляет большой интерес для практических применений в современных высокотехнологичных отраслях науки и техники. С точки зрения магнитной структуры FeVO_3 является двухподрешеточным антиферромагнетиком со слабым ферромагнетизмом [1]. Особый интерес для практических применений представляет поверхностный магнетизм на небазисных гранях монокристаллов бората железа [2, 3]. Для более подробного изучения механизма формирования этого явления, может служить тонкая эпитаксиальная пленка FeVO_3 на диамагнитной подложке GaVO_3 [4]. Разработанная нами методика позволяет получать пленки хорошего качества, пригодные для магнито-оптических, магнито-акустических и резонансных исследований.

Цель данной работы – определить методом антиферромагнитного резонанса (АФМР) магнитные характеристики для тонкой эпитаксиальной пленки бората железа: поле Дзялошинского-Мории, H_D и величину изотропной энергетической щели, H_Δ^2 .

Магниторезонансные исследования проводились в интервале частот 15,1-35,7 ГГц при температурах 77-300 К, в магнитном поле H до 10 кЭ. Получены экспериментальные частотно-полевые зависимости для пленки бората железа при различных температурах (см. рис. 1).

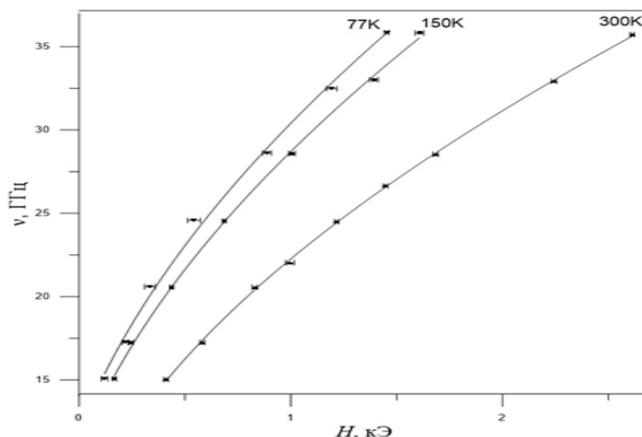


рис.1. Частотно-полевые зависимости для пленки FeVO_3 при различных температурах (точки — экспериментальные данные, линии - аппроксимация).

В случае, когда внешнее магнитное поле приложено в базисной плоскости образца, низкочастотная ветвь АФМР описывается следующим выражением [5]:

$$\nu = \gamma[H(H + H_D) + H_{\Delta}^2]^{1/2}, \quad (1)$$

где γ — гиромагнитное отношение, ν — частота приложенного микроволнового поля. С помощью этого выражения получены значения H_D и H_{Δ}^2 для пленки FeVO₃, результаты приведены в таблице:

T, K	77	150	300
$H_D, kЭ$	98,7±2,8	89,4±1,2	57,6±0,4
$H_{\Delta}^2, kЭ^2$	18,2±1,6	14,7±0,8	4,6±0,5

Сравнение результатов для пленки бората железа с имеющимися в литературе [5] данными для монокристаллов бората железа показывает, что поле Дзялошинского-Мории для них практически не отличается. В то же время, изотропная энергетическая щель в первом случае значительно больше, что объясняется микроскопическими механическими напряжениями, возникающими в результате несовпадения структурных параметров пленки и подложки [4].

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-3200210 «мол_а»).

Список публикаций:

- [1] Diehl R., Jantz W., Nolang B.I. and Wettling W. // *Current Topics in Materials Science* ed. E Kaldis 1984. vol.11, p.241.
 [2] Zubov V.E., Krinchik G.S., Seleznyov V.N. and Strugatsky M.B. // *J.Magn.Magn.Mater.* 1990. 86, pp.105-114.
 [3] Maksimova E.M., Nauhatsky I.A., Strugatsky M.B. and Zubov V.E. // *J.Magn.Magn.Mater.* 2010. 322, pp.477-480.
 [4] Yagupov S., Strugatsky M., Seleznyova K., Mogilenec Yu., Milyukova E., Maksimova E., Nauhatsky I., Drovosekov A., Kreines N., Kliava J. // *J.Magn.Magn.Mater.* 2015. 417, pp.338-343.
 [5] Velikov L.V., Prokhorov A.S., Rudashevskii E.G., Seleznev V.N. // *Sov. Phys. JETP* 1974. 39, p.909.

Разработка температурной приставки для рентгеноструктурного исследования веществ при отрицательных температурах

Наухацкий Игорь Анатольевич

Максимова Елена Михайловна

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

nauhatsky@cfuv.ru

Современные производители температурных приставок к рентгеновским дифрактометрам, особенно для исследований при низких температурах, предлагают весьма дорогостоящие варианты, часто не отвечающие геометрии размещения этих приставок в имеющейся технике. Целью данной работы являлась разработка и сбор температурного модуля для рентгеновских дифрактометров общего назначения, имеющего низкую себестоимость.

В отличие от серийных производителей, в приставках которых для охлаждения образца используется непрерывный поток жидкого азота или газового гелия, в данной работе для получения отрицательных температур предлагается использовать термоэлектрические преобразователи – элементы Пельтье. В конструкции модуля элементы располагаются друг на друге по типу пирамиды. В основании находится четыре элемента Пельтье, на которых расположен каскад. Охлаждение горячей стороны элементов Пельтье производится посредством потока воды через радиаторы жидкостного типа.

Мониторинг температур производится при помощи термопар К-типа. Данная термопара изготавливается на основе сочетания металлов: хромель, алюмель. Сочетание этих металлов позволяет производить замеры температур в диапазоне от – 270 до 1372 градусов по Цельсию. Контакт первой термопары происходит непосредственно около исследуемого образца. Вторая термопара расположена между четырьмя элементами Пельтье, вблизи горячей стороны каскада, и отслеживает промежуточную температуру между элементами. Третья термопара используется в случае с замкнутой системой водяного охлаждения и помещается в резервуар с водой. Для преобразования значений, полученных с термопар, используется преобразователи сигнала термопары в цифровой сигнал - MAX31855 и MAX6675. Для мониторинга и управления конструкцией используется контроллер Atmega2560 на базе модуля Arduino. В схеме управления питанием конструкции используются стабилизатор напряжения, цифро-аналоговый преобразователь «AD557», операционный усилитель «СА3140» и составные транзисторы.

На плате управления расположены контакты подключения контроллера, питания схемы и контакты для второго составного транзистора, а также два ЦАП и пять ОУ. Контроллер управления подключен к двум цифро-аналоговым преобразователям. К первому преобразователю подключен операционный усилитель, который обеспечивает усиление сигнала в два раза и передает сигнал на первый составной транзистор, который, соответственно, управляет вторым составным транзистором, который, в свою очередь, управляет питанием каскада элементов Пельтье. Ко второму преобразователю подключено параллельно четыре операционных усилителя, которые управляют своими составными транзисторами и обеспечивают питанием четыре элемента Пельтье.

Конструкция, в которой располагаются элементы Пельтье и радиаторы, состоит из трех частей: центрального блока, изоляционного купола и задней крышки радиаторов. Центральный блок располагает в себе все элементы Пельтье. Между элементами и корпусом находится термоизоляционный материал. Все соединения между контактными поверхностями обработаны термопастой для получения лучшего контакта и хорошего теплообмена. Сзади расположена крышка радиаторов в которой расположены четыре радиатора жидкостного типа, также крышка фиксирует все внутренние элементы. Спереди расположен изоляционный купол, во внутренней стороне которого расположена емкость для поглощающего влагу материала. Данное конструктивное решение создано для того, чтобы при отрицательных температурах на исследуемом образце не образовывалось обледенение.

В куполе присутствует щель, через которую проходят рентгеновские лучи. Щель герметично закрывается тонкой пленкой. В качестве материала для изготовления корпуса был использован пластик марки ABS, так как он выдерживает температуры до -50 градусов по Цельсию в динамическом режиме работы, а в стационарном режиме еще более низкие температуры.

Предложенный в работе температурный модуль может быть использован для целой серии отечественных дифрактометров марки ДРОН: от ДРОН-2 до ДРОН-6.

ТермоЭДС в биологических жидкостях

Оборотова Любовь Александровна

Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина

Кузнецов Денис Владимирович к.ф.-м.н.

olubov97@yandex.ru

В работах [1, 2] экспериментально и теоретически описаны термоэлектрические эффекты, возникающие в растворах электролитов. В работе [3] описаны эксперименты, в которых термоэлектрические эффекты наблюдались в жидких заряженных коллоидных системах, а также показано, что термоЭДС таких систем значительно превосходит по величине термоЭДС, наблюдающуюся в истинных растворах.

В природе очень широко распространены дисперсные системы, у которых одно вещество равномерно распределено в виде частичек в другом, растворителе, в частности, в биологических жидкостях живых организмов. Кровь представляет собой полидисперсную систему — суспензию эритроцитов в плазме, белки образуют коллоидный раствор, органические вещества и соли представляют собой истинный раствор [4].

Около 90% в составе плазмы крови занимает вода, а остальные ее составляющие — сухие вещества: белки, углеводы, жиры, витамины, гормоны, глюкоза и минеральные соли. Порядка 8% состава плазмы, приходится на белки. Белки плазмы крови можно разделить на три группы: альбумины, глобулины и фибриноген. Самой распространенной группой являются альбумины.

В качестве предмета исследования были выбраны:

1. Истинный раствор — раствор Рингера. Он является аналогом по химическому составу плазмы крови без белков и форменных элементов. Химический состав раствора Рингера (на 1 л воды) содержит: натрия хлорид — 8,6 г, калия хлорид — 0,3 г, кальция хлорида гексагидрат — 0,25 г;
2. Коллоидный раствор — раствор альбумина. Альбумины — мелкодисперсные белки, с большой молекулярной массой, что позволяет рассматривать их как коллоидные частицы.

Для измерения термоЭДС была изготовлена экспериментальная установка [1-3], основной частью которой являлась U-образная трубка из химического стекла сечением около 1 см^2 и длиной около 20 см. В открытые концы колен трубки в раствор опускались хлорсеребряные электроды и датчики, регистрирующие температуру. Для создания градиента температуры в верхней части правого колена на трубке располагался нагреватель в виде обмотки из нихромовой проволоки. Напряжение, подаваемое на нагреватель, формировало

разность температур, возникающая термоэлектрическая разность потенциалов фиксировалась иономером ИПЛ – 113 и вместе с показаниями с термодатчика 4 подается на ПК.

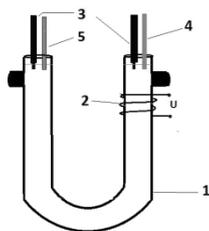


рис.1. Экспериментальная установка:

1- U-образная стеклянная трубка; 2- нагреватель; 3- хлорсеребряные электроды; 4-термодатчик, 5-термометр

Экспериментальные исследования термоэлектрического эффекта в растворе Рингера показали, что величина коэффициента термоЭДС очень мала, опыт имеет низкую повторяемость, что обусловлено малостью величины и сравнимостью ее с погрешностью измерений.

Раствор нагревался от комнатной температуры до температуры не выше 40 °С. На (рис. 2а) представлена зависимость термоЭДС от разности температур между коленами U- образной трубки. Линейная аппроксимация данной зависимости позволяет определить коэффициент термоЭДС. Была проведена серия измерений термоЭДС от концентрации альбумина в водном растворе.

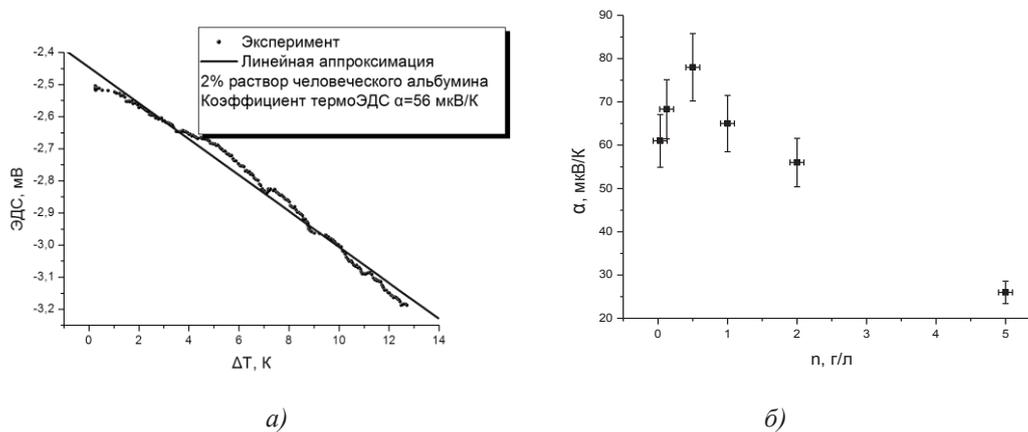


рис.2. ТермоЭДС в водном растворе альбумина

Коэффициент термоэлектрической ЭДС существенно зависит от концентрации (рис.2б) и имеет ярко выраженный максимум. Это, по-видимому, обусловлено изменением структурного окружения коллоидной частицы при разбавлении.

По результатам экспериментального исследования термоэлектрического эффекта в растворе Рингера и растворе альбумина можно сделать вывод, что основной вклад в формирование термоЭДС в плазме крови вносит коллоидная составляющая. Влияние вклада форменных элементов (клеток крови) на величину коэффициента термоЭДС является задачей будущих исследований.

Список публикаций:

- [1] Грабов В.М., Зайцев А.А., Кузнецов Д.В., Сидоров А.В. Термоэлектродинамические явления, эксперимент и теоретическое описание. // Термоэлектрики и их применения: Доклады Межгосударственной конференции, Санкт-Петербург, ФБГУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН - 2015.- С.173-178.
- [2] Грабов В.М., Сидоров А.В., Зайцев А.А., Кузнецов Д.В. // Моделирование процессов нестационарного теплопереноса в водных растворах сильных электролитов. Труды девятой всероссийской конференции "Необратимые процессы в природе и технике" 25-27 января 2017 года Москва ч.1 МГТУ им. Н.Э. Баумана с. 251-257.
- [3] Грабов В.М., Зайцев А.А., Кузнецов Д.В., Сидоров А.В. // Термоэлектродинамические и термоэлектрические явления в живых организмах. Тезисы докладов Второй российской конференции с международным участием Физика- наукам о жизни 18-22 сент. ФТИ им. А.Ф. Иоффе Санкт-Петербург 2017 г.
- [4] Под ред. А.Д. Ноздрачева // Начала физиологии. Учебник для вузов. СПб.: Лань.2001.

Фазовые переходы в дираковском 3D полуметалле Cd_3As_2 с содержанием наногранул $MnAs$ при высоких давлениях

Отаев Амирджон Ахмаджонович

Мельникова Нина Владимировна, Тебеньков Александр Владимирович, Суханова Галина Витальевна, Сайпуллаева Луиза Абдурахмановна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.

Otaev-95@mail.ru

Одной из основных задач современной физики твердого тела является поиск, синтез и исследование структуры и свойств новых материалов при различных внешних воздействиях для перспективного направления твердотельной электроники – спинтроники. Приборы на основе этих материалов должны обладать высоким быстродействием, малым тепловыделением, технологичностью в изготовлении, устойчиво работать в широком диапазоне давлений, температур и ионизирующего излучения [1]. Одним из наиболее многообещающих материалов в этой сфере является композит на основе дираковского полуметалла Cd_3As_2 с содержанием наногранул $MnAs$ [2].

С целью установления наличия барических фазовых переходов в композитах Cd_3As_{2+n} мас.% $MnAs$ ($n = 10, 20, 30, 44.7$) в настоящей работе исследовали поведение электросопротивления и термоэдс (как наиболее чувствительных к фазовым переходам параметров) и процессы их релаксации при давлениях до 50 ГПа.

Первый фазовый переход при высоких давлениях в окрестности 4,4 ГПа был обнаружен ранее при изучении барических зависимостей удельного электросопротивления и магнитосопротивления в композите $Cd_3As_2 + n$ мас.% $MnAs$ (где $n = 30$ и 44,7) [3, 4].

Исследования транспортных свойств композитов при давлениях (P) до 50 ГПа показали, что все материалы проявляют особенности в поведении электросопротивления (R) (резкое его уменьшение на порядок при росте давления) и термоэдс (S) (экстремумы, точки перегиба на кривых $S(P)$ или гистерезис по давлению) в интервалах: 25-30 ГПа в случае $n=10$ и $n=20$; 30-35 ГПа для $n=30$; 20-25 ГПа и 35-40 ГПа по данным поведения $R(P)$ и 30-33 ГПа из зависимостей $S(P)$ для $n=44.7$. Возможные причины такого поведения электрических характеристик для материала с $n=44.7$ приведены в работах [5, 6] и связаны с особенностями электронной подсистемы матрицы композита Cd_3As_2 . В этих же указанных областях давлений наблюдается увеличение времен релаксации термоэдс.

Таким образом, в области давлений 30-35 ГПа в композитах $Cd_3As_2 + MnAs$ существует второй фазовый переход, предположительно связанный с изменением в электронной подсистеме.

Список публикаций:

[1] Crassee I., Sankar R., Lee L. et al // *Phys. Rev. Materials*. 2018. V. 2. P. 92-105.

[2] Риль А.И., Кочура А.В., Маренкин С.Ф. // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2017. Т. 7, №2(23). С. 120-134.

[3] Алибеков А. Г., Моллаев А. Ю., Сайпуллаева Л. А. и др // *НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ*. 2016. Т. 52, № 4. С.402-405.

[4] Алибеков А.Г., Моллаев А. Ю., Сайпуллаева Л. А. и др. // *ЖУРНАЛ НЕОРГ-ОЙ ХИМИИ*. 2017. Т. 62, № 1. С. 87–91.

[5] Мельникова Н.В., Тебеньков А.В., Суханова Г.В. и др. // *ФТТ*. 2018. Т. 60, №3. С. 490-494.

[6] Мельникова Н.В., Маренкин С.Ф. и др. // *Физ. и техн. высоких давлений*. 2018. Т. 28, №2. С. 5-12.

Особенности трансформации поляритонного спектра, вызванные упругой деформацией и дефектами структуры в цепочке микропор

Паладян Юлия Александровна

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина

Румянцев Владимир Васильевич, д.ф.-м.н.

paladyan0108@yandex.ru

Важным свойством фотонных структур с запрещенной зоной является возможность получения так называемого «медленного» света, имеющего большие перспективы применения в разработке устройств квантовой обработки оптической информации. В частности, эффективное уменьшение групповой скорости продемонстрировано в связанных волноводных оптических резонаторах, различных типах твердотельных многослойных полупроводниковых структурах. В связи с созданием оптоэлектронных устройств возрос интерес к изучению оптических мод в системе микрорезонаторов. При этом приходится решать ряд проблем, связанных с формированием поляритонных структур – особого класса фотонных кристаллов, в которых реализуется сильная связь квантовых возмущений (экситонов) среды и оптического поля. Поляритонной

структурой, в частности, может быть пространственно периодическая атомарная система, образованная слабо взаимодействующими ансамблями двухуровневых атомов и оптического поля в туннельно связанном массиве микропор (резонаторов). В настоящее время интенсивно развивается фотоника несовершенных структур. Проведенные в рамках неидеальной фотоники исследования показали, что введением в исследуемую систему определенных структурных дефектов или в результате управляемого внешнего воздействия (например, упругой деформации) можно добиться необходимого изменения энергетического спектра элементарных электромагнитных возбуждений и соответствующих оптических свойств композитного материала.

В данной работе рассмотрены особенности дисперсии электромагнитных возбуждений в 1D решетке микропор в однородной и изотропной среде, находящейся в условиях одноосных напряжений (сжатие или растяжение), направленных вдоль оси цепочки. Предполагается, что в такой цепочке одинаковые микропоры-резонаторы содержат также случайным образом квантовые точки двух типов с концентрациями $C_C^{(1)}$ и $C_C^{(2)}$. Причем эти микропоры-резонаторы случайным образом удалены на расстояниях между ближайшими соседями либо $a_1(\varepsilon)$ с концентрацией $C_T^{(1)}$, либо $a_2(\varepsilon)$ с концентрацией $C_T^{(2)}$ (причем $C_C^{(1)} + C_C^{(2)} = 1$, следовательно $C_C^{(1)} = 1 - C_C^{(2)} \equiv C_C$ и $C_T^{(1)} + C_T^{(2)} = 1$, $C_T^{(1)} = 1 - C_T^{(2)} \equiv C_T$).

Выполнено численное моделирование спектра электромагнитных возбуждений в неидеальной 1D решетке связанных микрорезонаторов, как содержащих квантовые точки, так и без них. В рамках приближения виртуального кристалла [1] исследованы особенности дисперсии электромагнитных возбуждений такой системы, вызванные как вариацией расстояний между резонаторами, так и вариацией квантовых точек по составу, изучено влияние однородной упругой деформации на изменение спектра поляритонных возбуждений в исследуемой цепочке микропор.

Расчет поляритонного спектра $\Omega_{\pm}(k, \varepsilon)$ системы микропор (в зависимости от параметра деформации ε) проведем, следуя методике [2,3], путем диагонализации усредненного (процедура усреднения обозначена угловыми скобками) гамильтониана $\bar{H}(\varepsilon)$ в предположении, что плотность возбужденных состояний элементов в резонаторной и атомарной подсистемах мала, в одноуровневой модели в приближении Гайтлера-Лондона. В результате применения вышеуказанной методики получаем систему линейных однородных уравнений, условием разрешимости которой является равенство нулю детерминанта:

$$\begin{vmatrix} \hbar \langle \omega_n^{at}(\varepsilon) \rangle_C + \langle V(k, \varepsilon) \rangle_{C,T} - \hbar \Omega(k, \varepsilon) & \langle g_n(\varepsilon) \rangle_C \\ \langle g_n(\varepsilon) \rangle_C & \hbar \omega^{ph}(\varepsilon) - \langle A(k, \varepsilon) \rangle_T - \hbar \Omega(k, \varepsilon) \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

Численный расчет соответствующих величин выполнен для конкретных модельных значений частот резонансных фотонных мод, локализованных в резонаторах с собственной частотой $\omega^{ph} = 2\pi \times 387,5 \text{ THz} \approx 2434 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$, квантовых точек с частотами возбуждения $\omega^{at} = 2\pi \times 191 \text{ THz} \approx 1200 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$. Величины $\langle A(k, \varepsilon) \rangle_T$, $\langle V(k, \varepsilon) \rangle_{C,T}$ и $\langle g_n(\varepsilon) \rangle_C$ характеризуют соответственно перекрытие оптических полей резонаторов в соседних узлах, резонансное взаимодействие квантовых точек в этих узлах, резонансное взаимодействие квантовой точки в узле с локализованным в этом узле электромагнитным полем [3]. Поверхности, описывающие дисперсионную зависимость частот $\Omega_{\pm}(k, \varepsilon, C_C, C_T)$ исследуемых коллективных возбуждений в неидеальной решетке микрорезонаторов, представлены на (рис.1).

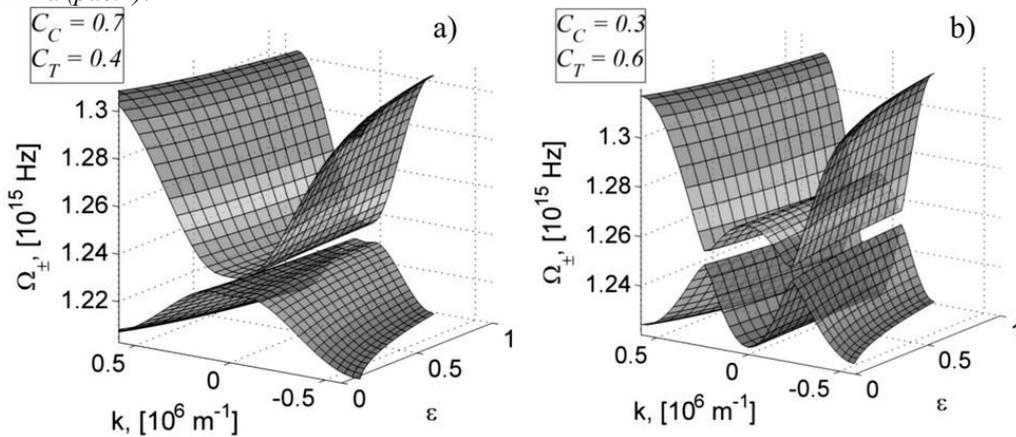


рис.1. Дисперсионная зависимость частот $\Omega_{\pm}(k, \varepsilon, C_C, C_T)$ исследуемых коллективных возбуждений в неидеальной решетке 1D микрорезонаторов

Выполненное в работе изучение зависимости параметров спектра элементарных возбуждений бинарной 1D решетки связанных микрорезонаторов, показывает, что в результате наличия структурных дефектов и упругих деформаций можно добиться необходимого изменения энергетической структуры электромагнитных возбуждений исследуемой системы микропор и, следовательно, оптических ее свойств, обусловленных перестройкой электромагнитного спектра. Представленные результаты численного моделирования позволяют расширить возможности создания нового класса функциональных материалов – поляритонных кристаллических систем (цепочек микропор, содержащих квантовые точки), позволяющих контролировать распространение электромагнитных возбуждений в таких композитных структурах, находящихся под внешним воздействием.

Список публикаций:

[1] Займан Дж. Модели беспорядка. М.: Мир. 1982. 592с.

[2] Romyantsev V.V., Fedorov S.A., Gumennyk K.V., Sychanova M.V., Kavokin A.V. // Nature. Scientific Reports. 2014. № 4. P. 6945.

[3] Romyantsev V.V., Fedorov S.A., Gumennyk K.V., Gurov D.A., Kavokin A.V. // Superlattices and Microstructures. 2018. № 120. P. 642.

Вихревые решетки поверхностных плазмон-поляритонов на границе раздела металл-диэлектрик

Перескоков Владислав Сергеевич

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

Дзедолик И. В., д.ф.-м.н.

pereskokow@gmail.com

Генерация и управление плазмон-поляритонными волнами привлекают все большее внимание исследователей по всему миру в связи с перспективой создания устройств плазмонной нано-оптики [1-3]. Линейные и нелинейные плазмон-поляритонные волны распространяются по границе раздела диэлектрика и металла в виде поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) [1]. В результате относительно большой величины эффективного показателя преломления на границе раздела диэлектрика и металла происходит уменьшение длины волны ППП по сравнению с длиной оптической волны той же частоты в свободном пространстве. При этом возбужденные ППП локализуются вблизи границы раздела сред и распространяются по поверхности на расстояния порядка сотен длин волн.

Цель работы – исследовать процесс формирования мод ППП на поверхности металлического слоя, последующего отражения ППП от границы неоднородности в металлическом слое и возникновения плазмонных вихрей при интерференции ППП. Исследовать влияние формы границы неоднородности на распределение вихрей в интерференционном поле поверхностных плазмон-поляритонов.

Нормальная к границе раздела сред компонента электрического поля ППП в точке (x, y) при интерференции падающих и отраженных ППП на поверхности металла имеет вид

$$\epsilon E_{zM} = A_z \left[\exp(i\phi_{TM}) + \exp(i\phi_E^-) + \exp(i\phi_E^+) \right] \quad (1)$$

где $A_z = A e^{-\alpha_0 z} \epsilon_0^{-1} [\epsilon_0 \epsilon_M / (\epsilon_0 + \epsilon_M)]^{1/2}$, $A = const$, $\alpha_0 = (\beta_M^2 - \omega^2 \epsilon_0 / c^2)^{1/2}$ - поперечный декремент моды в диэлектрической среде с ϵ_0 , $\beta_M = \frac{\omega}{c} (\epsilon_M \epsilon_0)^{1/2} (\epsilon_M + \epsilon_0)^{-1/2}$ - постоянная распространения, $\phi_{TM} = \beta_M Y - \omega t$, $\phi_E^\pm = \beta_M [x \sin(\pm \theta) - Y \cos \theta] - \omega t$, $Y = y + y_m$. Распределение нормальной компоненты электрического поля $E_{zM} = [\text{Re}(E_{zM})^2 + \text{Im}(E_{zM})^2]^{1/2}$ при интерференции ППП в рассматриваемом случае в фиксированный момент времени t представлено на рис. 1.

Распространяющиеся по поверхности металла ППП, и рассеянные на границе неоднородности в металлическом слое ППП, интерферируют. При интерференции падающих и рассеянных ППП возникают точки сингулярности, в которых образуются вихри с винтовой дислокацией фазы.

Неоднородность в металлическом слое можно создать с помощью внешнего электрического поля, варьируя потенциал металлических зондов, расположенных над поверхностью металла [4]. Изменяя радиус кривизны границы неоднородности диэлектрической проницаемости поверхности металла с помощью внешнего электростатического поля можно управлять топологией интерференционного поля ППП.

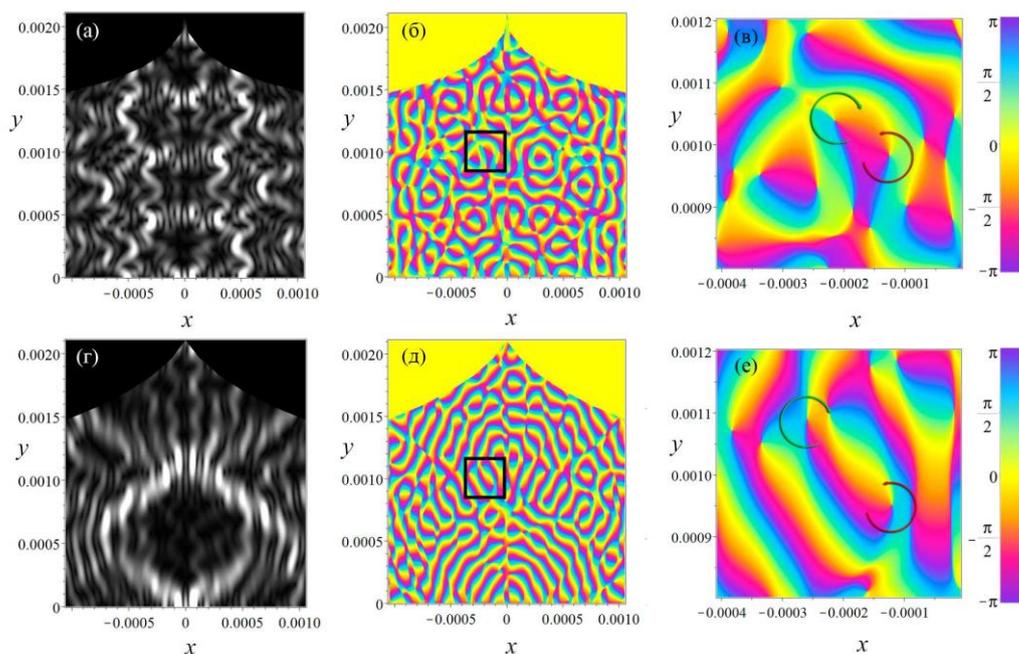


рис. 1. Распределение компоненты электрического вектора E_z на поверхности металла при интерференции ППП, падающих на неоднородность и отраженных от границы неоднородности в металлическом слое в форме ласточкиного хвоста: (а) интерференционные полосы амплитуды, (б) распределение фазы при радиусе кривизны границы $r_0 = 5 \mu\text{m}$, (в) вихри ППП с топологическим зарядом $\ell_M = +1$ (красная стрелка, против часовой) и $\ell_M = -1$ (зеленая стрелка, по часовой) в выделенной области, $r_0 = 5 \mu\text{m}$, (г) интерференционные полосы амплитуды, (д) распределение фазы при радиусе кривизны границы $r_0 = 10 \mu\text{m}$, (е) вихри ППП в выделенной области, $r_0 = 10 \mu\text{m}$; значения по осям (x, y) отложены в микрометрах.

На основе управления вихревой решеткой ППП и детектирования ближнего поля вихрей можно реализовать плазмонные логические элементы «И» и «НЕ» для процессоров, работающих на оптических частотах. Конструирование и реализация устройств плазмонной техники: генераторов ППП на основе спазеров [2,5], фильтров и логических элементов [3,4] для оптических процессоров, позволит создать компьютеры, работающие на оптических частотах.

Список публикаций:

- [1] Maier S. A. *Plasmonics: Fundamental and Applications*, New York: Springer Science+Bussines Media, 2007.
- [2] Stockman M. I. // *Optics Express*. 2011. V. 19. No. 22. P. 22029.
- [3] Shulika O. V., Sukhoivanov I. A., *Contemporary Optoelectronics: Materials, Metamaterials and Device Applications*. Dordrecht: Springer Science+Bussines Media, 2016.
- [4] Dzedolik I. V., Pereskokov V. S. // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2017. V. 30. No. 2. P. 203.
- [5] Gubin M. Yu., Shesterikov A. V., Karpov S. N., Prokhorov A. V. // *Physical Review B*. 2018. V. 97. 085431.

Синтез пленочных структур оксид меди-sp1 углерод для создания газовых сенсоров

Петров Илья Александрович

Смирнов Александр Вячеславович, Царева Екатерина Руслановна, Васильев Алексей Иванович, Столбов Даниил Олегович

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

Кочаков Валерий Данилович, к.т.н.

fizteh21@yandex.ru

Перспективным представляется поиск новых наноструктурированных широкозонных полупроводниковых пленок для газовой сенсорики. В 1962 году Seiyama et al. обнаружив изменение электропроводности тонкой пленки ZnO при наличии в воздухе химически активных газов [1]. С тех пор в литературе сообщалось о различных типах чувствительных материалов: от SnO₂, ZnO, TiO₂, WO₃, In₂O₃ до CuO, Fe₂O₃, NiO и Y₂O₃ [2]. В последнее время CuO используется для улучшения реакции газовых датчиков на обычные оксиды металлов, такие как SnO₂, ZnO и т.д. Пригодность CuO в качестве однородного

чувствительного материала является одной из текущих проблем исследований. CuO является полупроводниковым материалом p-типа. Использование CuO в качестве гомогенной чувствительной пленки для определения CO₂ впервые описано в [3]. В работе [4] на Si-подложках магнетронным распылением получены наноструктуры на основе CuO исследованы их электрические характеристики в парах метанола (CH₃OH) и этанола (C₂H₅OH). Время отклика полученных сенсоров (при воздействии метанолом) при концентрации 500 ppm составляет 375с, время восстановления 125 с.). Согласно исследованию [5] дегидрирование CH₃OH / C₂H₅OH приводит к образованию H / H₂O и CO / CO₂. $\hbar\omega$

Методика изготовления образцов

На стеклянные и кремниевые подложки n-типа проводимости методом терморезистивного испарения в вакууме на вакуумной установке «УВР-3М» при давлении порядка 10⁻² Па осаждались пленки меди, затем в печи МИМП-ВМ образцы отжигались в атмосфере воздуха при различных температурах и времени обжига. Во второй серии на подложки производилось напыление пленок меди и затем ионно-плазменным синтезом осаждались пленки линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) [6]. Определена оптическая ширина запрещенной зоны был по графику зависимости $(\alpha\hbar\omega)^2$ от $\hbar\omega$, где α – коэффициент поглощения, а $\hbar\omega$ – энергия фотона оксида меди разной стехиометрии. CuO и CuO/ЛЦУ, полученный термообработкой 350⁰C-20 мин. 2,02 и 2,16 эВ; Cu₂O и Cu₂O/ЛЦУ, полученный термообработкой 250⁰C-20 мин. 2,35 и 2,45 эВ. Для измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) на воздухе и в атмосфере паров метанола и этанола использовался цифровой программируемый мультиметр Kethley и закрытый объем, который насыщался парами спирта. Ниже представлены результаты измерений ВАХ и чувствительность на пары метанола и этанола при комнатной температуре (приведены в таблице). Под чувствительностью принимается величина $S=[(R_{\text{gas}} - R_{\text{air}})/R_{\text{air}}] \times 100\%$. Синтезированные гетероконтакты n-Si/p-CuO реагируют в большей степени на метанол, чем на этанол. Структуры n-Si/p-CuO+ЛЦУ практически не реагировали на пары этанола, при этом электрическое сопротивление изменялось в парах метилового спирта, что позволяет дифференцировать наличие того или иного спирта. Время восстановления составило менее 10 сек.

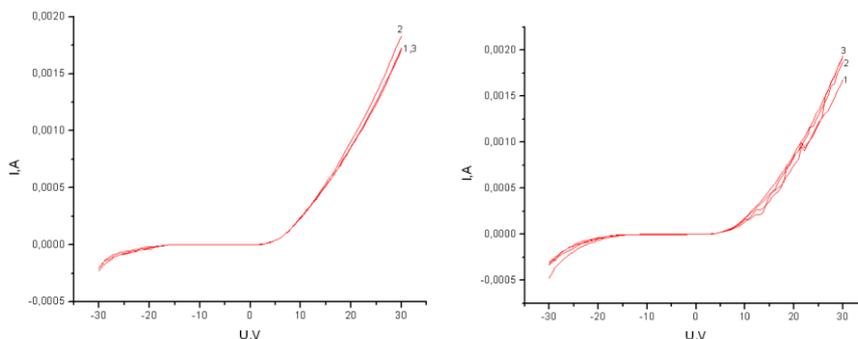


рис. 1 (a) – ВАХ n-Si/CuO на воздухе (1); (2), (3)- в парах C₃H₇OH 7500 и 15000 ppm ; (b) – ВАХ n-Si/CuO на воздухе (1), (2) – (3)

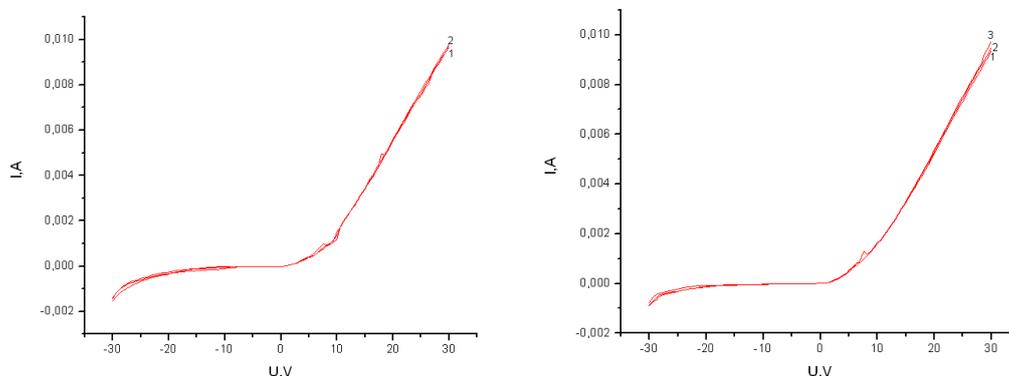


рис. 2 (a) – ВАХ n-Si/CuO на воздухе (1); (2), (3)- в парах C₃H₇OH 7500 и 15000 ppm ; (b) – ВАХ n-Si/CuO на воздухе (1), (2) – (3)

Таблица - 1

Образец	Концентрация паров CH_3OH , ppm	Концентрация паров $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Чувствительность к парам метилового спирта, %	Чувствительность к парам этилового спирта, %
CuO	7500	870	9	6
CuO	15000	2600	16	5
CuO/ЛЦУ	7500	870	1	1
CuO/ЛЦУ	15000	2600	4	1

Список публикаций

- [1] T. Seiyama, A. Kato, K. Fujiishi and M. Nagatani, "A new detector for gaseous components using semiconducting thin films", *Anal. Chem.*, Vol. 34, 1962, pp. 1502–1503.
- [2] G. Korotcenkov, "Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?", *Mater. Sci. Eng. B*, Vol. 139, 2007, pp. 1–23
- [3] T. Ishihara, M. Higuchi, T. Takagi, M. Ito, H. Nishiguchi and Y. Takita, "Preparation of CuO thin films on porous BaTiO₃ and application as a CO₂ sensor", *J. Mater. Chem.*, Vol. 8(9) 1998, pp. 2037–2042.
- [4] Mitesh Parmar and K. Rajanna, *Copper (II) Oxide Thin Film for Methanol and Ethanol Sensing. INTERNATIONAL JOURNAL ON SMART SENSING AND INTELLIGENT SYSTEMS, VOL. 4, NO. 4, DECEMBER 2011. pp. 710-725*
- [5] E. M. Cordi, P. J. O'Neill and J. L. Falconer, "Transient oxidation of volatile organic compounds on a CuO/Al₂O₃ catalyst", *Appl. Catal. B*, Vol. 14, 1997, pp. 23–36
- [6] Патент Российской Федерации на изобретение. Регномер 2012122906 от 04.06.2012. «Способ получения металлосодержащего углеродного наноматериала». Авторы Смирнов А.В., Васильев А.И., Кочаков В.Д., Бобыль А.В., Теруков Е.И.

Кристаллохимические условия выращивания монокристаллов тригональных ферроборатов $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$

Петрова Светлана Дмитриевна

Гудим Ирина Анатольевна

Сибирский федеральный университет

Гудим Ирина Анатольевна к.ф.-м.н.

i02060517@yandex.ru

В последнее годы активно исследуются физические свойства мультиферроиков семейства ферроборатов $\text{ReFe}_3(\text{BO}_3)_4$, где $\text{Re} = \text{La} - \text{Lu}$ [1]. Это связано с наблюдением в них большого магнитоэлектрического эффекта, позволяющего управлять диэлектрическими свойствами таких веществ внешним магнитным полем. Среди исследованных редкоземельных ферроборатов соединение $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ выделяется тем, что в магнитоупорядоченной фазе имеет спонтанную электрическую поляризацию и имеет максимальную величину электрической поляризации (около 500 мкКл/м²) возникающей в магнитных полях до 60 кЭ [2,3].

Специфической особенностью строения этих кристаллов являются геликоидальные цепочки октаэдров FeO_6 . В кристалле могут присутствовать цепи, закрученные как влево, так и вправо. Соотношение количества правого и левого энантиотропов существенно влияет на свойства выращенных кристаллов [4].

Для выращивания кристаллов использовался раствор-расплав на основе вольфрамата лития:

78% вес. $(\text{Li}_2\text{WO}_4 + 3\text{B}_2\text{O}_3 + 0,4\text{Sm}_2\text{O}_3) + 22\%$ вес. $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$.

Раствор-расплав массой 150 г готовился при $T=1000^\circ\text{C}$ в платиновом цилиндрическом тигле ($D=100\text{мм}$, $H=90\text{мм}$) сплавлением смеси окислов $[\text{Li}_2\text{O}, \text{WO}_3, \text{B}_2\text{O}_3, \text{Sm}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3]$ в соотношении, определяемом выше приведённой формулой. Тигель устанавливался в кристаллизационную печь, где температура уменьшалась от дна тигля с вертикальным градиентом 1-2^oС/см. Раствор-расплав гомогенизировался при $T=1000^\circ\text{C}$ за 24 часа. Для поддержания однородности раствор-расплав перемешивался.

Области стабильности кристаллов $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$, а также соотношения компонентов растворов-расплавов были определены методом прямого фазового зондирования. Температура насыщения определялась с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$ с помощью пробных кристаллов, которые предварительно получали из того же раствора-расплава в условиях спонтанного зарождения на вращающийся платиновый кольцевой держатель. Ширина метастабильной зоны $\Delta T_{\text{мет}} \approx 12^\circ\text{C}$ определялась как максимальное переохлаждение, при котором не было зарождения за 20- часовую период времени.

Для получения затравок кристаллов $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ использовался метод ограничения числа затравок зарождением в тонком слое раствора-расплава. Для этого после определения параметров кристаллизации в раствор-расплав при температуре гомогенизации погружаем стержень и включаем вращение со скоростью 40 об/мин. Через 2 часа температура раствора-расплава понижается на 5-7⁰С ниже температуры насыщения. Еще через 2 часа приподнимаем стержень в более холодную зону камеры печи (температура на 10-15⁰С ниже температуры насыщения). При этом в тонком слое раствора-расплава, оставшемся на стержне, происходит образование небольшого числа зародышей. Их число невелико, так как в малом объеме оставшегося раствора-расплава концентрация кристаллообразующих окислов резко падает. Зарождение проходит в течение 1 часа. Затем стержень вновь загружается в раствор-расплав и затравки разрастаются в течение суток. Затем стержень извлекается из печи. Остатки раствора-расплава удаляются кипячением в 20% водном растворе азотной кислоты. Выросшие кристаллы-затравки снимаются со стержня и используются в дальнейшем для выращивания крупных кристаллов.

После этого 4 визуально качественных затравки закреплялись на платиновом стержневом держателе. Держатель с затравочными кристаллами подвешивался над раствором-расплавом при температуре гомогенизации. Держатель погружался в раствор-расплав при температуре $T=T_{\text{нас}}+7^{\circ}\text{C}$ и включалось реверсивное с периодом 1 мин вращение со скоростью $\omega=30$ об/мин. Через 15 мин температуру понижали до $T=T_{\text{нас}}-7^{\circ}\text{C}$. Далее температура раствора-расплава снижалась с нарастающим темпом 1-3⁰С в сутки, так чтобы скорость роста кристаллов не превышала 0,5 мм в сутки. Рост продолжался 9-10 дней. После завершения процесса роста кольцо приподнималось над поверхностью раствора-расплава и охлаждалось до комнатной температуры со скоростью не более 100⁰С/час. В результате выросли кристаллы размером 5-7 мм.

Для выращенных кристаллов были измерены соотношения левых и правых энантиомеров.

Работа была частично финансово поддержана грантами РФФИ № № 17-52-45091 ИНД_а, № 18-42-240011 р_а и № 18-02-00696.

Список публикаций:

- [1] А.М. Кадомцева, Ю.Ф. Попов, Г.Н. Воробьев, А.П. Пятаков, С.С. Кротов, К.И. Камилов, В.Ю. Иванов, А.А. Мухин, А.К. Звездин, Ф.М. Кузьменко, Л.Н. Безматерных, И.А. Гудим, В.Л. Темеров, ФНТ 36, 640 (2010) [Low Temp. Phys. 36, 511 (2010)].
- [2] А.А. Мухин, Г.П. Воробьев, В.Ю. Иванов, А.М. Кадомцева, А.С. Наружная, А.М. Кузьменко, Ю.Ф. Попов, Л.Н. Безматерных, И.А. Гудим, Письма в ЖЭТФ 93, 305 (2011) [JETP Lett. 93, 275 (2011)].
- [3] Ю.Ф. Попов, А.П. Пятаков, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьев, А.К. Звездин, А.А. Мухин, В.Ю. Иванов, И.А. Гудим, ЖЭТФ 138, 226 (2010) [JETP 111, 199 (2010)].
- [4] I.A. Gudim, E.V. Eremin, V.L. Temerov, Journal of Crystal Growth 312 (2010) 2427–2430.

Рентгенофазовый анализ пленок In_2S_3 после плазменной обработки

Пипкова Анна Сергеевна

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.

anna_pipkova@mail.ru

Пленки сульфида индия (In_2S_3) являются перспективными материалами для разработки солнечных бескадмиевых элементов. Целью данной работы являлось изучение пленок In_2S_3 после модификации поверхности в плазме. Исследования проводились на образцах сульфида индия, полученных методом термического испарения на стеклянных подложках при вариации температур подложки ($T_s=200^{\circ}\text{C}-350^{\circ}\text{C}$) и отжига ($T_a=200^{\circ}\text{C}-300^{\circ}\text{C}$). Рассмотрим влияние плазменной обработки на изменение морфологии поверхности примере двух типичных образцов: In_2S_3 без предварительного отжига ($T_s=200^{\circ}\text{C}$, аморфная пленка) и In_2S_3 после предварительного отжига ($T_s=300^{\circ}\text{C}$, $T_a=250^{\circ}\text{C}$, поликристаллическая пленка). Пленки были подвержены обработке в аргоновой плазме. Обработка образцов проводилась в следующих режимах: энергия ионов ~25 эВ, $t = 30$ с и энергия ионов 200 эВ, $t=30$ с. Анализ морфологии пленок In_2S_3 показал, что в результате плазменной обработки ионами малых энергий 25 эВ на поверхности пленок появляется ансамбль наноструктур (нанокнопки). При увеличении энергии ионов аргона до 200 эВ происходит увеличение размеров выступов. Независимо от предварительной обработки пленок, общие изменения морфологии поверхности при обработке ионами с энергией 25 и 200 эВ являются одинаковыми. На рис.1 представлена морфология пленок In_2S_3 в исходном состоянии (рис.1, а, с) и после обработки в аргоновой плазме при энергии ионов 200 эВ (рис.1, б, d).

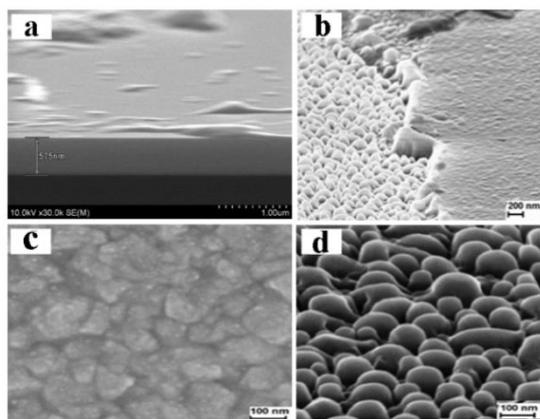


рис.1. Морфология поверхности пленок In_2S_3 с аморфной (a, b) и поликристаллической (c, d) структурой: a, c - исходное состояние; b, d - после плазменной обработки

Для анализа природы возникающих наночастиц был проведен рентгенофазовый анализ. Рентгеноструктурный анализ образцов In_2S_3 был проведен с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'tra (излучение $\text{Cu K}\alpha$, $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$, диапазон углов $15^\circ \leq 2\theta \leq 45^\circ$, шаг 0.02° , время экспозиции 1 с). На рис. 2 представлены рентгеновские дифрактограммы пленок после плазменной обработки. Нижняя кривая соответствует пленке In_2S_3 в аморфном состоянии после обработки в аргоновой плазме, верхняя – поликристаллическому состоянию после обработки в аргоновой плазме.

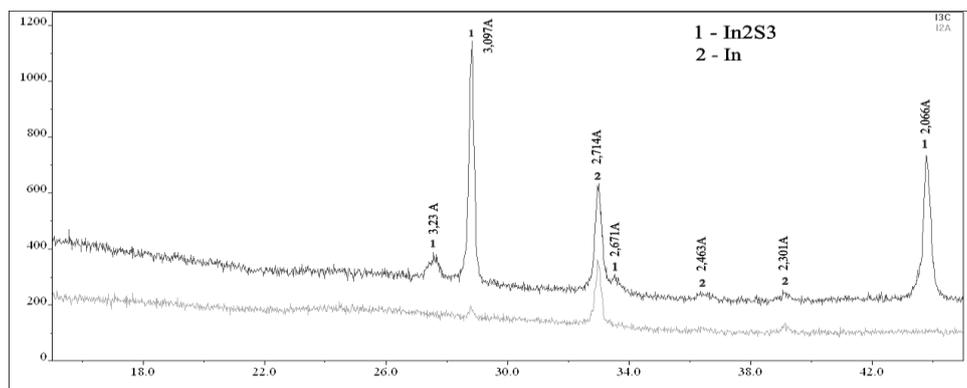


рис.2. Рентгеновские дифрактограммы пленок In_2S_3 после плазменной обработки

Анализируя нижнюю кривую, можно говорить как о частичной кристаллизации аморфной структуры, так и о появлении рефлексов от фазы чистого индия. На верхней кривой регистрируются пики от кубической фазы In_2S_3 и фазы индия. На исходных образцах индий не регистрировался.

Таким образом, рентгенофазовый анализ показал, что в результате плазменной обработки на поверхности пленок In_2S_3 появляется фаза индия, что подтверждается дополнительно методами комбинационного рассеяния и энергодисперсионного анализа. Нами была предложена модель появления индиевых капель на поверхности пленки. При распылении пленки In_2S_3 в аргоновой плазме появляются молекулы In_2S и S_2 . Энергии иона аргона, которую он может передать при столкновении молекулам In_2S и S_2 , достаточно, чтобы они диссоциировали на атомы индия и серы. В результате сера улетучивается, а индий осаждается на поверхность пленки в форме капель. В работе проводится анализ размеров областей когерентного рассеяния в сравнении с данными электронной микроскопии.

Автор выражает признательность И.И. Амирову, С.В. Васильеву за помощь в проведении экспериментальных работ. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Диагностика микро- и наноструктур».

Список публикаций:

- [1] Пипкова А.С. // Сборник материалов VI Научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых, 2018, ЛЭТИ, Санкт-Петербург – С.614-617
- [2] Пипкова А.С. // Сборник материалов молодежной научно-практической конференции «Путь в науку. Физика», 2018, ЯрГУ, Ярославль, С.21-22
- [3] Пипкова А. С., Зимин С. П., Мазалецкий Л. А. // Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки в 21 веке», 2018, ЯрГУ, С. 136-137
- [4] Пипкова А.С. // Сборник материалов VIII международной молодежной научной конференции «Нanomатериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы», 2018, СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, С. 208-212

Влияние допирования на электронные свойства графеновых нанолент

Пономарев Владислав Валериевич

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

Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.

pon_slav@mail.ru

Все электронные устройства в процессе своего развития имеют тенденцию к миниатюризации, соответственно, приходится искать новые компактные материалы нанoeлектроники. Графеновые наноленты представляют собой вполне подходящий материал для изготовления транзисторов, являющихся стандартными узлами всех микросхем. При этом транзисторы на их основе могут с успехом работать даже при комнатной температуре, в то время как предшествующие разработки функционировали только при низких температурах в силу своей большей толщины. Поскольку свойства графеновых нанолент сильно зависят от их геометрических параметров (толщина, ширина, типа краев zigzag или armchair), химические и структурные модификации нанолент могут резко изменить их производительность

В данной работе с помощью квантово-химических методов были детально исследованы электронные свойства нанолент типа зигзаг (ZGNR) допированные атомами азота.

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-Burke-Ernzerhof (PBE). Энергия обрезания плоских волн для самосогласованного расчета составляла $\epsilon_0 R_y$. Для интегрирования линейной зоны Бриллюэна была использована сетка $9 \times 9 \times 1$ в обратном пространстве. Для вычисления электронной структуры монослоя использовалась изолированная плоская структура. Во избежание взаимодействия между слоями расстояние между ними устанавливалось равным 15 \AA .

Рассчитаны зонная структура и плотность состояний графеновых нанолент типа зигзаг, допированных атомами азота.

Магнитоупругие эффекты в тригональных слабых ферромагнетиках

Прилепский Дмитрий Юрьевич

Селезнева Кира Андреевна, Стругацкий Марк Борисович

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

Физико-технический институт

Стругацкий Марк Борисович, д.ф.-м.н.

rockaroller@mail.ru

Монокристаллы тригональных легкоплоскостных антиферромагнетиков со слабым ферромагнетизмом обладают рядом особых свойств, не присущих другим материалам. Речь, в частности, идет о наблюдаемых в них магнитоакустических эффектах. В относящемся к этому классу борате железа, FeBO_3 , обнаружено и исследовано магнитное линейное двулучепреломление поперечного звука [1] - акустический аналог оптического эффекта Коттона-Мутона. Суть обнаруженного эффекта состоит в том, что распространяющаяся линейно поляризованная звуковая волна, взаимодействуя с магнитной подсистемой, преобразуется в эллиптическую на выходе из кристалла. Причиной двойного преломления акустической волны является зависимость эффективных упругих констант кристалла, определяющих скорость звука, от приложенного магнитного поля [2].

Одна из целей настоящей работы состояла в теоретическом исследовании влияния магнитной подсистемы кристалла бората железа и внешнего магнитного поля на акустические волны различных поляризаций, распространяющиеся в образце. Исследован, в частности, характер трансформации в этих условиях звука с круговой и эллиптической поляризацией. Определены параметры, существенные для такой трансформации. Практический результат исследования заключается в принципиальной возможности создания на основе монокристаллов бората железа устройств нового поколения - магнитоакустических преобразователей, поляризаторов звука, датчиков магнитного поля и давления.

Помимо прочего, борат железа интересен с точки зрения создания ячеек магнитной памяти, что обусловило разработку технологии и синтез тонкой магнитной пленки бората железа на изоструктурной диамагнитной подложке бората галлия GaBO_3 [3]. В работе [4] выполнено исследование методом антиферромагнитного резонанса (АФМР) синтезированных магнитных пленок, а также монокристаллических

образцов бората железа. Экспериментально обнаружено, что при комнатной температуре величина изотропной энергетической щели низкочастотной ветви АФМР исследуемой пленки значительно превосходит ту же величину для массивного монокристалла [4]. Еще одна задача нашей работы состояла в поисках причин такого расхождения. Его удалось интерпретировать при учете магнитоупругого взаимодействия и механических напряжений, возникающих в пленке из-за рассогласования параметров кристаллических решеток пленки и подложки. В результате теоретического анализа определена зависимость изотропной щели от величины механического напряжения в пленке. Сравнение расчетной величины щели с экспериментально найденным значением (3.37кЭ^2 при 300 К) позволило определить эффективное давление в пленке, вызываемое ее контактом с подложкой $-2.19 \cdot 10^8$ дин/см². Рассчитана также величина щели для массивного монокристалла бората железа (без учета давления). Она оказалась равной 0.42кЭ^2 при 300 К, что находится в удовлетворительном согласии с экспериментально найденным значением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект «мол_а» № 18-32-00210.

Список публикаций:

[6] М.Б. Стругацкий, К.М. Скибинский. - *Известия РАН. Серия физическая*, 2010. - Т. 74, № 10, - С.1462–1464.

[7] Туров Е.А., Колчанов А.В., Меньшенин В.В. и др. *Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков*. - М.: Физматлит, 2001. - 560с.

[8] С.В. Ягунов, М.Б. Стругацкий, Ю.А. Могиленец, К.А. Селезнева, *Способ выращивания монокристаллической пленки FeVO₃ на диамантной подложке*. Пат. № 2616668 от 18.04.2017 г..

[9] Yagupov S., Strugatsky M., Seleznyova K., Mogilenec Yu., Milyukova E., Maksimova E., Nauhatsky I., Drovosekov A., Kreines N., Kliava J. – *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2016. – V. 417. – P. 338 – 343.

Механизм образования химической связи и электронные свойства молекулы L-лизина

Руденская Елизавета Александровна

Головки Ольга Владимировна, Оболонская Оксана Сергеевна

Кемеровский государственный университет

Оболонская Оксана Сергеевна, к.ф.-м.н.

lizaveta23071999@mail.ru

Среди 20 основных аминокислот белков лизин является аминокислотой содержащей в алифатическом радикале дополнительную аминогруппу. В живых организмах встречается в виде L-изомера. L-лизин – незаменимая аминокислота, поскольку организм не может его синтезировать.

В данной работе для исследования электронной структуры молекулы L-лизина использовался комплекс программ CRYSTAL17 [1]. Расчеты были выполнены методом DFT с гибридным функционалом B3LYP [2, 3] и базисными наборами из [4]. Геометрия молекулы получена путем минимизации полной энергии и равнодействующих сил. Полученная структура молекулы L-лизина в свободном состоянии совпадает с общепринятой.

Электронная структура и химическая связь в молекуле L-лизина ранее не изучалась. Для анализа электронной структуры мы использовали карты электронных, разностных плотностей в различных плоскостях. (рис.1). На картах разностной плотности положительным значениям отвечают сплошные линии, отрицательным – пунктирные. На рис. 1 приведены карты электронных (слева) и разностных (справа) плотностей для функциональных групп молекулы L-лизина в различных плоскостях. На картах электронной плотности прослеживаются общие контурные линии, которые включают все атомы, лежащие в данной плоскости.

При исследовании механизма образования химической связи в функциональных группах молекулы L-лизина были вычислены эффективные заряды атомов. Так, эффективный заряд атома азота N3, атомов водорода H20 и H21, входящих в состав аминогруппы молекулы L-лизина, равны, соответственно, $-0.555|e|$, $+0.246|e|$, $+0.240|e|$, тогда как заселенности перекрытия $P_{N3-H20} = 0.342|e|$ и $P_{N3-H21} = 0.344|e|$ (e - заряд электрона).

На карте разностной (справа) плотности H20-N3-H21 молекулы L-лизина (рис 1 (в центре)) видно, что заряд вытекает из внешних областей атомов азота и водорода, и натекает на линии связи N3-H20 и N3-H21, образуя одновалентную группу - NH₂. Для аминогруппы, входящей в состав радикала молекулы L-лизина, образование химической связи происходит аналогично ($Q_{H22} = +0.229|e|$, $Q_{H23} = +0.231|e|$, $P_{N4-H22} = 0.342|e|$ и $P_{N4-H23} = 0.337|e|$). В молекуле L-лизина эффективный заряд атома углерода C10 принимает положительное значение равное $+0.500|e|$, это объясняется тем, что карбоксильная группа аминокислот обладает акцепторным эффектом и оттягивает на себя электронную плотность с атома азота аминогруппы. Заряды атомов в молекуле L-лизина $Q_{H24} = +0.323|e|$, $Q_{O1} = -0.473|e|$ и $Q_{O2} = -0.432|e|$, при этом заселенность

перекрывания между атомами кислорода O2 и углерода C10 ($P_{O_2-C10} = 0,628|e|$) превышает $P_{O1-C10} = 0,259|e|$, а P_{O1-H24} принимает значение $0,271|e|$.

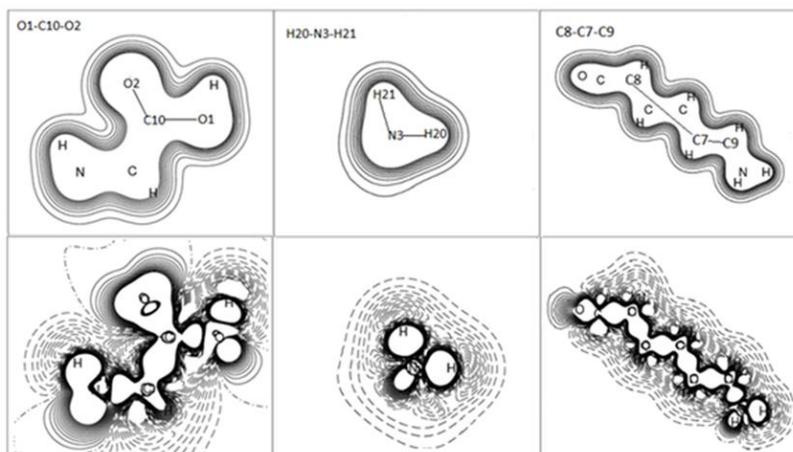


рис. 1. Карты электронной (сверху) и разностной (снизу) плотностей молекулы L-лизина в плоскостях O1-C10-O2 (слева), H20-N3-H21 (в центре), C8-C7-C9 (справа).

В молекуле L-аргинина соответствующие заряды группы COOH: $Q_{H22} = +0,329|e|$, $Q_{O1} = -0,471|e|$ и $Q_{O2} = -0,429|e|$, заселенности перекрывания $P_{O1-H22} = 0,277|e|$, $P_{O1-C11} = 0,287|e|$ и $P_{O2-C11} = 0,617|e|$. На рис (справа) видно, что на линиях связи С-О и О-Н наблюдается натекание заряда, что характерно для ковалентной связи. Таким образом, для карбоксильной группы аминокислот показано образование σ_{p-p} связи между атомами углерода и кислорода.

Предложенный расчетный метод DFT с обменно-корреляционным функционалом B3LYP и базами [5] хорошо описывает исследуемое соединение. Впервые была изучена электронная структура в молекуле L-лизина. Рассчитаны эффективные заряды атомов и заселенности перекрывания их с ближайшими соседями, а также карты распределения электронных и разностных плотностей для функциональных групп молекулы L-лизина в различных плоскостях. Показано, что в молекуле аминокислоты эффективный заряд атома углерода группы COOH принимает положительное значение, из-за акцепторного эффекта карбоксильной группы, которая оттягивает на себя электронную плотность с атома азота аминогруппы. Рассмотрен механизм образования σ_{p-p} связи между атомами углерода и кислорода для карбоксильной группы аминокислоты.

Таким образом, результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы для исследования физико-химических свойств комплексов, содержащих данную аминокислоту.

Список публикаций:

- [1] CRYSTAL17 / User's Manual. April 20, 2018 [Электронный ресурс]. / R. Dovesi, V. R. Saunders, R. Roetti et al. – Torino : University of Torino, 2018 – 461 p. – URL : <http://www.crystal.unito.it/manuals/crystal17.pdf> (Дата обращения: 22.10.2018).
- [2] Becke, A. D. Density functional thermochemistry. III. The role of exact exchange // J.Chem. Phys. – 1993. – V. 98. – N 7. – P. 5648 –5652.
- [3] Lee, C. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density / C. Lee, W. Yang, R. G. Parr // Phys. Rev. B. – 1988. – V. 37. – N 2. – P. 785–789.
- [4] CRYSTAL Basis Sets Library.
- [5] Santosh Kumar. Spectroscopic studies of L-arginine molecule / Santosh Kumar, S B Rai // Indian Journal of Pure and Applied Physics. – 2010. – V. 48. – P. 251-255.

Влияние дефектов структуры на дисперсионные характеристики поляритонной 2D решетки туннельно связанных микропор, содержащих квантовые точки

Рыбалка Алексей Евгеньевич

Донецкий национальный университет

Румянцев Владимир Васильевич, д.ф.-м.н.

rybalka96@inbox.ru

Введение. Важным свойством фотонных структур с запрещенной зоной, рассмотренным в работе [1], является возможность получения так называемого “медленного” света. Особую актуальность это явление приобретает в связи с перспективой его применения при разработке устройств квантовой обработки оптической информации. В частности, эффективное уменьшение групповой скорости продемонстрировано в связанных

волноводных оптических резонаторах [2,3], различных типах твердотельных многослойных полупроводниковых структур [4]. Ключевую роль в уменьшении групповой скорости в подобных системах играют так называемые темные и светлые поляритоны, представляющие собой линейную суперпозицию фотонных состояний внешнего электромагнитного поля и макроскопических (когерентных) возмущений двухуровневой атомарной среды.

В настоящее время интенсивно развивается фотоника несовершенных структур. В частности, в работе [5] исследована дисперсия электромагнитных возбуждений в неидеальной решетке связанных микропор (микрорезонаторов), содержащих квантовые точки. Проведенные в рамках неидеальной фотоники исследования показали, что введением в исследуемую систему определенных дефектов или в результате управляемого внешнего воздействия можно добиться необходимого изменения энергетического спектра элементарных электромагнитных возбуждений и оптических свойств материала, обусловленных перестройкой исследуемой структуры.

Цель данной работы – исходя из представлений о поляритонных структурах [5], исследовать зависимость запрещенной фотонной зоны неидеальной топологически упорядоченной системы пор – туннельно связанных микрорезонаторов от концентрации дефектов структуры исследуемого массива.

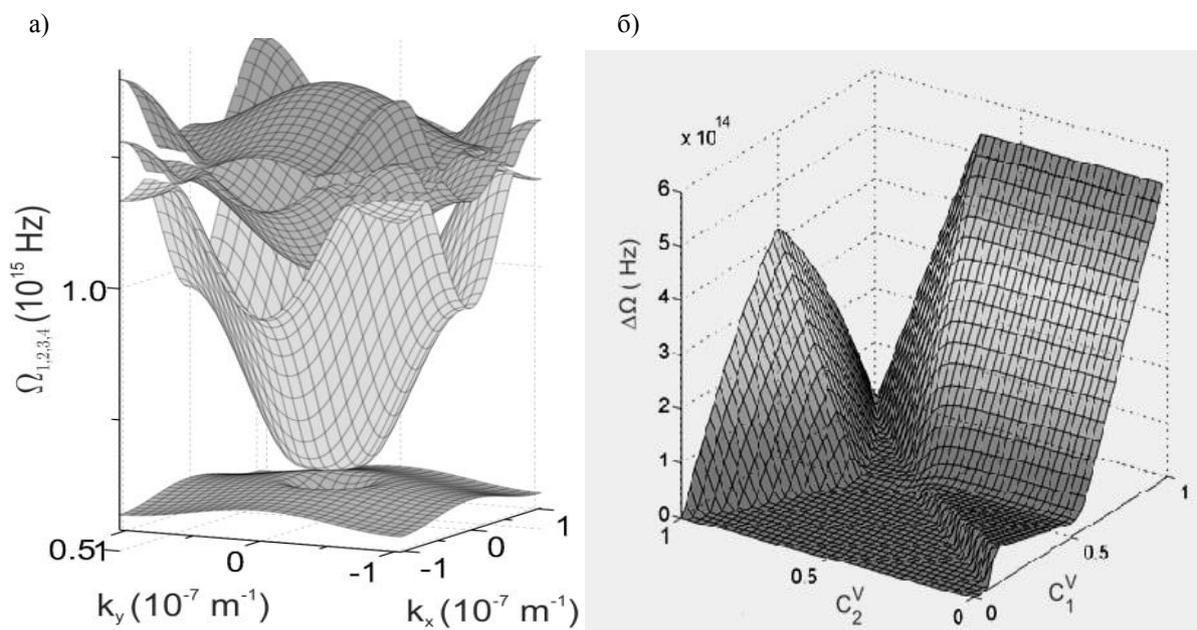


рис.1. а) концентрационная зависимость дисперсии $\Omega_{1,2,3,4}(k_x, k_y, C_1^V, C_2^V)$ поляритонов в неидеальной 2D решетке микропор для $C_1^V = 0.5$, $C_2^V = 0.25$; б) концентрационная зависимость $\Delta\Omega(C_1^V, C_2^V)$ запрещенной фотонной зоны неидеальной 2D решетки микропор между первой (нижайшей) дисперсионной поверхностью и следующей (см. рис.1а)

Результат. В рамках приближения виртуального кристалла [6] выполнено численное моделирование спектра электромагнитных возбуждений в неидеальной 2D решетке связанных микропор, содержащих квантовые точки (атомарная подсистема). На рис.1 представлены: (а) – закон дисперсии поляритонов $\Omega_{1,2,3,4}(k_x, k_y, C_1^V, C_2^V)$ в зависимости от концентрации C_1^V дефектов, как в атомарной подсистеме решетки, так и в резонаторной C_2^V ; (б) – концентрационная зависимость $\Delta\Omega(C_1^V, C_2^V)$ запрещенной фотонной зоны неидеальной 2D решетки микропор. Использованы модельные значения величин [5,7]. В качестве дефектов решетки микропор рассмотрены вакансии, их концентрация в первой и/или во второй подрешетках $C_{1(2)}^V$.

Заключение. В работе выполнено математическое моделирование зависимости величины запрещенной фотонной зоны неидеальной 2D решетки микропор от концентрации дефектов структуры. Показано, что в результате наличия структурных дефектов в квазидвумерном массиве можно добиться необходимого изменения энергетической структуры электромагнитных возбуждений и, следовательно, оптических свойств исследуемой системы, обусловленных перестройкой электромагнитного спектра. Этот вывод проиллюстрирован на конкретном примере 2D решетки микрорезонаторов, содержащих квантовые точки.

Список публикаций:

- [1] *Milonni P.W. // Fast Light, Slow Light and Left-Handed Light. Bristol: Institute of Physics Publishing. 2005.*
[2] *Yang Z.S. Stopping, storing, and releasing light in quantum-well Bragg structures/ Z.S. Yang, N.H. Kwong, R. Binder and A.L. Smirl // J. Opt. Soc. Am. 2005. V. B 22. P. 2144.*
[3] *Gersen H. Real-Space Observation of Ultraslow Light in Photonic Crystal Waveguides / H. Gersen, T.J. Karle, R.J.P. Engelen, W. Bogaerts, J.P. Korterik N.F. van Hulst, T.F. Krauss and L. Kuipers // Phys. Rev. Lett. 2005. V. 94. P. 073903.*
[4] *Turukhin A.V. Observation of Ultraslow and Stored Light Pulses in a Solid / A.V. Turukhin, V.S. Sudarshanam, M.S. Shahriar, J.A. Musser, B.S. Ham and P.R. Hemmer // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 88. P. 023602.*
[5] *Rumyantsev V.V., Fedorov S.A., Gumennyk K.V., Gurov D.A., Kavokin A.V. Effects of elastic strain and structural defects on slow light modes in a one-dimensional array of microcavities // Superlattices and Microstructures. 2018. V. 120. P. 642-649.*
[6] *Займан Дж. Модели беспорядка. – М: Мир, 1982. 592 с.*
[7] *Rumyantsev V.V. Fedorov S.A., Gumennyk K.V., Sychanova M.V., Kavokin A.V. Exciton-like electromagnetic excitations in non-ideal microcavity supercrystals // Nature. Scientific Reports. 2014. №4. P. 6945.*

Особенности магнитных и гальваномагнитных свойств сплавов Гейслера

Co₂YSi (Y=Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni)

Семянникова Алена Александровна

Перевозчикова Юлия Александровна

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

Марченков Вячеслав Викторович, д.ф.-м.н.

Semiannikova@imp.uran.ru

Синтез и изучение физических свойств полуметаллических ферромагнетиков (ПМФ) и спиновых бесщелевых полупроводников (СБП) представляет большой интерес, поскольку в таких материалах можно реализовать 100% спиновую поляризацию носителей заряда при комнатной температуре, что может найти практическое применение в устройствах и приборах спинтроники. Известно, что многие сплавы Гейслера относятся к классу ПМФ и СБП [1], а в соединениях Co₂YSi (Y = Fe, Si) была обнаружена высокая поляризация по спину (см., напр., [2]). Поэтому интересно проследить за изменением электронных транспортных свойств сплавов системы Co₂YSi при изменении Y-компоненты в ряду 3d-элементов периодической таблицы Менделеева.

В настоящей работе исследовались магнитные и гальваномагнитные свойства сплавов Co₂YSi (Y = Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni). Поликристаллические образцы были выплавлены в индукционной печи в атмосфере очищенного аргона. Затем они отжигались в течение 3 суток при 1100°C (Me = V, Cr, Fe, Co) или в течение 9 суток при 800°C (Me = Ti, Mn, Ni) в атмосфере аргона с последующим охлаждением до комнатной температуры. Структурная аттестация образцов показала, что отклонения от состава по отдельным элементам для всех изученных сплавов были не более 6,5% и все сплавы имеют упорядоченную структуру L2₁.

Было изучено электросопротивление в интервале температур от 4.2 до 300 К, а также полевые зависимости холловского сопротивления $r_H(H)$ и магнитосопротивления $\Delta\rho/\rho(H)$ при T = 4.2 К в полях до 100 кЭ. Для разделения нормального R₀ и аномального R_s коэффициентов Холла, с последующей оценкой концентрации и подвижности носителей заряда, была также измерена низкотемпературная намагниченность в полях до 70 кЭ.

В результате проведенных исследований показано, что электросопротивление всех сплавов монотонно возрастает с температурой. При этом остаточное сопротивление ρ_0 , нормальный и аномальный коэффициенты Холла, а также намагниченность насыщения M_s немонотонно изменяются с изменением числа валентных электронов z в ряду от Co₂TiSi до Co₂NiSi, т.е. от 26 до 32. Между значениями измеренных электрических и магнитных характеристик наблюдается сильная корреляция (рис.1). Сделаны оценки концентрации носителей тока, которая оказалась типичной для металлов 10²²-10²³ носит./см³. Кроме того, при изменении z наблюдается степенная зависимость коэффициента аномального Холла от остаточного электросопротивления сплавов с показателем степени k = 3.1, что не описывается существующими теоретическими представлениями, но коррелирует с экспериментальными данными, полученными на подобных системах сплавов Гейслера.

Установлено, что изменение Y-элементов в сплавах Co₂YSi может приводить к изменениям электронной зонной структуры вблизи уровня Ферми E_F и, следовательно, оказывать влияние на электронные, магнитные и гальваномагнитные свойства данных сплавов.

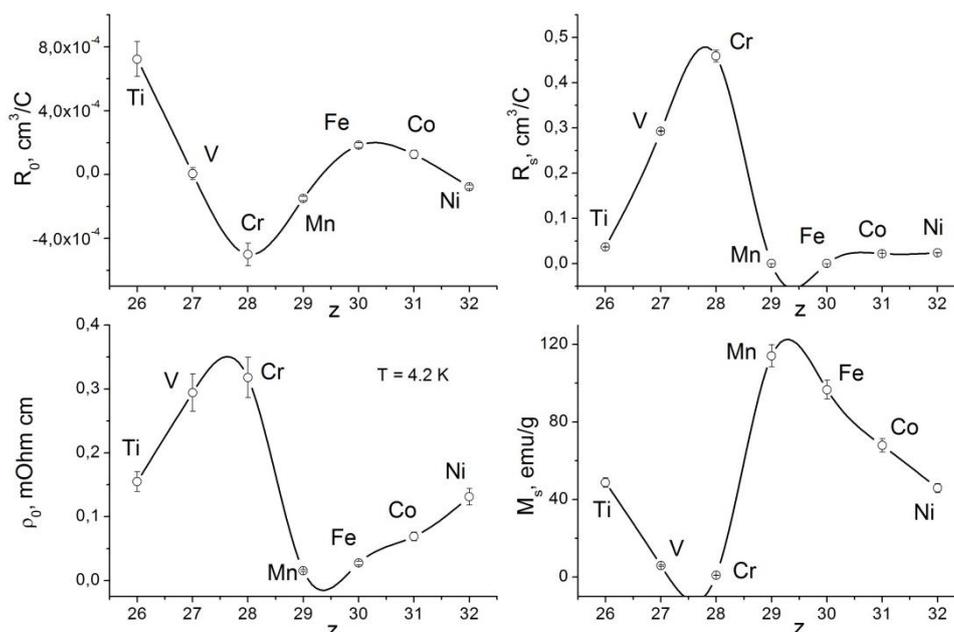


рис.1. Зависимость ρ_0 , R_0 , R_0' , M_s от числа валентных электронов z

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (темы «Спин», № АААА-А18-118020290104-2) при частичной поддержке РФФИ (проекты № 18-02-00739 и № 18-32-00686), Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-10-2-37) и Правительства РФ (постановление № 211, контракт № 02.A03.21.0006).

Список публикаций:

- [1] V.V. Marchenkov et al. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2017. V. 459. P. 211.
 [2] M. Jourdan et al. // *Nature communications*. 2014.V. 5. P. 3974.

Переохлаждение расплавов Fe – Co (до 20 ат.% Co)

Смагина Елизавета Александровна

Удмуртский государственный университет

Камаева Лариса Вячеславовна, к.ф.-м.н.

elizaveta.smagina.97@mail.ru

Величина переохлаждения является одним из основных параметров, определяющих процессы структурообразования при затвердевании из расплава, так как она зависит от исходной структуры жидкой фазы и управляет конкуренцией процессов зарождения и роста образующихся кристаллических фаз. В проведенных ранее исследованиях анализ концентрационных зависимостей переохлаждения (ΔT) систем Fe – Cr и Fe – Si позволил понять характер изменений в ближайшем атомном окружении железа при добавлении в него Cr и Si. Cr и Si в твердом состоянии стабилизируют ОЦК структуру Fe, но для однозначного ответа на вопрос о характере локального упорядочения атомов железа выше температуры плавления необходимо исследовать влияние примесей с различным химическим взаимодействием на физические свойства расплава железа. Поэтому в данной работе исследована концентрационная зависимость переохлаждения расплавов Fe – Co. В широкой области составов Fe и Co образуют твердые растворы с ГЦК решеткой. Сплавы Fe – Co относятся к классу магнитомягких материалов и применяются для изготовления сердечников и полюсных наконечников в электромагнитах и трансформаторах, роторов и статоров электродвигателей и генераторов, телефонных мембран. Помимо этого сплавы Fe – Co нашли свое применение в создании магнитопроводов в ультразвуковой аппаратуре высоких энергий, датчиков давления и т.д., а также рассматриваются как эффективные материалы для электродов при производстве водорода водно – щелочным электролизом.

Исходя из выше изложенного, перед данной работой была поставлена следующая цель – исследовать влияние Co на величину переохлаждения расплавов Fe – Co до 20 ат.% Co при кристаллизации в контейнере с небольшими скоростями охлаждения (до 1°C/c). Концентрационный интервал был выбран с учетом равновесной диаграммы состояния, согласно которой в интервале составов 16,5 – 19,5 ат. % Co в сплавах системы протекает перитектическая реакция $L + \delta\text{-Fe}(\text{Co}) \rightarrow \gamma\text{-Fe}(\text{Co})$.

Для определения величины переохлаждения использовался дифференциально – термический анализ (ДТА) на установке ВТА – 983. Для исследуемых образцов были проведены серии измерений, состоящие из нескольких циклов нагрев (плавление) – охлаждение (кристаллизация). В этих циклах варьировали или максимальную температуру, до которой нагревали расплав перед охлаждением, или скорость. Образцы охлаждались со скоростями 20 и 100°С/мин. Влияние температуры расплава на переохлаждение было изучено при термоциклировании образцов. В этих экспериментах каждый образец нагревали до температуры на 10 – 20°С выше температуры ликвидус, выдерживали при этой температуре в течение 20 минут, а затем охлаждали со скоростью 100°С/мин. В следующем цикле нагрев – охлаждение максимальную температуру расплава увеличивали на 20 – 30 °С и т.д. до 1680°С.

В результате проведенных исследований по термограммам нагрева установлено, что температуры фазовых превращений расплавов Fe – Co до 20 ат.% Co хорошо согласуются с линиями равновесной диаграммы состояния. Анализ кривых ДТА в режиме охлаждения и определенных из них величин переохлаждения, в условиях которых начиналась кристаллизация сплавов, показывает, что температура расплава оказывает сильное влияние на характер термограмм и величину переохлаждения. На полученных в двух независимых экспериментах при понижении и повышении температуры расплава температурных зависимостях переохлаждения наблюдается участок роста переохлаждения до 1600°С, и для большинства сплавов с содержанием кобальта менее 7 ат.% характер температурных зависимостей не зависит от режима измерений. Такой вид температурных зависимостей переохлаждения указывает на влияние температуры нагрева расплава над ликвидусом и на его склонность к образованию кристаллической фазы, что может быть вызвано термическими структурными превращениями в расплаве. При увеличении концентрации кобальта выше 7 ат.% в расплаве максимальная температура нагрева перестает влиять на величину переохлаждения, для этих сплавов кристаллизация даже при охлаждении от температур ниже 1600°С начинается в условиях высоких переохлаждений ~150°С.

Концентрационная зависимость переохлаждения, построенная с учетом значений ΔT , полученных во всех проведенных экспериментах, в результате выраженного температурного влияния имеет большой разброс значений, более 250°С. Для выявления концентрационного влияния на переохлаждение независимо от температурного, принимая во внимание сложный характер полученных температурных зависимостей, были построены две независимые концентрационные зависимости переохлаждения для величин переохлаждения при охлаждении расплавов от температур до 1600°С и для температур выше 1600°С. Концентрационная зависимость ΔT при охлаждении расплавов от температур до 1600°С построена до 7 ат.% Co. При небольших содержаниях Co (до 3 ат.%) кристаллизация начинается при переохлаждении ~100°С, затем в области от 3 до 4 ат.% Co переохлаждение падает до 50°С и при дальнейшей замене атомов железа атомами кобальта перестает изменяться. При охлаждении расплавов от температур выше 1600°С на концентрационной зависимости ΔT до 5 ат.% Co включительно величина переохлаждения составляет ~175°С, при увеличении концентрации кобальта переохлаждение плавно уменьшается и при 8 ат.% Co составляет 150°С.

Полученные зависимости показывают, что при температурах менее 1600°С кристаллизационная способность ОЦК железа в 2 раза больше, чем при более высоких температурах, а также, что добавление кобальта в жидкое железо приводит к резкому увеличению кристаллизационной способности твердого раствора на основе ОЦК-Fe, однако, когда концентрация кобальта превышает 7 ат.%, твердый раствор на основе ОЦК решетки железа перестает образовываться. При температурах выше 1600°С концентрационные изменения в переохлаждении связаны с изменением типа образующихся кристаллов, в области до 5 ат.% Co из расплава образуется только твердый раствор на основе ОЦК-Fe, и наблюдаются высокие значения переохлаждения, слабо зависящие от концентрации кобальта в расплаве. В области концентраций где непосредственно из расплава начинает образовываться твердый раствор на основе ГЦК решетки железа наблюдается постепенное уменьшение переохлаждения.

Таким образом, после проведенных исследований переохлаждения расплавов Fe – Co до 20 ат.% Co при кристаллизации в контейнере с небольшими скоростями охлаждения (20 и 100 °С/мин) можно сделать вывод, что на величину переохлаждения наибольшее влияние оказывает температура, от которой охлаждается расплав. Концентрационное поведение величины переохлаждения имеет сложный характер и зависит от температуры расплава. Анализ температурного и концентрационного влияния на переохлаждение показывает, что в сплавах Fe-Co структурное состояние расплава наследуется от исходного твердого состояния. До 5 ат.% - это ОЦК подобный атомный ближний порядок, а при более высокой концентрации – ГЦК подобный. Однако при концентрациях расплава менее 7 ат.% в области 1600°С происходит структурное превращение, в результате которого при более высоких температурах также формируется ГЦК подобный атомный ближний порядок. Помимо этого низкотемпературное атомное упорядочение, также претерпевает концентрационное изменение. Учитывая полученные ранее данные для систем Fe-Cr и Fe-Si, можно полагать, что в области концентраций до 3 ат.% в расплаве при температурах ниже 1600°С реализуется локальное упорядочение промежуточное между ОЦК и ГЦК, которое в интервале концентраций от 3 до 4 ат.% переходит в ОЦК подобное.

Работа выполнена по теме НИР № гос. регистрации АААА–А17–117022250039-4.

Изучение импульсных откликов ЯМР в двухспиновых системах

Смирнова Анастасия Юрьевна

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

Сапига А.В., к.ф.-м.н.

a.smirnovasbox@gmail.com

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) является одним из эффективных методов исследования структуры твердых тел. Спектр ЯМР двухспиновой системы в твердом теле представляет собой дублет Пейка [1], из анализа формы которого можно установить длину и ориентацию межъядерного вектора в кристалле. Также структурные параметры можно определить, вычисляя моменты линии ЯМР. Известны два основных метода регистрации спектра ЯМР: а) метод непрерывного прохождения через область резонансного поглощения, в этом случае непосредственно регистрируется спектр ЯМР; б) импульсный метод, при котором регистрируется спад свободной прецессии (ССП), из которого после преобразования Фурье можно восстановить спектр ЯМР. Непрерывный и импульсный методы обладают своими преимуществами и недостатками. Поэтому актуальным является поиск иных методов извлечения структурной информации получаемой методом ЯМР. Одним из которых может стать метод анализа формы импульсных откликов. Наиболее хорошо теория импульсных откликов разработана для солид-эха. Солид-эхо наблюдается в системах ядер с сильным диполь-дипольным взаимодействием после воздействия двух импульсов длительностью $\pi/2$, при этом фаза второго импульса должна быть сдвинута на 90° .

Согласно теории [2] форма затухания амплитуды солид-эха зависит от внутримолекулярных и межмолекулярных дипольных взаимодействий, которые в свою очередь определяются структурными параметрами. Для амплитуды солид-эха в [2] было получено выражение

$$E(2\tau) = V(2\tau) - \exp(-m_2\tau^2) \left(\frac{m_2}{m_2 + b^2} \right) [\sin(b\tau) - (b\tau) \cos(b\tau)]^2, \quad (1)$$

$$V(2\tau) = \exp(-m_2\tau^2) [1 + m_2\tau^2 \cos^2(b\tau)], \quad (2)$$

где τ – задержка между импульсами, $b = 3\gamma^2\hbar r^{-3}(1 - 3\cos^2\theta)/4$ – вклад от внутримолекулярных взаимодействий, γ – гиромагнитное отношение, \hbar – постоянная Планка, r – расстояние между атомами, θ – угол между r и направлением внешнего поля \mathbf{V}_0 , m_2 – вклад во второй момент от межмолекулярных взаимодействий.

Для проверки этой методики были выбраны монокристаллы минералов натролита $\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ и гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В структуре этих кристаллов имеется всего две неэквивалентные позиции молекул воды, поэтому для аппроксимации экспериментальной зависимости необходимо взять суперпозицию из двух выражений (1). Аппроксимация проводилась по методу наименьших квадратов (рис. 1). Измерения выполнялись на импульсном когерентном спектрометре ЯМР на частоте 30 МГц. Полученные значения структурных параметров b и m_2 для разных ориентаций кристаллов хорошо совпадают с данными работ [1] и [3]. В докладе обсуждается возможность изучения медленных молекулярных движений этим методом.

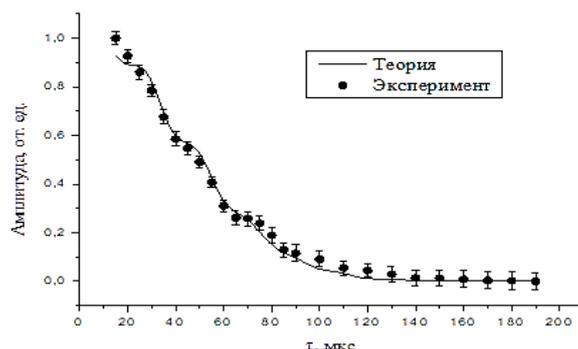


рис.1. Зависимость амплитуды солид-эха в натролите, $\mathbf{V}_0 || [110]$.

Предложенный метод может стать альтернативой классическому Пейковскому анализу в случае использования импульсного спектрометра ЯМР без использования преобразования Фурье.

Список публикаций:

[1] Pake G. E. Nuclear resonance absorption in hydrated crystals: fine structure of the proton line // J. Chem. Phys. – 1948. – V.16. – P.327 - 336.

[2] Сергеев Н. А. Солид-эхо в кристаллогидратах / Н. А. Сергеев, А. В. Сапига, Д. С. Рябушкин // Укр. физ. журн. – 1990. – Т. 35, №3. – С. 434 - 437.

[3] Сапига А.В. Пейковский анализ структуры ромбического натролита А.В. Сапига, Н.А. Сергеев, В. Н. Щербаков // Жур. Струк. Химии. 1986.- Т.27, №4.- С.181-182.

Мёссбауэровские исследования структурных фазовых превращений в ферроборате FeBO_3 при высокотемпературном отжиге

Снегирёв Никита Игоревич¹

Ягунов Сергей Владимирович¹, Стругацкий Марк Борисович¹, Могиленец Юлия Александровна¹,
Селезнева Кира Андреевна¹, Старчиков Сергей Сергеевич², Любутин Игорь Савельевич²

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт

²ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Стругацкий Марк Борисович д.ф.-м.н.

niksnegir@yandex.ru

Отжиг кристаллов представляет интерес не только в качестве методики избавления от послеростовых напряжений в образцах, но и как способ трансформации кристаллических фаз. В настоящей работе проведена серия экспериментов по высокотемпературному отжигу монокристаллов FeBO_3 , синтезированных нами методом из раствора в расплаве [1].

Отжиг проводился в воздушной среде при температурах 800 и 1000°C с различным временем выдержки. До и после проведения отжига были получены мёссбауэровские спектры образцов.

В спектрах отожженных образцов, помимо основной шестерки резонансных линий (секстета), характерной для исходного кристалла FeBO_3 , появляются дополнительные линии, интенсивность которых увеличивается с ростом времени отжига (рисунок 1). Расчет параметров сверхтонкого взаимодействия показывает, что основная компонента со значением изомерного сдвига $\delta = 0.394 \pm 0.004$ мм/с, квадрупольного сдвига $\varepsilon = 0.188 \pm 0.004$ мм/с и магнитного поля на ядре железа $H_{\text{hf}} = 336.254 \pm 0.014$ кЭ отвечает ионам Fe^{3+} в фазе бората железа FeBO_3 [2]. Параметры дополнительного секстета имеют значения $\delta = 0.370 \pm 0.018$ мм/с, $\varepsilon = -0.195 \pm 0.018$ мм/с и $H_{\text{hf}} = 516.61 \pm 0.25$ кЭ, что характерно для фазы гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [3].

Кроме того, при сканировании поверхности отожженных образцов оптическим микроскопом обнаружены единичные микрокристаллы, размерами около 200 μm , по форме и цвету характерные для фазы Fe_3BO_6 . Эта фаза не была обнаружена методом мёссбауэровской спектроскопии, вероятно, ввиду очень малой концентрации.

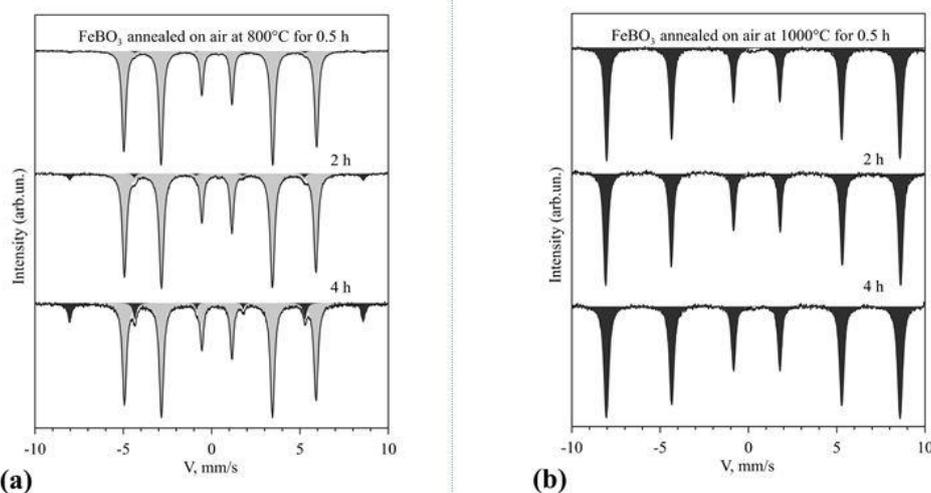


рис. 1. Мёссбауэровские спектры FeBO_3 , отожженного при 800°C (а) и 1000°C (б) в течение 0.5, 2 и 4 часов (верхний, средний и нижний спектры, соответственно)

Характер подобных структурных изменений определяется температурой и временем отжига.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-3200210 «мол_а») в части экспериментов по отжигу монокристаллов и Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в части мёссбауэровских измерений.

Список публикаций:

- [1] Yagupov S., Strugatsky M., Seleznyova K., Mogileneц Yu., Snegirev N., Marchenkov N., Kulikov A., Eliovich Y., Frolov K., Ogarkova Yu. and Lyubutin I. // *Cryst. Growth Des.*, 18(12), 7435 (2018)
- [2] Snegirev N., Yagupov S., Strugatsky M., Seleznyova K., Mogileneц Yu., Marchenkov N., Kulikov A., Perunov I., Eliovich Y., Frolov K., Baskakov A., Ogarkova Yu. and Lyubutin I. // *Abstracts of XV ICMSA*, 50 (2018)
- [3] Lyubutin I., Lin C., Korzhetskiy Yu., V. Dmitrieva T., and Chiang R. // *J. Appl. Phys.*, 106, 034311 (2009)

Название доклада Исследование оптических свойств нанопленок углерода на стеклах. Метод магнетронно-распылительных систем

Солодухин Дмитрий Сергеевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

alkrommus@gmail.com, zolkinas@gmail.com

Введение. Углеродные алмазоподобные покрытия (УАП) выделяются среди остальных типов покрытий широким диапазоном свойств и способов применения. УАП прозрачны в видимом и инфракрасном диапазоне, для них характерны химическая стойкость, высокая твердость и теплопроводность, что делает их востребованным материалом в различных сферах [1,2]. Аморфные углеродные (а-С и а-С:Н) пленки нашли применение в качестве просветляющих и защитных покрытий для солнечных элементов, оптики инфракрасного диапазона. Также существуют свидетельства применения аморфных углеродных покрытий в медицинских имплантатах, благодаря их антибактериальным свойствам [3]. Среди методов исследования структуры можно выделить спектроскопию комбинационного рассеяния света (КРС) [4], оптическую спектроскопию, методы исследования механических свойств: адгезия, твердость, износостойкость. В данной работе использован метод магнетронно-распылительных систем (МРС).

Целью является исследование оптических свойств пленок аморфного углерода на стеклах.

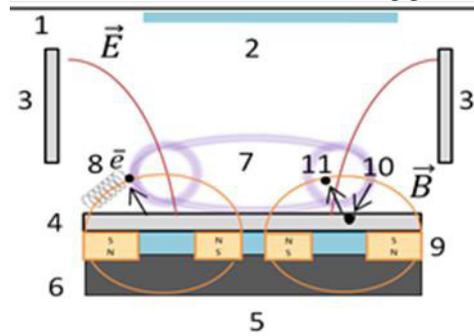


рис. 1. Камера МРС: 1 – подложка, 2 – плёнка, 3 – анод, 4 – катод, 5 – система охлаждения катода, 6 – магнитопровод, 7 – область плазмы, 8 – электрон в скрещенных полях, 9 – система магнитов, 10 – Ar+, бомбардирующий мишень, 11 – выбитая частица вещества мишени

Методика. Эксперименты проводились в вакуумной камере с «сухим вакуумом». Остаточное давление в камере до напыления - 10^{-5} Торр, рабочее давление после напуска аргона - 10^{-3} Торр, максимальный расход составлял 200 мл/мин. Напряжение на МРС изменялось в пределах от 300 В до 700 В. Для проведения экспериментов использовалась графитовая мишень. Пленки исследовались на спектрофотометре UV -3600, на атомно-силовом микроскопе и электронном сканирующем микроскопе. Свойства пленок исследовались в зависимости от времени напыления и толщины пленок в зависимости от внешних условий (например, в условиях 100% влажности или повышенной температуры), что важно для различных оптических систем (лазеры, бинокли, очки, мониторы и др.). Давление в камере измерялось с помощью Pfeiffer Vacuum PKR 251 Full Range Gauge Pirani, газовый поток измерялся с помощью системы Digital Mass Flow Controller SEC-Z500X Series – Horiba. В работе использовался источник напряжения APEL-M-5PDC (Томск, Россия). Расход газа изменялся в пределах от 24% до 100%, максимальный расход составлял 200 мл/мин. Напряжение изменялось в пределах от 300 В до 700 В. Для проведения экспериментов использовалась графитовая мишень.

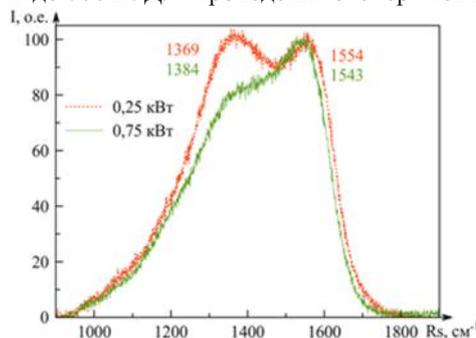


рис. 2. Спектр КР пленка углерода на стекле K8

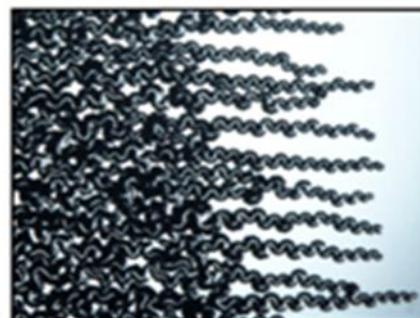


рис. 3. Разрушение углеродной пленки на стекле K8

Результаты. Исследованы вольт-амперные характеристики МРС. Им свойственны выраженный гистерезис в координатах напряжение на МРС – ток разряда. В результате определён режим для оптимального

напыления углеродного покрытия на стекла: ток = 1 – 3А, напряжение = 550 – 700 В, расход аргона не более 200 мл/мин. Исследованы спектры углеродного покрытия на стеклах (К-8, кварц) в диапазоне 200нм – 16мкм в зависимости от времени напыления и толщины покрытия. Получены данные о морфологии, шероховатости с помощью атомно-силового микроскопа. Установлено, что оптимальные условия: напряжение на МРС – ток разряда соответствуют $U = 550 - 600$ В, $I = 1 - 2$ А. При больших значениях механические свойства покрытий несколько ухудшаются. При меньших значениях скорости роста покрытий слишком малы. На рис. 2 представлен спектр КР предварительного эксперимента по осаждению углерода на стекло К8[6]. При больших толщинах углеродного покрытия происходит его разрушение под действием механических напряжений, обусловленных тепловыми факторами при синтезе: отличием в коэффициентах теплового расширения (пленка – подложка), большой разностью температур между верхним слоем роста плёнки и её основанием на подложке ввиду высокой величины теплоты испарения - конденсации. На рис. 3 представлен пример разрушения пленки углерода на стекле.

Выводы. Твердо установлено, что вольт-амперные характеристики имеют гистерезис, а также на основании исследованных вольт-амперных характеристик получены покрытия углерода на стекле К8 и кварце.

Благодарности. Автор благодарит сотрудников лаборатории Александра А. Борисова и Сергея Ю. Чепкасова за помощь при проведении экспериментов. Работа проведена в рамках проекта НГУ топ-100 «Новая физика».

Список публикаций:

- [1] Кузьмичев А.И. *Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления.* – Киев: Аверс. – 2008. – 244 с.
- [2] Рогов А. В., Капустин Ю. В., Мартыненко Ю. В. *Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 2*
- [3] Ярош А. Л. и др. *Исследование биосовместимости хирургических имплантатов нового поколения для пластики передней брюшной стенки // Фундаментальные исследования. – 2011. – №. 10-1.*
- [4] Горелик В. С. *Комбинационное рассеяние света // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – Т. 6. – С. 91-96.*

Влияние диэлектрического окружения на изменение резонансной частоты локализованных плазмонов

Томилина Ольга Андреевна

Бержанский Владимир Наумович, Томилин Сергей Владимирович

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
olga_tomilina@mail.ru*

Дискретные проводящие нанообъекты и наноструктурированные макроматериалы представляют собой перспективные материалы для создания сенсорных плазмонных структур. Взаимодействие электромагнитного поля с металлическими низкоммерными объектами (наночастицами) определяется свойствами их электронной подсистемы. Для проводящих наночастиц с зонным характером энергетического спектра электроны проводимости представляют собой плазму с определённой резонансной частотой плазменных колебаний. Поглощение электромагнитных квантов на возбуждение резонансных плазмонов наблюдается в виде спектральных «провалов» на резонансной частоте. При этом диэлектрическое окружение проводящего нанообъекта оказывает существенное влияние на его свойства, в частности, на процессы переноса и релаксации энергетических возбуждений. Поэтому на базе плазмонной системы потенциально может быть построен сенсор для детектирования свойств диэлектрической среды. Следовательно, исследования в данной области являются актуальными и имеют большое фундаментальное и практическое значение.

В данной работе изучено влияние диэлектрического окружения на изменение резонансной частоты локализованных плазмонов. В качестве плазмонной системы использовалась сформированная на подложке из гадолиний-галлиевого граната (GGG) система самоорганизующихся наночастиц Au, полученная методом термоактивированной грануляции (отжиг при 950°C в течение 10 мин) напылённой термическим методом плёнки золота толщиной 5 нм. [1]. Для проведения исследований плазмонная система помещалась в кювету, которая заполнялась прозрачной диэлектрической средой. В качестве диэлектрической среды применялись материалы с различным показателем преломления (диэлектрической проницаемостью): воздух, дистиллированная вода, водный раствор NaCl (с массовой долей 4.17%, 7.14%, 11.11%) и глицерин. На рисунке 1 представлены спектры пропускания системы плазмонных наночастиц Au/GGG с различным диэлектрическим окружением.

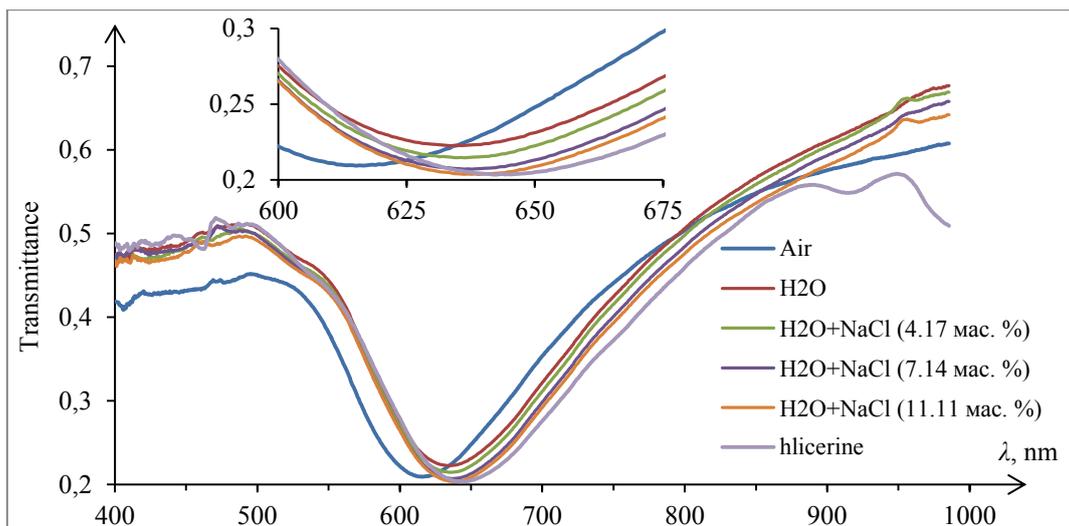


рис.1. Спектры пропускания системы плазмонных наночастиц Au/GGG в средах с различной диэлектрической проницаемостью. На вставке показан увеличенный масштаб дна плазмонного «провала».

Как видно из представленных спектров, минимум пропускания, который соответствует резонансной частоте локализованных плазмон-поляритонов, испытывает монотонное «красное» смещение с увеличением диэлектрической проницаемости окружающей среды. Видно, что увеличение ϵ окружающей среды от 1 для воздуха до 2.28 для глицерина приводит к смещению положения резонансного пика по длине волны на 28 нм.

Однако анализ смещения резонансного минимума непосредственно на спектрах пропускания связан с высокой погрешностью вследствие гладкого округлого дна провала. Гораздо более информативными в данном случае могут стать спектры производной $dT/d\lambda$. Спектральные зависимости первой производной от коэффициента пропускания для графиков на рис. 1 представлены на рис. 2. Как видно на представленных зависимостях точка перехода кривой через «ноль», чётко соответствует длине волны плазмон-поляритонного резонанса и может служить критерием оценки изменения состояния диэлектрического окружения плазмонной системы.

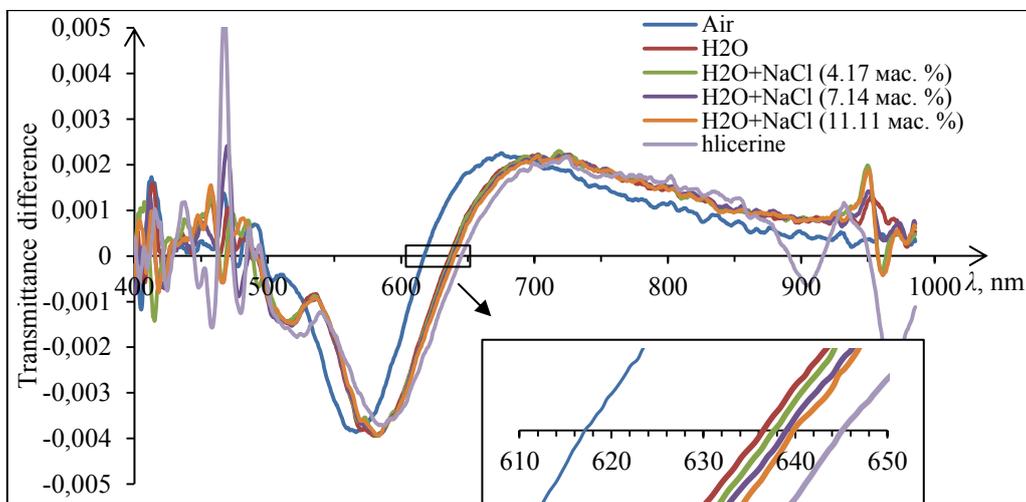


рис.2. Спектральная зависимость первой производной от коэффициента пропускания $dT/d\lambda$ для спектров, представленных на рис.1. На вставке показан увеличенный масштаб участка в области локализованного плазмон-поляритонного резонанса.

Таким образом экспериментально показана возможность построения сенсора для детектирования изменения свойств диэлектрических прозрачных сред на базе систем плазмонных самоорганизующихся наночастиц путём детектирования изменения спектрального положения локализованного плазмон-поляритонного резонанса.

Работа выполнена в рамках поддержанного ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ22/2018.

Список публикаций:

[1] Tomilin S.V., Yanovsky A.S., *J. of Nano- and Electronic Physics.*, 5 (2013) 03014

Формирование силикатных биопокровтий на поверхности сплава Mg0.8Ca

Угодчикова Анна Владимировна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Седельникова Мария Борисовна, д.т.н.

Ugodch99@gmail.ru

На сегодняшний день перспективными материалами для имплантатов в ортопедии и дентальной хирургии являются композиты, включающие металлическую подложку и биоактивное покрытие, способное ускорять процессы формирования костной ткани на поверхности изделия [1]. Как правило, в качестве основы для биоактивных покрытий используют фосфаты кальция – гидроксиапатит, трикальцийфосфат и др. Однако, в литературных источниках есть сведения о том, что биокерамика на основе силикатов кальция и магния стимулирует регенерацию костной ткани на границе раздела ткань-имплантат без промежуточного фиброзного слоя [2]. Магний и его сплавы обладают особыми свойствами, позволяющими, применять их в регенеративной медицине. Они являются биосовместимыми и, что более интересно, способны резорбироваться в жидкостях организма. Однако, процессы биодеградации магния в среде организма происходят быстрее, чем восстановление костной ткани [3]. Силикатные покрытия, в этом случае, с одной стороны могут выполнять защитную функцию, снижая скорость коррозии магниевго сплава, и с другой стороны, ускорять процессы остеоинтеграции. Среди существующих методов формирования покрытий метод микродугового оксидирования (МДО) является наиболее перспективным, поскольку позволяет получать биосовместимые пористые покрытия толщиной до сотен микрометров на имплантатах сложной формы.

Целью представленной работы являлось получение силикатных биопокровтий методом МДО на поверхности биорезорбируемого магниевго сплава, исследование влияния напряжения процесса на формирование покрытий, их морфологию поверхности и элементный состав.

Для проведения экспериментов были подготовлены образцы – металлические пластинки (10×10×1 мм) из магниевго сплава Mg0.8Ca. Нанесение покрытий осуществлялось на установке «MicroArc 3.0 System» (ИФПМ СО РАН) с использованием силикат-содержащего электролита-суспензии. Основные параметры процесса МДО варьировали в следующих пределах: напряжение 350 – 500 В, время нанесения покрытия 5 мин. Исследования морфологии поверхности и элементного состава проводили методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) (SEM 515 Philips, ТРЦКП ТГУ, г. Томск).

При варьировании напряжения процесса МДО от 350 до 500 В толщина и масса силикатных биопокровтий увеличиваются от 40 мкм до 150 мкм, и от 6 до 20 мг, соответственно.

Анализ РЭМ – изображений показал, что покрытия имеют развитую морфологию поверхности. На поверхности покрытий установлено присутствие большого количества разнонаправленных кристаллов (*рис. 1а*), игольчатой формы, характерной для волластонита (CaSiO_3). С ростом напряжения процесса до 500 В количество кристаллов заметно увеличивается. Кроме того, в покрытиях присутствуют поры со средним размером 5 мкм, равномерно распределенные по всей поверхности.

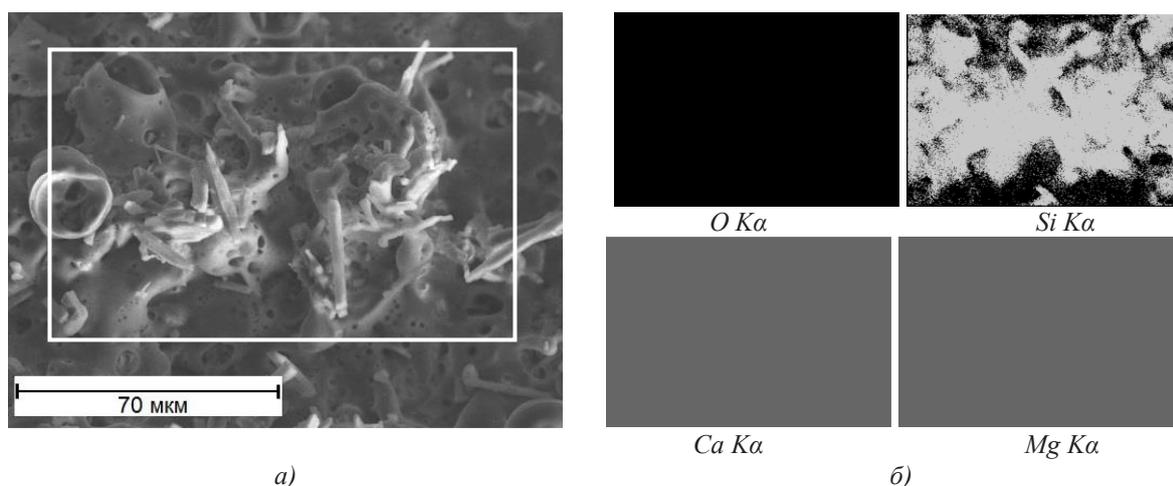


рис.1 РЭМ-изображение силикатного биопокровтия, полученного при напряжении процесса 350 В (а), карты распределения элементов (б)

В результате анализа элементного состава покрытий выявлено повышенное содержание в них кремния и кальция (*рис.1б*). Причем карты распределения элементов показывают, что кремний и кальций, в основном, сосредоточены в игольчатых кристаллах, что подтверждает присутствие волластонита в покрытиях.

Исследование изменения элементного состава биопокровов в зависимости от напряжения процесса МДО показало, что с ростом напряжения в диапазоне 350–500 В концентрация кальция увеличивается от 9,5 до 14 ат. %, а магния уменьшается от 6,5 до 3 ат. %. При этом, содержание кремния остается неизменным, равным 17 ат. %.

Таким образом, методом МДО, при варьировании напряжения процесса от 350 В до 500 В получены силикатные биопокровы с толщиной и массой до 150 мкм и 20 мгм, соответственно. Повышение напряжения способствует увеличению концентрации кальция и снижению магния в покрытии, что говорит об участии магния в формировании соединений в покрытиях. В результате анализа РЭМ-изображений и элементного состава биопокровов выявлено присутствие в них волластонита. Известно, что волластонит способствует активизации процессов биоминерализации и образования костной ткани на границе кость-имплант [4].

Работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН, 2013–2020 гг., проект № III.23.2.5.

Список публикаций:

- [1] A. Mahapatro /Bio-functional nano-coatings on metallic biomaterials. *Materials Science and Engineering*. (2015). № C55. С. 227.
- [2] M.A. Sainz, P. Pena, S. Serena, A. Caballero // Influence of design on bioactivity of novel CaSiO₃–CaMg(SiO₃)₂ bioceramics: In vitro simulated body fluid test and thermodynamic simulation. *Acta Biomaterialia*. (2010). № 6. С. 2797.
- [3] M.P. Staiger, A.M. Pietak, J. Huadmai, G. Dias // Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. *Biomaterials*. (2006). № 9. С. 1728.
- [4] M. Dziadek, E. Stodolak-Zych, K. Cholewa-Kowalska, *Biodegradable ceramic-polymer composites for biomedical applications: A review // Materials Science and Engineering*. (2017). № C 71. С. 1175.

Исследование СВЧ свойств композитов на основе углеродных нанотрубок

Федосов Эрнест Энверович

Томилин Сергей Владимирович

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Бержанский Владимир Наумович

ernestfedosov@gmail.com

Введение. Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой протяженные цилиндрические структуры, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку графеновых плоскостей, открытые на концах либо заканчивающиеся полусферической границей, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена [1]. Изучение физико-химических свойств УНТ представляют интерес как для фундаментальной, так и для прикладной науки [2], например, при разработке новых радиопоглощающих материалов.

В связи с этим, актуальным является исследование диэлектрических и магнитных свойств композитов на основе углеродных нанотрубок в СВЧ диапазоне. Предварительно были проведены исследования степени однородности УНТ на лазерном анализаторе размеров частиц HORIBA LA-960 и их магнитной восприимчивости.

Для измерения основных электродинамических характеристик (комплексные диэлектрической и магнитной проницаемостей) использовался резонансный метод измерения СВЧ-параметров в диапазоне от 9 до 10 ГГц, реализованный на базе панорамного измерителя КСВН Р2-65[3].

Образцы представляли из себя сферы диаметром 4 мм. В качестве матрицы использовался силикон. Наполнение матрицы углеродными нанотрубками осуществлялось

посредством смешивания материала матрицы в вязком состоянии с диспергированным раствором углеродных нанотрубок. Диспергирование УНТ осуществлялось в ультразвуковой ванне в течении 10 минут. Были изготовлены 8 образцов с массовым содержанием УНТ от 0 до 10%.

На рис. 1а,в представлены зависимости действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости композитов от частоты, а на рис. 1б,г частотные зависимости действительной и мнимой части магнитной проницаемости. Видно, что наибольшим поглощением в широком диапазоне частот обладает композит содержащий 10 мас.% УНТ.

Следует отметить, что мнимая часть магнитной проницаемости композитов на основе УНТ достаточно низкая. Увеличение мнимой части магнитной проницаемости композитов на основе УНТ, необходимой для создания радиопоглощающих материалов, может быть достигнуто путем добавления мелкодисперсного порошка феррита.

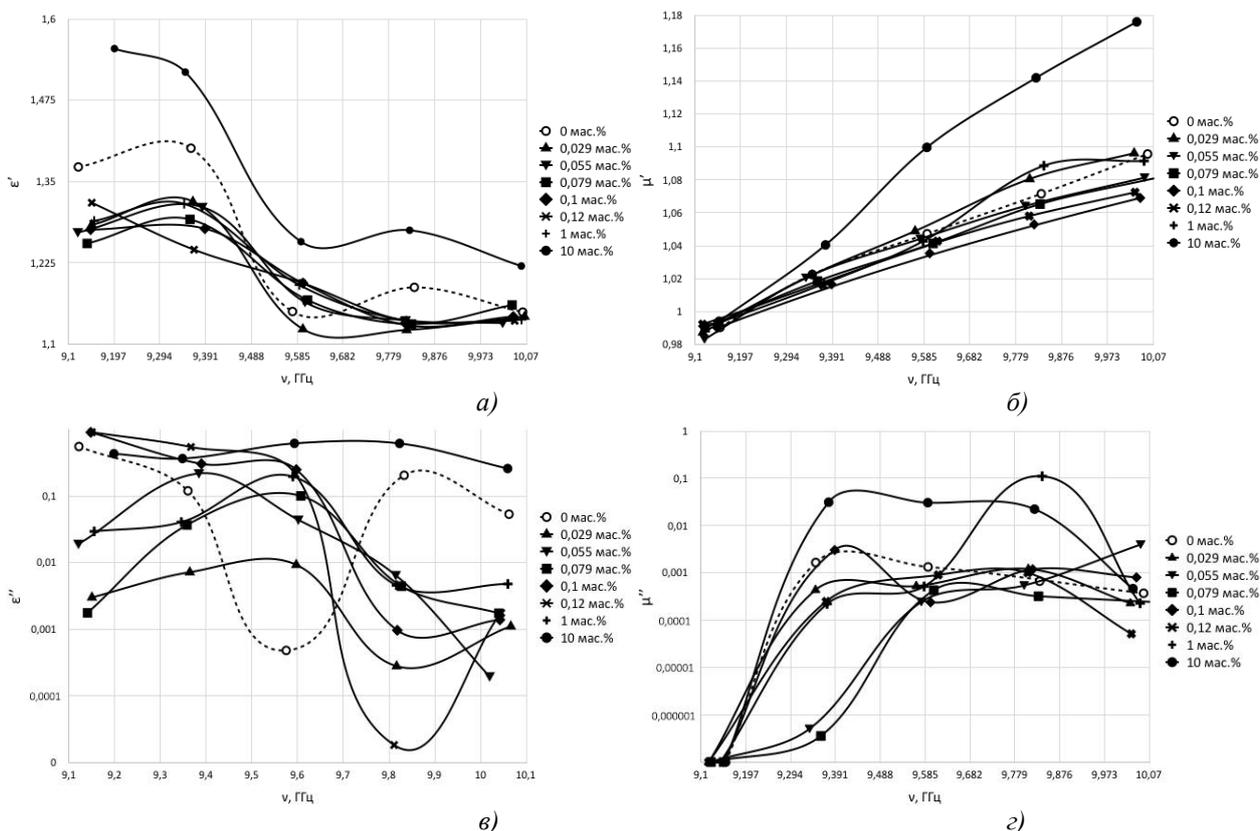


рис.1 СВЧ спектры диэлектрической (а,в) и магнитной (б,г) проницаемостей композита на основе УНТ

Работа выполнена в рамках поддержанного ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ22/2018.

Список публикаций:

- [1] Миценко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. - М.: Машиностроение, 2008. - 320 с.
- [2] Многослойные углеродные нанотрубки и их применение / М.М. Томшико, О.В. Демичева, А.М. Алексеев и др. // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. – Т. LII, № 5. – С. 39–43.
- [3] Пономаренко В.И., Васильев Ю.И., Журавлев С.И. Резонаторный метод измерения СВЧ-параметров сферических образцов. // Электромеханические методы измерения контроля. Вып.3, с.110, Томск, 1985.

Расчет диэлектрических свойств и эффективных масс тяжелых электронов и дырок для азидов двухвалентных металлов

Филиппов Даниил Игоревич

Гордиенко Алексей Болеславович

Кемеровский государственный университет

Гордиенко Алексей Болеславович, д.ф.-м.н.

filippovdaniil@kemsu.ru

Неорганические азиды металлов представляют класс хорошо изученных соединений, которые, благодаря своей высокой чувствительности к внешним воздействиям, широко применяются на практике в качестве энергетических материалов (инициирующие взрывчатые вещества, ракетное топливо, пиротехнические изделия) [1, 2]. С другой стороны, взрывоопасность и высокая чувствительность данных соединений к внешним воздействиям может серьезно затруднять их экспериментальное исследование. В частности, в литературе отсутствуют данные по эффективным массам электронов и дырок для азидов двухвалентных металлов. Важность данных величин для описания явлений переноса [3], а также сложности, возникающие при использовании стандартных численных методов расчета эффективных масс [4], определяют актуальность исследований, направленных на разработку аналитических методов их расчета. Еще одной важной задачей, решение которой открывает возможность теоретического описания диэлектрических свойств кристаллов,

является вычисление отклика многоэлектронной системы на внешнее однородное электрическое поле. Обе эти задачи можно решить в рамках единой расчетной схемы [5, 4], адаптированной для периодических систем и позволяющей вычислять аналитические производные одноэлектронных энергий по компонентам волнового вектора и напряженности электрического поля. Все это определяет цель настоящей работы – вычисление диэлектрических свойств и эффективных масс электронов и дырок для группы азидов двухвалентных металлов с использованием базиса псевдоатомных орбиталей.

Выражение для вторых аналитических производных от одноэлектронных энергий по компонентам волнового вектора $E_{nk}^{k_\alpha, k_\beta}$ в рамках используемой схемы записывается как

$$E_{nk}^{k_\alpha, k_\beta} = \left[\tilde{H}_{nn}^{k_\beta, k_\alpha} - E_{nk} \tilde{S}_{nn}^{k_\beta, k_\alpha} \right] - E_{nk}^{k_\beta} \tilde{S}_{nn}^{k_\alpha} - E_{nk}^{k_\alpha} \tilde{S}_{nn}^{k_\beta} + 2\Re \sum_{l \neq n} \frac{\left[\tilde{H}_{nl}^{k_\alpha} - E_{nk} \tilde{S}_{nl}^{k_\alpha} \right] \left[\tilde{H}_{ln}^{k_\beta} - E_{nk} \tilde{S}_{ln}^{k_\beta} \right]}{E_{nk} - E_{lk}}, \quad (1)$$

где введены следующие обозначения (H_{ijk} и S_{ijk} – матрицы гамильтониана и перекрытия, $C_{in}(\mathbf{k})$ – коэффициенты разложения одночастичных волновых функций по базису псевдоатомных орбиталей):

$$\tilde{H}_{nm}^{k_\beta, k_\alpha} = \sum_{i,j} C_{in}^*(\mathbf{k}) H_{ijk}^{k_\beta, k_\alpha} C_{jm}(\mathbf{k}), \quad \tilde{S}_{nm}^{k_\beta, k_\alpha} = \sum_{i,j} C_{in}^*(\mathbf{k}) S_{ijk}^{k_\beta, k_\alpha} C_{jm}(\mathbf{k}). \quad (2)$$

В качестве объектов исследования были выбраны кристаллы α - $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, α - $\text{Hg}(\text{N}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{N}_3)_2$ и $\text{Ba}(\text{N}_3)_2$. Все расчеты проводились в приближении LDA [6] (а также с применением GGA-mBJ потенциала [7] для оценки ширины запрещенной зоны, см. рис.1, (б)) с использованием DZ-базиса PAO [8] и \mathbf{k} -сетки $4 \times 4 \times 4$. Азид свинца, как видно из рис. 1, обладает сложной структурой; в его элементарной ячейке расположены 12 формульных единиц (84 атома). В валентной области его зонного спектра содержится 204 зоны, обладающие низкой дисперсией (что указывает на большие значения эффективных масс дырок) и разделенные на 5 групп.

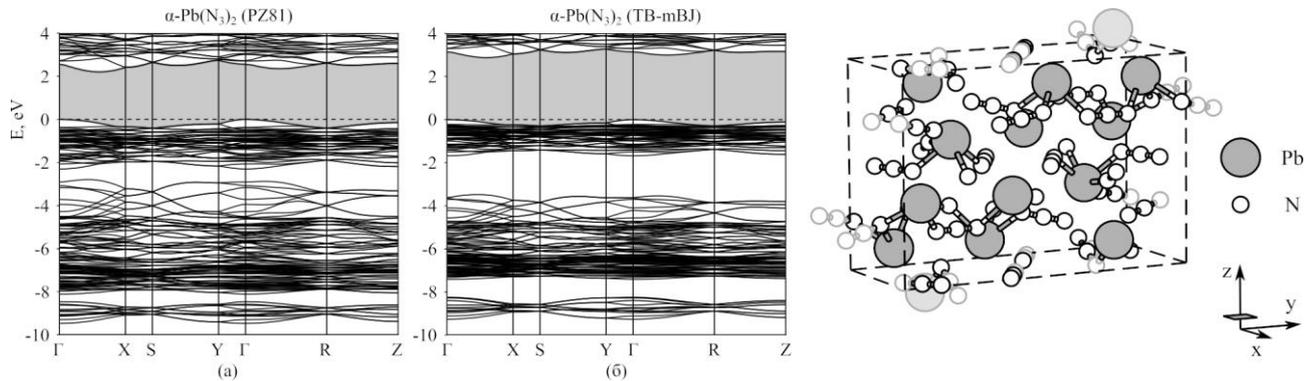


рис.1. Фрагменты зонной структуры, увеличенные вблизи потолка валентной области спектра ((а) – LDA приближение, (б) – meta-GGA) и элементарная ячейка кристалла α - $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$.

В силу отсутствия в литературе расчетных данных по эффективным массам для азид свинца, для проверки достоверности полученных результатов также были проведены расчеты в программе Abinit с использованием базиса плоских волн PW [9]. В таблице ниже приведены полученные значения эффективных масс тяжелых электронов и дырок, вычисленных с применением выражения (1), а также значения тензора высокочастотной диэлектрической проницаемости, в сравнении для двух различных расчетных схем и экспериментальными значениями из работы [10].

Расчет	Электроны			Дырки			Диэлектрическая проницаемость		
	m_{100}^* / m_0	m_{010}^* / m_0	m_{001}^* / m_0	m_{100}^* / m_0	m_{010}^* / m_0	m_{001}^* / m_0	ϵ_{xx}^∞	ϵ_{yy}^∞	ϵ_{zz}^∞
PAO	0.570	0.388	1.075	1.763	0.484	1.522	5.13	6.29	3.41
PW	0.610	0.417	1.276	1.857	0.473	1.463	5.02	6.41	3.62
[10]	–	–	–	–	–	–	5.0	7.0	3.5

Видно, что абсолютные значения эффективных масс и их анизотропия находятся в хорошем согласии для двух различных расчетных схем, а вычисленные значения диэлектрической проницаемости хорошо согласуются с соответствующими экспериментальными величинами.

Таким образом, в настоящей работе для группы азидов двухвалентных металлов впервые были получены оценки значений эффективных масс тяжелых электронов и дырок, а также вычислены диэлектрические свойства данных соединений, включающие в себя значения высокочастотной диэлектрической проницаемости.

Список публикаций:

- [1] Fair H.D., Walker R.F. // *Energetic Materials: Technology of the Inorganic Azides*. 1977. V. 2. 296 p.
- [2] Haase J. *Large-scale Preparation and Usage of Azides // Organic Azides: Syntheses and Applications*. 2009. P. 29–51.
- [3] Yu P.Y., Cardona M. // *Fundamentals of Semiconductors*. 2010. 775 p.
- [4] Гордиенко А.Б., Филиппов Д.И. // *Физика твердого тела*. 2018. V. 60, № 5. P. 857.
- [5] Pople J. A., Krishnan R., Schlegel H. B. and Binkley J. S. // *Int. J. Quantum Chem*. 1979. V. 16. P. 225–241.
- [6] Perdew J. P., Zunger A. // *Phys. Rev. B*. 1981. V. 23. P. 5048.
- [7] Tran F., Blaha P. // *Phys. Rev. Lett*. 2009. V. 102. P. 226401.
- [8] Jansen R. W., Sankey O. F. // *Phys. Rev. B*. 1987. V. 36. P. 6520–6531.
- [9] Gonze X. et al. *Comput. Mater. Sci*. 2002. V. 25, № 3. P. 478–492.
- [10] Garrett W. L., Kemmey, P. J. // *Dielectric Constant Measurements on Lead Azide Single Crystals*. 1980. 14 p.

Двухрезонансный плазмон-поляритонный сенсор

Хацаюк Вероника Викторовна

Бержанский Владимир Наумович, Томилин Сергей Владимирович

Крымский федеральный университет, Физико-технический институт

veronika74069@yandex.ru

Принцип действия датчиков на поверхностных плазмон-поляритонах (ППП) основан на физическом эффекте изменения резонансной частоты ППП волн в зависимости от диэлектрической проницаемости диэлектрика, граничащего с чувствительным металлическим (плазмонным) слоем.

Существует две классические схемы возбуждения поверхностных плазмонов, в которых используется призма полного внутреннего отражения (ПВО) – схемы Кретчмана и Отто [1]. Данные схемы позволяют получить возбуждение ППП оптическим способом. Разница этих двух схем заключается в наличии или отсутствии диэлектрической прослойки между призмой и металлической пленкой.

В данной работе была разработана структура, позволяющая совместить схемы Кретчмана и Отто в одном устройстве (*рис. 1*). В данной структуре используется призма с высоким показателем преломления (например, из гадолиний-галлиевого граната GGG, $n = 1.960$ для $\lambda = 632,8$ нм), на которую напыляется слой диэлектрика толщиной 100 – 300 нм с показателем преломления меньше, чем у призмы, но больше, чем у окружающей среды (например, кварц SiO₂, $n = 1,456$ для $\lambda = 632,8$ нм). Поверх диэлектрического слоя наносится плазмонная металлическая плёнка толщиной 30 – 70 нм. Таким образом, при малых углах падения луча эффект полного внутреннего отражения (ПВО) возникает на границе диэлектрического слоя и окружающей среды, при этом возбуждается плазмон-поляритонная волна на внешней поверхности плазмонной плёнки по схеме Кретчмана. При больших углах падения луча эффект ПВО наблюдается на границе призмы и диэлектрического слоя, при этом возбуждается плазмон-поляритонная волна на внутренней поверхности плазмонной плёнки по схеме Отто. При этом условие резонанса по Кретчману и соответствующий резонансный угол будут существенно зависеть от диэлектрических свойств окружающей среды, что позволяет реализовать сенсорную систему для детектирования изменения свойств этой среды. Резонанс по Отто, напротив, зависит в основном от свойств диэлектрического слоя и, соответственно, изменяться будет слабо. Такой резонансный пик можно использовать как опорный при сравнении с изменением положения пика по Кретчману, что существенно повышает точность и стабильность работы двухрезонансной схемы по сравнению с однорезонансной в режиме сенсора.

Для синтеза двухрезонансного плазмон-поляритонного датчика применялись методы вакуумного напыления. Напыление буферного слоя SiO₂ на гипотенузную грань призмы из монокристаллического GGG осуществлялось методом ионно-реактивного распыления кварцевой мишени в среде аргона. При напылении применялась методика формирования покрытия с градиентом эффективной толщины h_{eff} [2].

Напыление плазмонного слоя Au выполнялось методом термического испарения в вакууме исходной загрузки с чистотой Au не хуже 99,95% из молибден-вольфрамового тигля. Остаточное давление в рабочей камере не превышало $6 \cdot 10^{-4}$ Па. Толщина слоя Au составляла 35 нм.

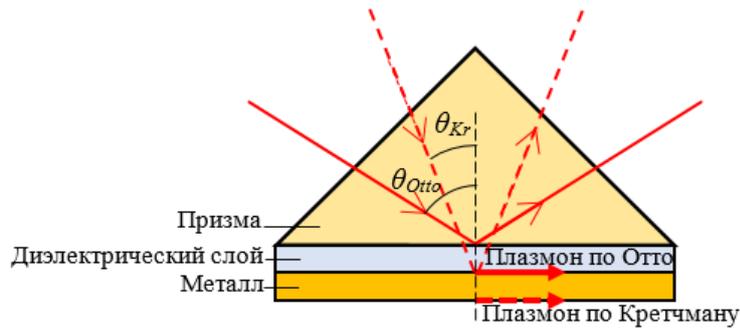


рис.1. Двухрезонансная схема возбуждения поверхностных плазмон-поляритонных волн

Исследование резонансных свойств двухрезонансного датчика осуществлялось с использованием оптической системы на базе эллипсометра ЛЭФ-3М-1. Исследования проводились в различных участках градиента эффективной толщины h_{eff} буферного слоя SiO_2 .

Видно, что при малой толщине буферного слоя ($h_{eff} = 20$ нм, рис. 2а), на рефлектометрической кривой наблюдается только один пик резонанса по Кретчману. Увеличение толщины буферного слоя до 70 нм (рис. 2б) приводит к возникновению локального минимума, соответствующего поглощению энергии на возбуждение плазмонных волн по схеме Отто. Однако, резонанс имеет крайне низкую добротность и малую глубину резонансного пика. Увеличение толщины h_{eff} буферного слоя SiO_2 до 127 нм (рис. 2в) приводит к увеличению глубины и добротности резонанса по схеме Отто.

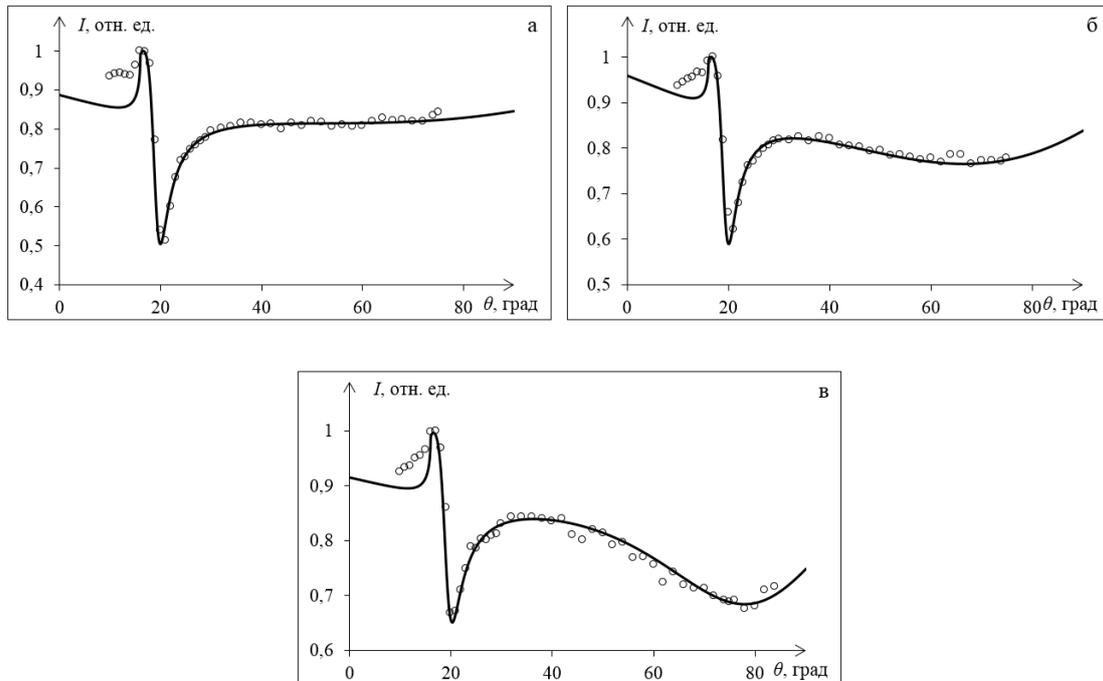


рис.2. Резонансные свойства синтезированного двухрезонансного датчика в различных участках градиента h_{eff} буферного слоя SiO_2 : а – 20 нм, б – 70 нм, в – 127 нм (круги – экспериментальные точки, сплошная линия – моделирование в пакете WinSpall).

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность предложенной схемы двухрезонансного плазмон-поляритонного датчика.

Работа выполнена в рамках поддержанного ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ22/2018.

Список публикаций:

- [1] Tomilin S.V., Berzhansky V.N., Shaposhnikov A.N., Prokopov A.R., Milyukova E.T., Karavaynikov A.V., Tomilina O.A. // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. N. 741. P. 012113.
- [2] Tomilin S V, Yanovsky A S. *J. of Nano- and Electronic Physics*. 2013. Vol. 5(3). P. 03014.

Мессбауэровское исследование магнитных свойств твердого раствора $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$

Шихова Евгения Петровна¹

Шляхова Софья Алексеевна¹, Раевский Игорь Павлович¹, Пушкарев Анатолий Васильевич², Олехнович Николай Михайлович², Радюш Юрий Владимирович², Раевская Светлана Игоревна¹, Малитская Мария Алексеевна¹

¹Физический факультет Южного федерального университета

²НИИ физики Южного федерального университета

³НПЦ НАН Белоруссии по материаловедению

Кубрин Станислав Петрович¹, к.ф.-м.н.

zhes1999@yandex.ru

В настоящее время одной из задач физики конденсированных сред и физического материаловедения, является получение однофазного мультиферроика. Мультиферроики обладают одновременно спонтанной намагниченностью, спонтанной поляризацией и пьезоэлектрическим эффектом. Одним из способов получения однофазных мультиферроиков является получение новых соединений на основе твердых растворов BiFeO_3 . Катионные замещения позволяют изменять температуры магнитного и сегнетоэлектрического упорядочений, а также разрушить пространственную спин-модулированную структуру (ПСМС). Разрушение ПСМС приводит к возникновению слабого ферромагнетизма и усилению магнитоэлектрического взаимодействия. Данная работа посвящена исследованию влияния катионных замещений на магнитные свойства $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ ($x=0.1-0.85$).

При комнатной температуре спектры образцов $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ ($x=0.1-0.4$) состоят из зеемановских секстетов, соответствующих ионам Fe^{3+} . Спектр образца с $x=0.1$ состоит из двух секстетов, с параметрами примерно равными параметрам секстетов спектра чистого BiFeO_3 . Наличие двух секстетов обусловлено наличием ПСМС. Спектры с $x=0.2-0.4$ являются суперпозицией трех секстетов. Каждый из секстетов соответствует ионам Fe^{3+} с различным числом ионов Cr^{3+} в качестве ближайшего соседа. Изменение структуры мессбауэровских спектров для образцов с $x>0.1$ указывает на разрушение ПСМС. Мессбауэровские спектры образцов с $x\geq 0.5$ представляют собой парамагнитный дублет. Наличие дублета обусловлено композиционным разупорядочением катионов В-подрешетки.

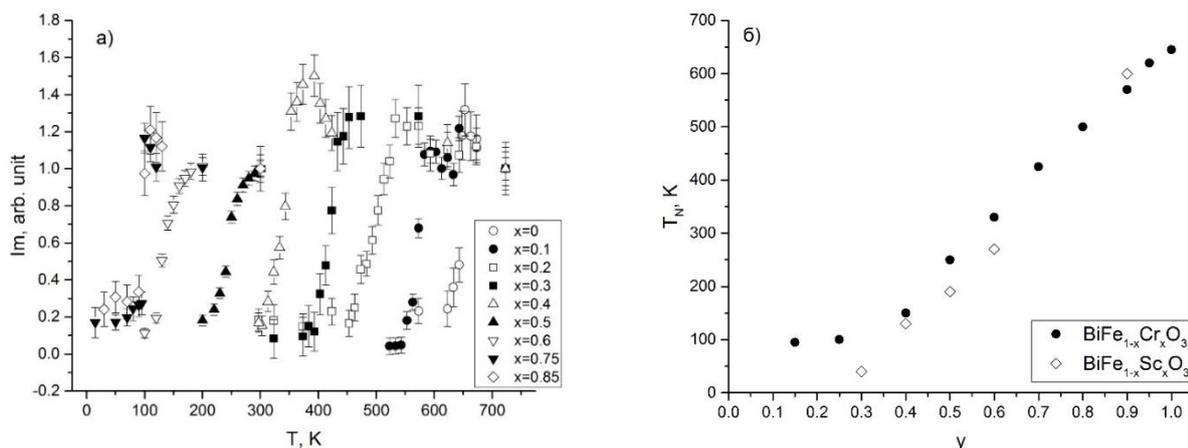


рис.1. а) Температурные зависимости интенсивности парамагнитных линий мессбауэровских спектров образцов твердого раствора $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ приведенных к их значениям при максимальной температуре. б) Концентрационные зависимости T_N для образцов твердых растворов $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ и $\text{BiFe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_3$

Для оценки температур магнитных фазовых переходов в образцах $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ использовался метод температурного сканирования. На рис.1а приведены температурные зависимости интенсивности парамагнитных линий мессбауэровских спектров. Спад на зависимостях примерно соответствует температуре магнитного фазового перехода. На рис. 2б приведена концентрационная зависимость T_N для образцов твердого раствора $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$, для сравнения также приведен график для системы $\text{BiFe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_3$. Оба графика, линейно убывают с ростом концентрации замещающих катионов. Зависимость $T_N(y)$ для $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ линейно убывает в диапазоне $0.4\leq y\leq 1$, так же, как и при замене Fe на немагнитный Sc. Это обусловлено слабым взаимодействием между ионами хрома и железа. При $y<0.4$ значения T_N изменяются слабо, что вероятно связано с изменением типа магнитного порядка с антиферромагнитного на спин-стекольное. При этом $T_N(y)$ для систем $\text{BiFe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_3$ принимает более низкие значения. Вероятно, в системе $\text{BiFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ при $y<0.4$ в магнитное взаимодействие помимо ионов Fe^{3+} , значительный вклад вносят ионы Cr.

Работы выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-52-0072 Бел а).

Влияние катионных замещений на магнитные свойства твердого раствора $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{PbFe}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}\text{O}_3$ исследованное методами мессбауэровской спектроскопии

Шляхова Софья Алексеевна¹

Шихова Евгения Петровна¹, Раевский Игорь Павлович¹, Пушкарёв Анатолий Васильевич³, Олехнович Николай Михайлович³, Радюш Юрий Владимирович³, Раевская Светлана Игоревна¹, Малитская Мария Алексеевна¹

¹Южный федеральный университет ²Научно-исследовательский институт физики ЮФУ

³Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению

Кубрин Станислав Петрович¹, к.ф.-м.н.

sofia.shlyahova@gmail.com

Мультиферроики – материалы, обладающие двумя типами упорядочений: ферромагнитным и сегнетоэлектрическим, являются одним из перспективных материалов для современной микроэлектроники [1]. Возможность управления их электрическими свойствами с помощью магнитного воздействия и наоборот, открывает широкие перспективы для создания на их основе устройств хранения информации со сверхвысокой плотностью записи [2]. Одним из многообещающих кандидатов на роль такого однофазного соединения является феррит висмута BiFeO_3 [1]. BiFeO_3 служит основой для создания тонкопленочных материалов, керамик и твердых растворов. Особенностью феррита висмута является реализуемая в нем пространственная спин-модулированная структура (ПСМС). Однако для возникновения МЭ эффекта и спонтанной намагниченности требуется разрушение ПСМС [1].

В работе представлены результаты исследования влияния катионных замещений и композиционного упорядочения на магнитные свойства в твердом растворе $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{PbFe}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}\text{O}_3$ ($x=0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$) методами мессбауэровской спектроскопии.

При комнатной температуре структура мессбауэровских спектров образцов с $x=0.05$ и 0.1 совпадает со структурой спектра BiFeO_3 и состоит из двух зеемановских секстетов. Мессбауэровские спектры образцов с $x=0.3$ и 0.5 представляют собой зеемановский секстет, соответствующий ионам Fe^{3+} в октаэдрическом окружении. Изменение структуры мессбауэровского спектра при $x>0.1$ обусловлено разрушением ПСМС. На мессбауэровских спектрах с $x=0.7$ и 0.9 наблюдаются две парамагнитные компоненты – дублет и синглет. Синглетная компонента соответствует ионам Fe^{3+} в областях с композиционным упорядочением, а дублет – Fe^{3+} в разупорядоченных областях.

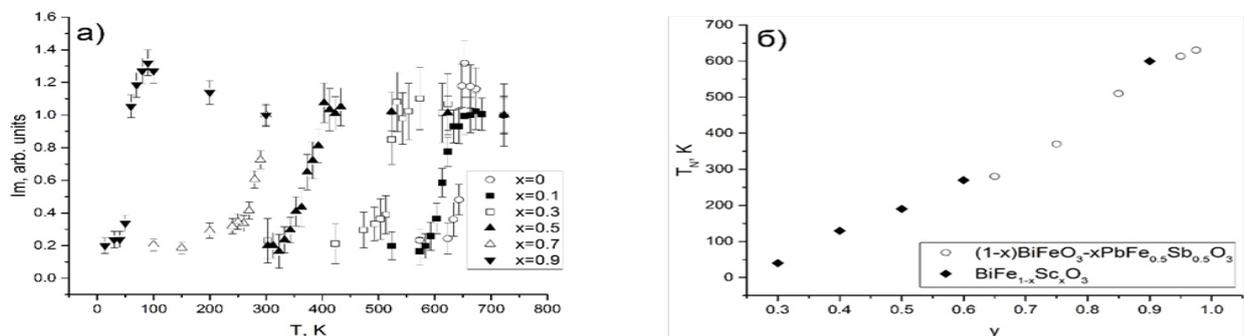


рис.1. а) Температурные зависимости интенсивности парамагнитных линий мессбауэровских спектров образцов твердого раствора $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{PbFe}_{1/2}\text{Sb}_{1/2}\text{O}_3$ ($x=0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$) приведенных к их значениям при максимальной температуре. б) Концентрационные зависимости T_N для образцов твердых растворов $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{PbFe}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}\text{O}_3$ и $\text{BiFe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_3$

Для определения температур магнитных фазовых переходов (T_N), были проведены измерения методом температурного сканирования. На рис. 1а представлены температурные зависимости интенсивности парамагнитных линий мессбауэровских спектров. Спад на зависимостях примерно соответствует температуре магнитного фазового перехода. На рис. 1б приведена концентрационная зависимость T_N для образцов твердого раствора $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{PbFe}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}\text{O}_3$, для сравнения также приведен график для системы $\text{BiFe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_3$. Оба графика, линейно убывают с ростом концентрации замещающих катионов. В перовскитных соединениях T_N в основном определяется числом цепочек $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}-\text{Fe}^{3+}$ [3], через которые происходит косвенное обменное взаимодействие. Понижение T_N обусловлено понижением числа цепочек $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}-\text{Fe}^{3+}$ в результате катионных замещений. Кроме того, число цепочек $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}-\text{Fe}^{3+}$ зависит от степени композиционного упорядочения. Таким образом, более быстрое понижение T_N с ростом концентрации замещающих катионов обусловлено частичным упорядочением ионов Fe^{3+} и Sb^{5+} .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №16-52-0072Бел а) Список публикаций:

[1] W. Eerenstein, N. D. Mathur, J. F. Scott // Nature. 2006. V. 442. p. 759.

[2] J.F. Scott//Nature Materials.2007. V. 6. P.256.

[3] Goodenough J.B. Magnetism and chemical bond. N-Y. – London: Interscience Publisher, 1963

3 - Физика полупроводников и диэлектриков

Васильев Никита Николаевич, магистрант 1 года обучения
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 стр. 131

Гусева Ксения Евгеньевна, магистрант 1 года обучения
Ярославль, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, физический
Временная динамика модификации поверхности пленок селенида свинца-олова при обработке низкоэнергетичными ионами аргона
Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.
e-mail: kseniag96@mail.ru стр. 131

Дебелова Татьяна Игоревна, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Излучающие СВЧ Свойства микрополосковой линии с пьезокерамическим резонатором
Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.
e-mail: tdebelova@yandex.ru стр. 133

Дирко Владимир Владиславович, аспирант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический
Контроль эпитаксиального роста тонких пленок кремния и германия методом дифракции быстрых электронов
Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н.
e-mail: vovenmir@gmail.com стр. 134

Залялов Тимур Маратович, 4 курс
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.
e-mail: tim0802@yandex.ru стр. 136

Зарубин Виктор Юрьевич, магистрант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики
Свойства стабильных аморфных плёнок системы Ag-Sn-Sb-S
Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.
e-mail: Viktor.Yu.Zarubin@yandex.ru стр. 137

Заяханов Владимир Александрович, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Радиофизический
Контроль температуры нагревательного элемента в молекулярно-лучевой эпитаксии пирометрическим методом
Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н.
e-mail: zaiahanov@gmail.com стр. 138

Исламов Дамир Ревинирович, с.н.с.
Новосибирск, Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, лаб. физических основ материаловедения кремния
В поисках универсальной памяти
e-mail: damir@isp.nsc.ru стр. 139

Колодыко Денис Викторович, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Несимметричная микрополосковая линия с пьезокерамическим резонатором
Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.
e-mail: kdvv149@gmail.com стр. 141

Лыу Ньян Тхи, аспирант
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, электроники и вычислительной техники
Влияние режимов теплообработки на фазоформирование и размеры наночастиц ViFeO_3 , синтезированных золь-гель методом
Шейн Александр Георгиевич, д.ф.-м.н.
e-mail: luunhan20686@gmail.com стр. 143

Мацуца Дарья Вячеславовна, магистрант 1 года обучения
Самара, Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва, физический
Анализ физико-математических моделей порообразования при электролитическом травлении кремниевых пластин
e-mail: dariamatsutsa@gmail.com *Тезис не публикуется по причине нарушения правил конференции.*

Нгуен Ша Тхи, н.р.
Ханой, Ханойский индустриальный университет, фундаментальных наук
Квантово-механические расчеты электронно-энергетических и оптических спектров двумерных SiO_2 -структур с дефектами изовалентного замещения атомов кремния
Литинский Аркадий Овсеевич, -
e-mail: nguyenthisavn@gmail.com стр. 144

Скачков Сергей Сергеевич, 4 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, физико-технический институт
Наноразмерный плазмонный полевой транзистор
Дзедолик Игорь Викторович, д.ф.-м.н.
e-mail: miomade@mail.ru стр. 145

Щетников Олег Палович, аспирант 3 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики
Влияние температуры на электрофизические свойства $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{S}_5$
Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.
e-mail: futboler2008@yandex.ru стр. 147

Магнетотранспорт толстых пленок HgTe

Васильев Никита Николаевич

Савченко Максим Леонидович

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Козлов Дмитрий Андреевич, Савченко Максим Леонидович

n.vasilev@ngsu.ru

В последнее время, среди исследователей в физике твердого тела широкую популярность получил новый класс материалов – топологические изоляторы [1]. Основной особенностью данных систем является наличие поверхностных двумерных спин-поляризованных состояний. Стандартная концепция трехмерных топологических изоляторов (3Д ТИ) подразумевает наличие объемной запрещенной зоны [2]. Такой подход позволяет теоретически и экспериментально изучать свойства поверхностных состояний трехмерных топологических изоляторов, не учитывая влияние тривиальной объемной проводимости материала.

Одним из примеров 3Д ТИ является напряженная пленка HgTe толщиной более 70 нм с объемной запрещенной зоной, где уже подтверждено наличие и подробно изучены транспортные свойства дираковских электронов [3]. На сегодняшний день отсутствуют систематические исследования свойств поверхностных состояний, при переходе от квантовых ям к толстым пленкам HgTe, которые бы подтверждали наличие поверхностных состояний. Поэтому возникает несомненный интерес проверить существование и спиновые свойства данных состояний в 3Д ТИ на основе толстых пленок HgTe, высокое качество которых позволяет однозначно интерпретировать транспортный отклик многокомпонентной системы.

Данная работа посвящена первому этапу изучения этого вопроса, а именно анализу транспортных свойств толстых пленок HgTe толщиной 200 нм и 1 мкм. Считается, что изучаемые пленки HgTe не имеют запрещенной зоны. Отсутствие запрещенной зоны в данных системах приведет к тому, что поверхностные электроны всегда будут сосуществовать на фоне объемных носителей.

На первом этапе работы были получены частично и полностью релаксированные пленки HgTe толщиной 200 нм и 1 мкм снабженные затвором, который позволял изменять положения уровня Ферми в системах. Далее, после нанесения холловского мостика, были проведены измерения классического магнетотранспорта, проведен его анализ на основе модели Друде [4]. В результате было показано, что в системах возможна реализация как электронной, так и смешанной электронно-дырочной проводимости с подвижностью поверхностных электронов порядка 10^4 см²/Вс в дырочной области.

Список публикаций:

[1] König M. et al., *Science* 318, 766 (2007).

[2] Hasan M. Z. et al., *Rev. Mod. Phys.* 82, 3045 (2010).

[3] Brüne C. et al., *Phys. Rev. Lett.* 106, 126803 (2011).

[4] Бонч-Бруевич В. Л., Калашиников С. Г. *Физика полупроводников.* – 1977.

Временная динамика модификации поверхности плёнок селенида свинца-олова при обработке низкоэнергетическими ионами аргона

Гусева Ксения Евгеньевна

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова

Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.

kсениаg96@mail.ru

Известно, что распыление поверхности многокомпонентных мишеней ионами малых энергий приводит к специфическим эффектам. В частности, в работах [1-3] нами показана возможность формирования полых свинцовых структур при плазменной обработке эпитаксиальных пленок PbSe. Целью данной работы явилось продолжение исследований на примере пленок тройного твердого раствора селенида свинца-олова.

Исследования проводились на образцах селенида свинца-олова $Pb_{1-x}Sn_xSe/CaF_2/Si(111)$ ($x = 0,03$), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Плазменная обработка эпитаксиальных плёнок осуществлялась 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. При таком режиме работы реактора энергия налетающих ионов аргона не превышает 25 эВ. Время обработки варьировалась от 60 до 360 с.

Поверхность образца в исходном состоянии характеризуется однородным рельефом с треугольными ямками выхода дислокаций, латеральные размеры которых не превышают 100 нм. После 60 с обработки плёнки $Pb_{1-x}Sn_xSe/CaF_2/Si(111)$ ($x = 0,03$) на её поверхности произошло однородное наноструктурирование. Образовавшиеся структуры имеют квазисферическую форму, их средние размеры составляют 20 нм, а поверхностная плотность достигает $1,8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

На рис.1 показана временная динамика модификации нанорельефа поверхности плёнки селенида свинца-олова после проведения плазменной обработки в течение 120-360 с.

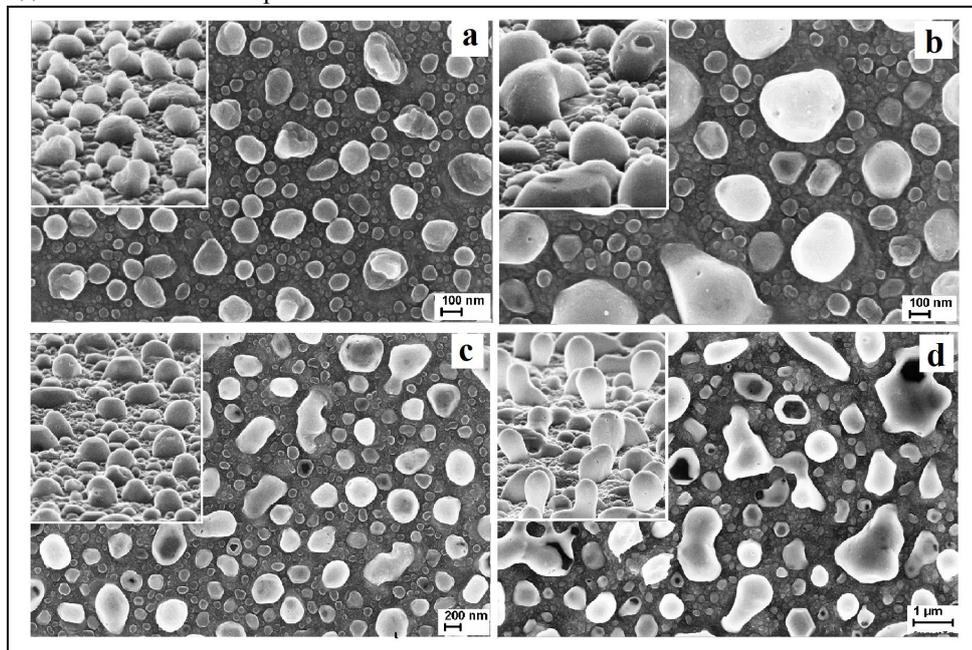


рис.1. Динамика модификации рельефа поверхности плёнок селенида свинца-олова после плазменной обработки в течение: (a) – 120 с, (b) – 180 с, (c) 240 с и (d) – 360 с. Съёмка проводилась при наклоне 0° . На вставках показаны изображения с тем же увеличением при угле съёмки 70° .

При увеличении времени плазменного распыления до 120 с на фоне ансамбля квазисферических наноструктур происходит формирование крупных частиц размерами до 150 нм (рис.1,а). Травление образца в течение 180-360 с продолжает данную тенденцию (рис. 1,б-1,д): наноструктуры растут до микронных размеров (1-2 мкм), а их поверхностная плотность продолжает уменьшаться, достигая величины $1,3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ для 360 с обработки. Кроме того, более высокая длительность процесса распыления приводит к появлению полостей в объёме микронных образований. Объём всех образовавшихся на поверхности плёнки частиц в несколько раз превосходит объём удалённой плёнки, что доказывает порый характер структур. EDX анализ зафиксировал отсутствие в частицах атомов халькогена.

Таким образом, обработка поверхности плёнок селенида свинца-олова низкоэнергетичными ионами аргона приводит при больших временах процесса к формированию порых металлических оболочек, некоторые из которых приобретают огранку. Для объяснения механизма образования таких частиц можно использовать гипотезу, предложенную в работе [1] с несколькими корректировками. При появлении внутренних пор необходимо учитывать обратный эффект Киркендалла, при котором ионная бомбардировка обуславливает появление радиационных дефектов в объёме материала, благодаря чему образуется градиент концентрации изначально однородного материала и формируются полости.

Автор выражает признательность своему научному руководителю 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. Формирование порых свинцовых структур на поверхности плёнок $PbSe$ при обработке в аргоновой плазме / С.П. Зимин, И.И. Амиров, В.В. Наумов, К.Е. Гусева // Письма в ЖТФ. – 2018. – Т. 44. – В.12. – С. 32 – 38.
- [2] Гусева К.Е. // Сборник материалов VI Научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых учёных, 2018, ЛЭТИ, Санкт-Петербург, С. 576 - 579 .
- [3] Гусева К.Е., Зимин С.П., Амиров И.И. // Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки в 21 веке», 2018, ЯрГУ, С. 127-128.

Излучающие СВЧ свойства микрополосковой линии с пьезокерамическим резонатором

Дебелова Татьяна Игоревна

Колодько Денис Викторович

Южный федеральный университет

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

tdebelova@yandex.ru

Пьезоэлектрические резонаторы в настоящее время активно развиваются находят широкое применение в различных направлениях техники. Их развитие связано с повышением надежности, стабильности генерируемых частот и избирательности приемной аппаратуры. приборов обработки сигналов в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ). Они имеют широкую область применения благодаря таким свойствам, как высокие значения диэлектрической проницаемости, сравнительно невысокий уровень СВЧ диэлектрических потерь сегнетоэлектриков [1,2]. В работе представлены результаты исследования излучения электромагнитного поля микрополосковой линией (МПЛ) при размещении на её поверхности различных пьезоэлектрических резонаторов. Резонаторы изготовлены из пьезокерамики типа ПКР-13 с кристаллитами различного размера (d). Они представляли собой диски диаметра и толщины без электродов. С помощью штыревого или петлевого зонда, располагаемого перпендикулярно плоскости резонатора, получены спектры излучения энергии на различных расстояниях от центра пьезокерамического резонатора при его различной ориентации относительно оси. Получены диаграммы распределения напряженности электрического поля. Измерения производились в диапазоне частот $3 \div 12$ ГГц.

В качестве резонаторов выбрана пьезокерамика ПКР-13, которая по сравнению с другими аналогичными материалами она обладает рядом преимуществ, такими как устойчивость к внешним воздействиям, возможность влиять на рабочие характеристики микроволновых устройств посредством управляющего напряжения, возможность использования в широком диапазоне уровней мощности.

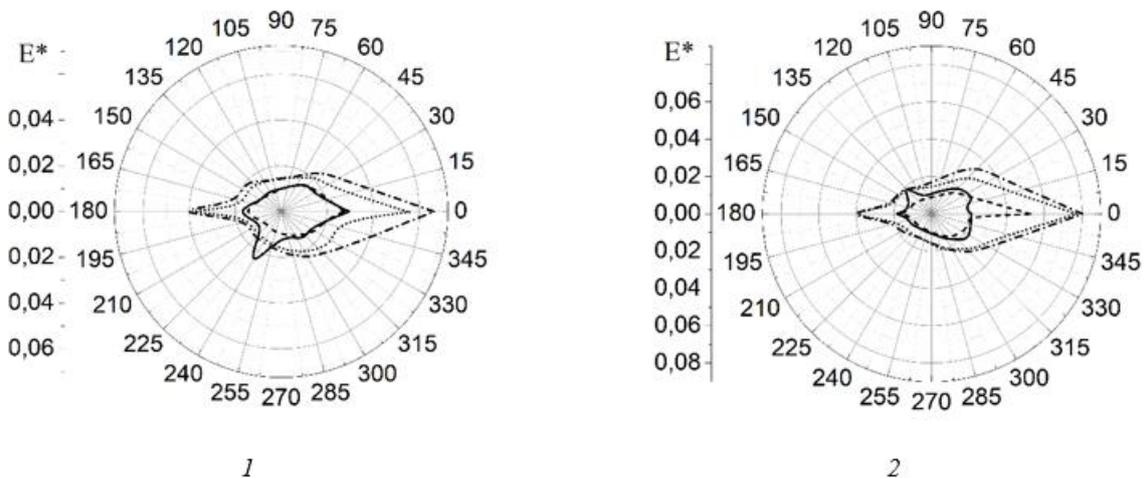


рис.1. Угловое распределение интенсивности электрического поля резонатора с $d=19$ мкм для четырех его положений на МПЛ с разными углами поворота α вокруг оси диска: 0° - —; 90° - ----; 180° - -.-.-.; 270° -
• 1 – у боковой поверхности резонатора, 2– на расстоянии 5 мм от резонатора. $f=4,5$ ГГц.

Получены зависимости величины E^* , пропорциональной напряженности электрического поля, и B^* , пропорциональной индукции магнитного поля, в окрестностях резонатора в зависимости от расстояния относительно центра пьезокерамического образца (в плоскости диска-резонатора и перпендикулярно ей над центром образца). Аналогичные зависимости получены от угла поворота α вокруг оси диска-резонатора. Пример углового распределения напряженности электрического поля, излучаемого резонатором с $d=19$ мкм при его различной ориентации на МПЛ, представлено на (Рис.1). Измерения проводились в точках у боковой поверхности образца и при удалении от нее на 5 мм в плоскости диска-резонатора. ЭМ волна распространяется в МПЛ от генератора к нагрузке справа налево: $180^\circ \square - 0^\circ \square$ Из рисунка видно, что изображения распределений поля вытянуты вдоль проводящего микрополоска. Их центры сосредоточены около центра диска-резонатора и смещены вправо — к генератору. На картинах распределения имеются точки с заниженными значениями напряженности электрического поля E^* . Возможно, это вызвано поглощением энергии поля элементами доменной структуры пьезокерамического резонатора. Но, с другой стороны, ансамбли различных элементов доменной структуры пьезокерамического диска, которые колеблются в ЭМ поле, тоже являются источниками

энергии. Вероятно, это и есть причина наличия вытянутых участков функций распределения поля, в которых наблюдаются завышенные значения E^* : на рис.1(1)- по лучу 249° и на рис.1(2)- по лучу 135° для $\alpha = 0^\circ$

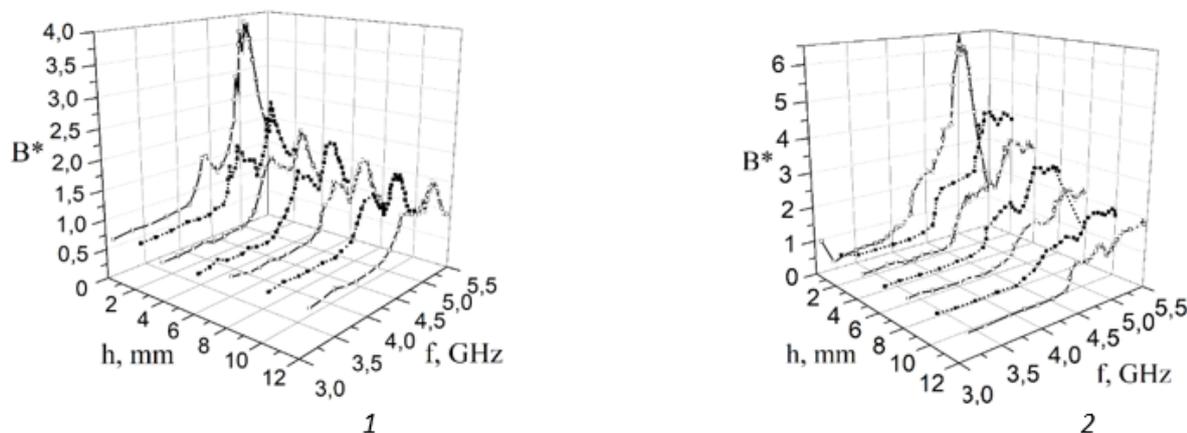


рис. 2. Спектры интегрального излучения индукции магнитного поля пьезокерамики с размерами кристаллитов: 1 – 7 мкм и 2 – 19 мкм.

Пример распределения индукции магнитного поля, измеренной петлевой антенной диаметром 0,8 см представлен на (Рис.2). Общим для всех полученных зависимостей являлось наличие острого максимума излучения на частоте ~ 5 ГГц в полосе пропускания шириной $\sim 0,5$ ГГц при $h = 0$. Величина максимума уменьшалась с ростом h . Также на графиках присутствует менее ярко выраженный максимум на частоте $\sim 4,4$ ГГц, который не изменяется с ростом h . Вероятно, полученные спектры излучения— это сумма двух резонансных процессов со сходными частотами: излучения сегнетоэлектрического диска и излучения резонирующих механических двойников.

Список публикаций:

- [1] Карин М., Рабэ К.М., Чарльз Н., Ан С.Н., Дж.-М. Трискон // Физика Сегнетоэлектриков: Современные перспективы, Спрингер. 2010. С. 1-222.
 [2] Сидоренко Е.Н., Гавриляченко В.Г., Натхин И.И., Дебелова Т.И., Кольдько Д.В. Излучающие СВЧ Свойства Пьезокерамики ПКР-13 // Физика, Механика Новых Материалов и их применения. 2017. С. 191.

Контроль эпитаксиального роста тонких пленок кремния и германия методом дифракции быстрых электронов

Дирко Владимир Владиславович

*Заяханов Владимир Александрович, Болат Ризабек Курманулы, Третьяков Александр Юрьевич
 Национальный исследовательский Томский государственный университет*

Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н.

vovenmir@gmail.com

Оптоэлектроника - одна из бурно развивающихся научно-технических направлений. Свое развитие получила, благодаря тому, что 80% информации человек получает посредством изображения, что позволяет использовать оптоэлектронные приборы в различных системах передачи информации, ее обработки, получения, хранения, отображения. А за счет большого разнообразия применяемых материалов появляются различные оптоэлектронные технологии, средства передачи информации по оптическим каналам, преобразователи оптического излучения в энергию, оптическая вычислительная техника и др. Создание оптоэлектронных приборов на наногетероструктурах позволяет значительно улучшить существующие технологии и получить новый класс совершенных приборов за счет проявляемых квантово-механических эффектов [1,2].

Одним из основных методов получения наногетероструктур для оптоэлектроники является метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). В свою очередь формирование эпитаксиальных слоев невозможно без определения основных факторов определяющих синтез формируемых наногетероструктур. Одним из таких факторов является роста эпитаксиальных пленок.

Пользуясь методом измерения интенсивности осцилляций дифракционных картин при дифракции быстрых электронов (ДБЭ), в установке МЛЭ, были получены скорости роста эпитаксиальных пленок для материалов Si и Ge на подложке Si (111) по характерным осцилляциям интенсивности дифракционных картин в зависимости от тока электронно-лучевых испарителей. Так при синтезе Si на подложку Si (111) при её температуре от 300 до 600 С с помощью видеокамеры и программного обеспечения регистрировалось изменение интенсивности дифракционных картин на люминесцентном экране (см. рис. 1 (а)).

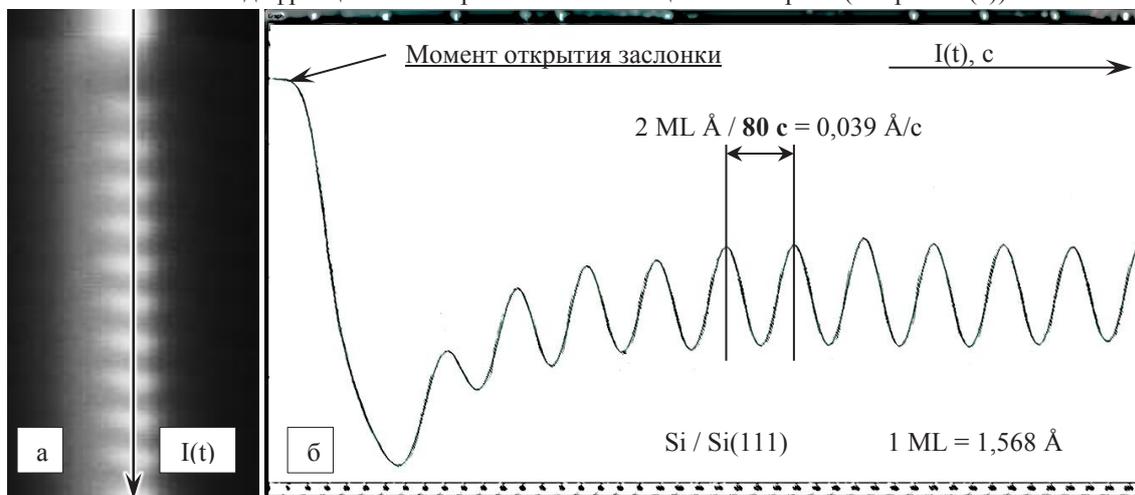


рис.1. а - изменение интенсивности профиля дифракционной картины, проходящего в направлении зеркального рефлекса в процессе осаждения Si ($T=500^{\circ}\text{C}$) на подложку Si(111) (изменение времени сверху - вниз), (б) Зависимости интенсивности профилей от толщины Si, взятые в направлении зеркального рефлекса и указан стрелкой на рисунке а

На рисунке 1(б) наблюдаются периодически повторяющиеся осцилляции интенсивности во времени. Каждый период осцилляции соответствует одному выращенному бислою Si. Максимум интенсивности первой осцилляции отсутствует, рост в этот момент происходит предпочтительно на метастабильных реконструкциях, поэтому второй бислой начинает образовываться задолго до завершения первого, а затем рост происходит послойно [3]. Максимум интенсивности осцилляции приходится на атомарно гладкую поверхность подложки, а минимум - половинному заполнению одного слоя. Период осцилляций соответствует одному выращенному бислою Si. Толщина одного бислоя Si (111) составляет 1.568 \AA [4]. Зная толщину одного бислоя и время его формирования легко рассчитать скорость синтеза Si на подложке Si (111) в зависимости от параметров источников материалов.

Таким образом, в работе представлены результаты исследования синтеза Si и Ge на подложках Si(111) и Si(100) методом ДБЭ. Из осцилляций интенсивности дифракционных картин определены скорости синтеза Si и Ge на подложке Si(111) в зависимости от тока эмиссии электронно-лучевого испарителя. ДБЭ используется для контроля состояния поверхности подложки и растущего слоя и даёт возможность судить о структуре поверхности по характерным дифракционным картинам на люминесцентном экране.

Список публикаций:

- [1] Боровик А.М.. Моделирование квантово-механических эффектов в наноразмерных МДП-транзисторах. 28-я международная крымская конференция «свч-техника и телекоммуникационные технологии, 09-15 сентября 2018 г, Севастополь, с 968-974.
- [2] I.I. Izhnina, O.I. Fitsyha, A.V. Voitsekhovskii, A.P. Kokhanenkob, K.A. Lozovoyb, *, V.V. Dirko. Nanostructures with Ge-Si quantum dots for infrared photodetectors // *Opto-Electronics Review*. – 2018. – V. 26. – P. 195-200. DOI: 10.1016/j.opelre.2018.06.002.
- [3] Тимофеев, В.А. Критическая толщина 2D-3D перехода в процессе роста тонких пленок $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ / В.А. Тимофеев, А.И. Никифоров, В.В. Ульянов, С.А. Туйс, О.П. Пчеляков // XV Международный симпозиум «нанопизика и наноэлектроника», 14-18 марта 2011, Нижний Новгород, с. 248.
- [4] Lozovoy K.A., Kokhanenko A.P., Voitsekhovskii A.V. Comparative analysis of germanium-silicon quantum dots formation on Si(100), Si(111) and Sn/Si(100) surfaces *Nanotechnology*. – 2018.– V. 29. – P. 054002 (1-7). DOI: 10.1088/1361-6528/aa9fdd.

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

Залялов Тимур Маратович

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

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

Исламов Дамир Ревинирович, к.ф.-м.н.

tim0802@yandex.ru

Оксид гафния HfO_2 характеризуется высокой температурной стойкостью, механической и химической стабильностью. Оксид гафния является high-к диэлектриком и имеет высокое значение диэлектрической проницаемости ($\epsilon \approx 16-40$). Большая величина ширины запрещенной зоны ($E_g \approx 5,6$ эВ) делает этот диэлектрик прозрачным в широком спектре: от ультрафиолетового до среднего инфракрасного диапазона. В результате оксид гафния используется в оптических покрытиях в качестве защитного слоя, в зеркалах с высокой отражательной способностью и при просветлении оптики. High-к диэлектрики получили широкое применение в микроэлектронике. Оксид гафния заменил традиционный для микроэлектроники оксид кремния в качестве подзатворного диэлектрика в полевых транзисторах. Более высокая диэлектрическая проницаемость оксида гафния позволила уменьшить и ускорить транзисторы, используемые в современных микропроцессорах. Высокие энергетические барьеры для электронов ($\Phi^c \approx 2,0$ эВ) и дырок ($\Phi^h \approx 2,5$ эВ) на границе с кремнием и высокие термические энергии ловушек для электронов ($W_t^c \approx 1,25$ эВ) и дырок ($W_t^h \approx 1,25$ эВ) делает оксид гафния многообещающим для применения в качестве активной среды в элементах флэш-памяти [1]. В связи с этим, изучение накопления заряда в пленках оксида гафния является актуальной задачей для исследования.

В работе исследуются тонкие пленки оксида гафния, полученные методом атомно-слоевого осаждения (АСО) на подложке $n\text{-Si}(100)$. Данный метод является наиболее распространенным для получения равномерных тонких пленок. Преимуществом метода АСО является самоограниченность реакций на поверхности, что дает возможность управлять толщиной и составом на атомарном уровне. Для получения исследуемых пленок были использованы две системы прекурсоров. Образцы первой серии получены с использованием прекурсоров тетрааксэтилметиламид гафния (IV) (ТЕМАН) и H_2O при температуре подложки 250°C . Образцы были подвергнуты отжигу при температурах 440 , 550 и 700°C . При получении второй серии были использованы прекурсоры тетраакс-2,2,6,6-тетраметил-3,5-гептандионат гафния ($\text{Hf}(\text{thd})_4$) и O_2 при температуре подложки 440°C . Последующий отжиг образцов происходил при температурах 550 и 700°C . Отжиг производился в инертной атмосфере азота N_2 в течение одного часа, затем нагрев отключался и образцы медленно охлаждались до комнатной температуры. Толщина диэлектрического слоя в полученных структурах составила 40 нм. Для создания МДП структур на пленки были нанесены алюминиевые контакты.

Одним из самых распространенных и информативных методов исследования МДП структур является измерение вольт-фарядных характеристик (ВФХ). Из вида ВФХ было получено значение емкости МДП структуры, значение диэлектрической проницаемости диэлектрика, из напряжения сдвига плоских зон были вычислены значения величины и знака встроенного в диэлектрик заряда. Из результатов измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ) были получены значения концентраций центров локализации заряда в диэлектрике.

На Рис. 1 приведены значения концентрации локализованных электронов n_t и дырок p_t от концентрации ловушек N . Обнаружено, что значения N зависят от условий синтеза диэлектрических пленок и лежат в диапазоне

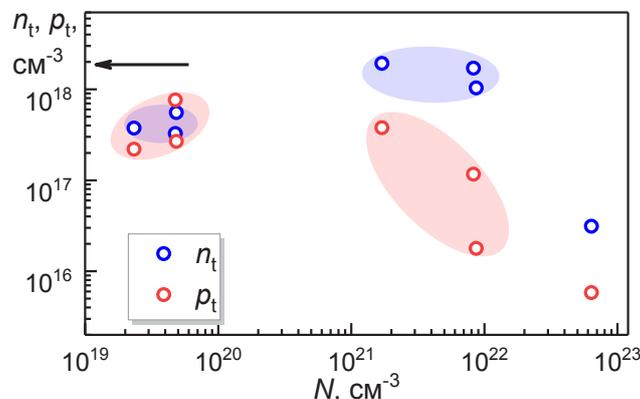


рис.1. Значения концентрации локализованных электронов n_t и дырок p_t соответствующие значениям концентраций ловушек N . Стрелкой показано максимальное значение n_t

$10^{19} - 10^{22} \text{ см}^{-3}$. В образцах первой серии значения $N > 10^{21} \text{ см}^{-3}$, а n_i превосходят значения p_i на порядок и более, что свидетельствует о преобладании электронной компоненты тока над дырочной. Значения n_i лежат в диапазоне $3 \times 10^{16} - 2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Аномально низкие значения n_i и p_i при $N = 6 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$ предположительно связаны с экстремально высоким значением концентрации дефектов и, как следствие, большим значением проводимости: заряд не накапливается, а стекает на электрический контакт. Значения n_i и p_i образцов второй серии близки и лежат в диапазоне $(3-8) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что указывает на биполярную проводимость образцов, а $N < 6 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Это соответствует литературным данным [2]. Таким образом, значения максимальных концентраций локализованных носителей заряда в исследуемых диэлектрических пленках слабо отличаются при изменении концентраций ловушек более чем на три порядка. То есть, в изучаемых образцах концентрация заряженных ловушек не зависит от общего количества центров локализации. Мы предполагаем, что этот эффект вызван кулоновским отталкиванием электронов и образованием структуры типа Вигнеровского кристалла. Это подтверждается оценками максимальной концентрации локализованных носителей заряда для случая трёхмерной плотной упаковки типа ГЦК или ГПУ $n_i^{\text{max}} \sim (0,2-1,5) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре.

Список публикаций:

[1] Gritsenko V.A., Perevalov T.V., Islamov D.R. *Electronic properties of hafnium oxide: A contribution from defects and traps* // *Physics Reports*. 2016. V. 613. P. 1-20.

[2] Islamov D.R., Gritsenko V.A., Cheng C.H., Chin A. *Bipolar conductivity in amorphous HfO₂* // *Applied Physics Letters*. 2011. V. 99. P 072109.

Свойства стабильных аморфных плёнок системы Ag-Sn-Sb-S

Зарубин Виктор Юрьевич

Мельникова Нина Владимировна, Колосов Владимир Юрьевич, Юшков Антон Александрович, Игнатова Кристина Игоревна, Пряхина Виктория Игоревна, Новоселов Евгений Сергеевич

Уральский федеральный университет

Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.

Viktor.Yu.Zarubin@yandex.ru

Проблемы создания возобновляемых источников энергии выдвигают задачи, связанные с поиском новых материалов для фотоэлектрических и термоэлектрических устройств. В последнее время акцент исследований направлен, в том числе, на многокомпонентные халькогениды серебра и меди [1-4]. Ряд многокомпонентных материалов на основе серебра имеют ширину запрещенной зоны порядка 1.5 эВ и высокий оптический коэффициент поглощения, что делает их пригодными для применения в преобразовании солнечной энергии. В данной работе оценивается степень устойчивости тонких аморфных плёнок системы Ag-Sn-Sb-S к воздействиям электронных пучков и высоких температур, а также исследуются некоторые оптические и электрические свойства.

Плёнки синтезировали из объёмного материала AgSnSbS_3 , методом вакуумного напыления на слюду с тонким подслоем углерода. Получены плёнки двух типов: очень тонкие, толщиной приблизительно 10-20 нм, и плёнки толщиной около 50-60 нм. Плёнка для исследования в просвечивающем электронном микроскопе (JEM-2100) отделялась в дистиллированной воде и помещалась на стандартную сеточку. Выполнены съёмки в просвечивающем скан-режиме, в режиме дифракции и просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) в светлом поле, проведён рентгеновский микроанализ, исследовано влияние воздействия сфокусированным и сканирующим электронным пучком.

ПЭМ-изображение сплошной однородной аморфной плёнки представлено на рис. 1 а. На картинах электронной дифракции наблюдается гало (рис.1 б). Результаты микроанализа свидетельствуют о равномерном распределении элементов в плёнке. Состав в атомных процентах: 29% S, 19% Sn, 14-15% Sb, 4-5% O, 4-5% Ag, 28% Cu (Cu – материал предметной сетки для ПЭМ, на который помещена плёнка).

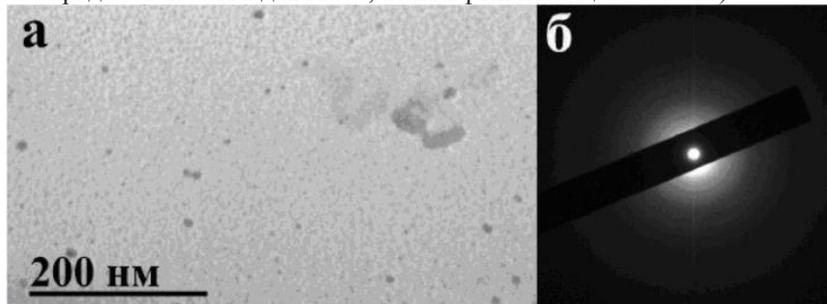


рис.1 а – ПЭМ-изображение участка аморфной плёнки; б – дифракция (аморфное гало)

Установлено, что плёнки остаются в аморфном состоянии при воздействии на них двух типов электронного пучка – отжиге сфокусированным и сканирующим электронным пучком (локальная температура при этом достигала 300°C). С целью установления предельных температур, выше которых плёнки начинали бы кристаллизоваться, проводился их отжиг в муфельной программируемой печи. Для более быстрого и равномерного нагрева плёнки помещались на заранее разогретую, размещённую в печи, массивную металлическую подложку. Выявлено, что только при температуре $T \approx 390-400$ К в плёнке появляются закристаллизованные участки. На рис. 2 представлены ПЭМ-изображение и рентгенограмма участка плёнки после отжига при температуре $T \approx 390-400$ К.

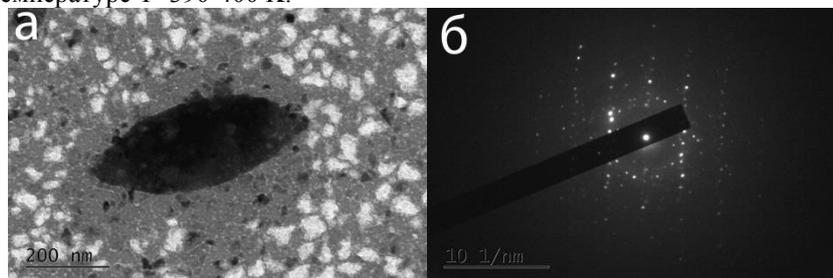


рис. 2. а - ПЭМ –изображение, б – электронограмма плёнки после отжига

Проведена предварительная оценка коэффициента отражения плёнок (Agilent Cary 5000), величина которого около 1,6, изучены вольтамперные характеристики, измерена локальная электропроводность.

Список публикаций:

- [1] M.A. Villarreal, L.M. Chalbaud, B.J. Fernández et al. *J. Phys. Conf. Ser.* 167 12045 (2009).
- [2] A. Galdámez, F. López-Vergara, P. Barahona et al. *J Solid State Electrochem* 16 697 (2012).
- [3] Е.М. Зобов, А.Ю. Моллаев, Л.А. Сайытлаева и др. *ФТТ* 58 2369 (2016).
- [4] A. Faghaninia, G. Yu, U. Aydemir et al. *Phys.Chem.Chem.Phys.* 19 6743 (2017).

Контроль температуры нагревательного элемента в молекулярно-лучевой эпитаксии пирометрическим методом

Заяханов Владимир Александрович

*Дирко Владимир Владиславович, Болат Ризабек Курманулы, Третьяков Александр Юрьевич
Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н.
zaiahanov@gmail.com*

В данный момент молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) представляет собой полностью отработанную технологию с большими потенциальными возможностями. Метод МЛЭ обладает очень широкими возможностями: он позволяет использовать при выращивании различные способы маскирования, выращивать эпитаксиальные слои элементарных полупроводников, полупроводниковых соединений, металлов и диэлектриков, гетероструктуры с высоким качеством границ между слоями. При этом могут выращиваться гетеропереходы с сопряженными решетками и с постепенно изменяющимся периодом кристаллической решетки [1]. Одним из методов контроля температуры роста слоев является пирометрический.

Пирометры - бесконтактные измерители температуры, принцип действия которых основан на регистрации теплового излучения объекта измерения преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света - по-прежнему являются незаменимыми элементами контроля. [2].

Подложка кремния Si (111) была помещена в установку МЛЭ «Катунь – 100». Измерение температуры подложки проводили с помощью цифрового инфракрасного пирометра IS 50-LO plus с диапазоном длин волн 1,1...1,5 мкм. Картины перехода структуры Si (111) получены методом дифракции быстрых электронов.

После проведения химической обработки и отжига пластины Si (111) была проведена калибровка нагревателя подложек. Сначала увеличиваем мощность, подаваемую на нагревательный элемент до момента изменения вида дифракционной картины от поверхности пластины Si(111) 7×7 в 1×1. Так определялось значение калибровочной точки для пирометра. Известно, что сверхструктура Si(111) 7×7 стабильна до температуры около 836°C (Рис. 1, а), свыше которой она претерпевает разрушение и происходит переход в структуру «1×1» (Рис. 1, б). Этот переход обратимый и при охлаждении сверхструктура 7×7 восстанавливается [3]. Затем, задавая различные значения мощности нагревательного элемента, была построена калибровочная кривая температуры подложки по значениям, полученным пирометром.

Схема расположения объектива пирометра и подключение его к установке МЛЭ «Катунь – 100» приведена на рисунке 1, в.

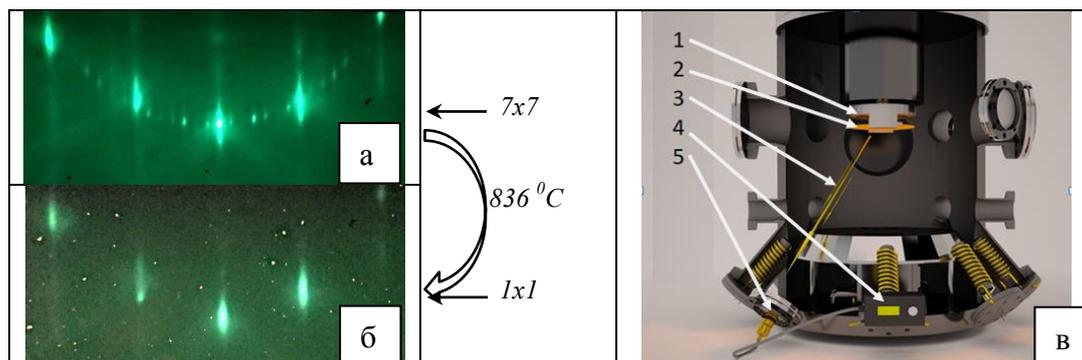


рис.1. (а) - Сверхструктура Si(111) 7×7; (б) - сверхструктура Si(111) 1×1; (в) - схема расположения объектива пирометра и подключение его к установке МЛЭ «Катунь – 100», где 1 - нагреватель подложек, 2 - пластина Si (111), 3 – направление инфракрасного излучения, 4 – пирометр, 5 – смотровое окно

Таким образом, комбинация метода дифракции быстрых электронов и пирометрического метода позволяет определять температуру подложки. Используя подложку Si (111) и цифровой инфракрасный пирометр IS 50-LO plus за пределами камеры эпитаксии с наведенным фокусом на подложку определялась калибровочная точка для калибровки нагревательного элемента подложки в зависимости от подаваемой мощности, по переходу сверхструктуры 7x7 в 1x1, который наступает при 836 °C

Список публикаций:

- [1] Щука, А. А. Нанoeлектроника : учебник для бакалавриата и магистратуры / А. А. Щука ; под общ. ред. А. С. Сигова. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 297 с.
- [2] Нанотехнология. Физика, процессы, диагностика, приборы / Под ред. Лучинина В. В., Таурова Ю. М. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 552 с. — ISBN 5-9221-0719-4
- [3] Атомная силовая микроскопия. [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.qwrt.ru/news/156>, (дата обращения – 20.03.2019).

В поисках универсальной памяти

Исламов Дамир Ревинирович

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

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

damir@isp.nsc.ru

Повышение радиационной стойкости бортовых высокопроизводительных вычислительных систем ВВСТ требует создания недорогих однокристалльных интеллектуальных «систем-на-кристалле» с повышенной стойкостью к внешним воздействующим факторам. Эта проблема является важной геополитической и наукоёмкой научно-технической и технологической задачей для отечественных разработчиков ВВСТ с целью развития изделий, ориентированных на применения в условиях с повышенными уровнями воздействия радиации и температуры. С другой стороны, для исполнения федеральных законов 374-ФЗ от 06.07.2016 «О внесении изменений в Федеральный закон «О противодействии терроризму» и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности» и 375-ФЗ от 06.07.2016 «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности» и постановления №445 Правительства РФ «Об утверждении Правил хранения операторами связи текстовых сообщений пользователей услугами связи, голосовой информации, изображений, звуков, видео- и иных сообщений пользователей услугами связи» операторам телекоммуникационной связи необходимо хранить огромный объём информации на протяжении нескольких месяцев с оперативным доступом к данным. Для этого необходимо разработать, создать и ввести в эксплуатацию системы хранения данных (СХД), удовлетворяющих ряду требованиям; большой объём хранимы данных при минимальном энергопотреблении, достаточно быстрая скорость записи и чтения, обеспечение безопасности данных с защитой от

несанкционированного доступа. Очевидно, что как для систем первого типа, так и для второго системы хранения информации должны быть сугубо электронными без механически подвижных частей.

Базовыми элементами для создания таких систем в настоящее время являются ячейки энергонезависимой памяти. Массивы таких ячеек (матрицы) с небольшим объёмом могут выступать в роли оперативной памяти (оперативное запоминающее устройство, ОЗУ) «систем-на-кристалле». В купе с энергонезависимостью, высоким быстродействием (свыше 500 МГц) и уровнем интеграции (до 15 000 000 ячеек) такие матрицы могут стать универсальной памятью (универсальное запоминающее устройство, УЗУ), заменив собой ОЗУ и внешние хранилища данных (постоянные запоминающие устройства, ПЗУ). Сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) матриц энергонезависимой памяти больших объёмов позволяют хранить требуемую информацию, при этом электроэнергия потребляется только на запись либо чтения данных, но не во время хранения. Объём СХД ограничивается количеством подключённых блоков таких СБИС и может быть наращено добавлением новых.

В настоящее время на коммерческом рынке устройства энергонезависимой памяти без механических компонент представлены приборами флэш памяти (электрически перепрограммируемые запоминающие устройства, ЭППЗУ) на основе полевого транзистора с плавающим затвором. Флэш-память была изобретена Фудзи Масуока (Fujio Masuoka) в компании Toshiba в 1984 г. Название флэш (flash, вспышка, быстрый, мгновенный, кадр) было придумано также в Toshiba Шоджи Ариизуми (Shoji Ariizumi) в связи с тем, что быстрое стирание информации во флэш-матрице осуществляется не отдельными битами, а блоками (кадрами). В 1988 г. компания Intel выпустила коммерческий вариант флэш-памяти NOR-типа. На этом основании компании Intel иногда ошибочно приписывают авторство в разработке флэш-памяти. Флэш-память типа NAND также была изобретена в Toshiba в 1989 г. Рынок сбыта флэш-памяти в настоящее время огромный. В связи с этими обстоятельствами производством флэш-памяти занимается около пятидесяти фирм: Samsung Semiconductor, Hynix (Корея), Toshiba, Matsushita, Mitsubishi, NEC Electronics, Oki, Renesas/Hitachi, Sony, Sharp, Seiko/Epson (Япония), Spansion (AMD/Fujitsu, США/Япония), IM Flash Technologies (Intel/Micron Technology), Motorola, Cypress Semiconductor, SanDisk, Kingston, Atmel, MicroChip, Ramtron, Sunnyvale, Texas Instruments, Honeywell, Renesas, Zilog Flash MCU's (США), Infineon/Qimonda, X-Fab (Германия), ST Microelectronics (Италия/Франция), SGS-Thomson (Италия), EM Microelectronics (Швейцария), Austria Microsystems Foundry (Австрия), NXP Semiconductors (Philips, Нидерланды), Macronix, ProMOS, TSMC, UMC (Тайвань), Grace Semiconductor Manufacturing Corporation (GSMC), Nanotech Foundry, SMIC (КНР), Chartered Semiconductor (Сингапур), Tower Semiconductor (TowerJazz, Израиль).

Несмотря на значительный прогресс в развитии флэш памяти для коммерческих целей, радиационная стойкость приборов с плавающим затвором из поликристаллического кремния при требуемой степени интеграции крайне низка. Более того, уменьшения проектной нормы (линейного размера) элемента памяти до 10-15 нм ограничивает надёжность прибора из-за квантово-размерных эффектов: в плавающем затворе помещается не более 10-15 электронов из-за кулоновского (взаимного) отталкивания. Электронные приборы флэш памяти основаны на хранении заряда в ячейке (или в какой-либо части ячейки). Два различных состояния «0» и «1» формируются присутствием (например, состояние «0») или отсутствием (в данном случае состояние «1») электронов в определённом месте хранения заряда. Для предотвращения растекания накопленного заряда ячейка хранения должна быть ограничена энергетическими барьерами достаточной высоты. Характеристики энергетических барьеров, т.е. высота и ширина определяют время хранения информации. Существуют два основных механизма растекания накопленного заряда. Первый из них — термический надбарьерный переход (термическая ионизация) описывается вероятностью Больцмана. Вторым механизмом растекания заряда является туннелирование электронов через энергетический барьер. Оценки показывают, что для надёжного хранения данных толщина электронных барьеров должна составлять не менее 5-7 нм при высоте 1,5-1,8 эВ. Соответственно, минимальный размер плавающего затвора составляет ~10 нм. С одной стороны, наличие высоких барьеров, ограничивающих ячейку памяти, обеспечивает надёжное хранение информации. С другой стороны, это представляет некоторую проблему при переносе заряда через барьеры при операциях записи и стирания, а также и чтения: устройство считывания, которое обнаруживает наличие или отсутствие электрического заряда в плавающем затворе должно находиться в непосредственной близости от места хранения. При операциях записи, стирания и чтения барьеры изменяют свою конфигурацию и могут быть треугольной, трапециевидной или прямоугольной формы. Скорость туннелирования электронов существенно зависит от формы барьера, что также накладывает ограничения на значения высоты барьеров и электрических полей.

Один из вариантов увеличения плотности интеграции флэш памяти – развитие трёхмерных структур. Альтернативным вариантом может выступить замена носителя информации — электрона — на более тяжёлые частицы. В качестве первых могут выступить ионы и атомы (вакансии атомов) с массами в тысячи раз больше (эффективной) массы электрона. Для таких частиц квантовый канал потери информации за счёт туннелирования будет подавлен. А сама информация будет кодироваться не наличием или отсутствием носителя, а пространственным расположением атомов и/или ионов относительно друг друга.

Начиная с 2000-х гг. мировое научное и инженерное сообщество активно разрабатывает новые виды памяти. Некоторые технологии уже реализованы либо в виде тестовых образцов, либо как микросхемы с невысокой информационной ёмкостью. Наибольшего прогресса к 2013–2015 годам достигли технологии резистивной памяти RRAM (Resistive Random Access Memory) и фазовой памяти PCM (Phase Change Memory). Технологии RRAM со значительными ограничениями используются в производстве микроконтроллеров с 2013 года фирмой Panasonic Semiconductors (после 2017 года – подразделением TowerJazz). Анонс альянса «Intel» и «Micron», сделанный в июле 2015 г., объявил о начале массового выпуска универсальной памяти «3D Xpoint» (читается «3D crosspoint» — «трёхмерное пересечение»). В 2015 г. фабрика «IM Flash» — совместное предприятие Intel и Micron в Лихае (штат Юта) — изготовила с применением технологии небольшое количество «3D XPoint» микросхем объёмом 128 Гбит. Матрицы формировались их двух слоёв ячеек объёмом 64 Гбит каждый. На форуме «Intel» для разработчиков в 2016 г. были продемонстрированы PCIe-накопители объёмом 140 Гбайт, показавшие в двух-трёхкратное превосходство над твердотельными NAND накопителями. В середине 2016 г. «Intel» заявляла, что по сравнению с NAND-памятью новая технология имеет в 10 раз меньшие задержки операций, в 3 раза более высокий ресурс по перезаписи, в 4 раза большее количество операций записи в секунду, в 3 раза большее количество операций чтения в секунду, используя при этом около 30% от энергопотребления флешпамяти. В октябре 2016 г. вице-президент подразделения решений для хранения данных «Micron» заявил, что «3D Xpoint» будет примерно в два раза дешевле ДОЗУ, и четыре-пять раз дороже, чем флеш-память NAND (при равном объёме). В начале 2016 г. генеральный директор «IM Flash» Ги Блалок озвучил оценку, что массовое производство чипов начнётся не ранее чем через 12–18 месяцев. Готовые изделия на рынке появились в конце 2018 года. Сегнетоэлектрическая память FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) долгое время была не масштабируемой из-за резкого уменьшения остаточной поляризации в плёнках «классических» сегнетоэлектриков типа цирконата-титаната свинца $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$ (PZT). Открытие в 2009 г. сегнетоэлектрического эффекта в легированных плёнках оксида гафния толщиной ~6–10 нм вернуло интерес к FRAM как к перспективной технологии. 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). 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. Магниторезистивная память MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory), как и FRAM, долгое время занимала отстающие позиции среди конкурентов. Развитие теоретической базы памяти на основе переноса электронного спина STT-MRAM (Spin Transfer Torque (STT) MRAM) также подогрели интерес к этой технологии.

В настоящем обзоре описаны перспективные виды универсальной памяти, физические принципы их работы, основные проблемы, которые необходимо решить перед массовым коммерческим производством.

Несимметричная микрополосковая линия с пьезокерамическим резонатором

Колодько Денис Викторович

Дебелова Татьяна Игоревна

Южный федеральный университет

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

kdvv149@gmail.com

В данной работе проведены исследования спектров поглощения и излучения системы микрополосковая линия - пьезокерамический резонатор. Установка состоит из трех сменных генераторов качающейся частоты, перекрывающих диапазон частот 3,2-12 ГГц, индикатора КСВН и ослабления, а также несимметричной микрополосковой линии (МПЛ) с разомкнутыми центральными проводниками. Пьезорезонаторы располагались на поверхности МПЛ симметрично между центральными проводниками МПЛ в пучности электрического поля. Пьезорезонаторы, изготовленные из сегнетожесткой керамики типа ПКР-13 с размерами кристаллитов $d = 3, 7$ и 19 мкм, без металлических электродов имели форму диска диаметром 10 мм и толщиной 1 мм.

В режиме бегущей волны определены поглощающие свойства системы с различными резонаторами (рис. 1). Из рисунка следует, что для данной системы благодаря возбуждению резонатора в исследуемом диапазоне частот имеются зоны с поглощением энергии $L < -20$ дБ, где реализуется режим бегущей волны. Эти зоны чередуются с зонами, где $L = - (45-50)$ дБ из-за большого поглощения или отражения энергии, в результате чего связь между МПЛ и резонатором отсутствует.

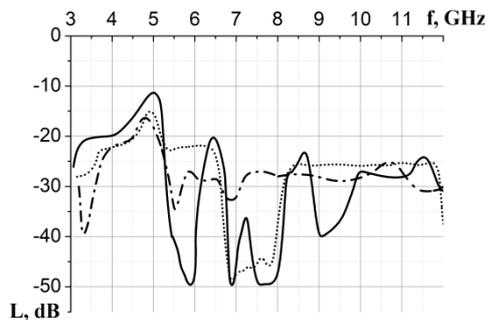


рис.1 Спектры поглощения энергии системы МПП - пьезокерамический резонатор с размерами кристаллитов d : — 19 мкм; ---- 7 мкм; 3 мкм.

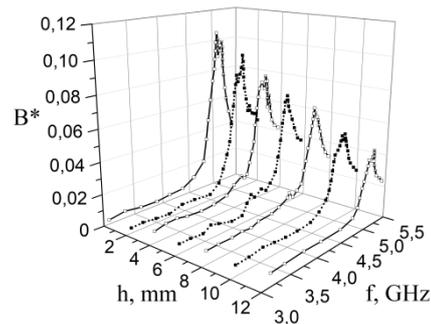


рис.2 Спектры интегрального излучения магнитного поля на разных высотах h от верхней поверхности пьезорезонатора $d = 19$ мкм.

Измерения интегрального магнитного поля над резонатором (рис. 2) показали, что спектры излучения пьезорезонаторов с различными d имеют сходный вид и близкие резонансные частоты $f_0 = (5,1-5,2)$ ГГц. При удалении от резонатора индукция магнитного поля уменьшается. Для резонансных кривых, полученных при измерении поля на высоте 1 мм над пьезорезонатором, ширина полосы пропускания составляет $\Delta f = (60-75)$ МГц, а добротность $Q = 70-90$.

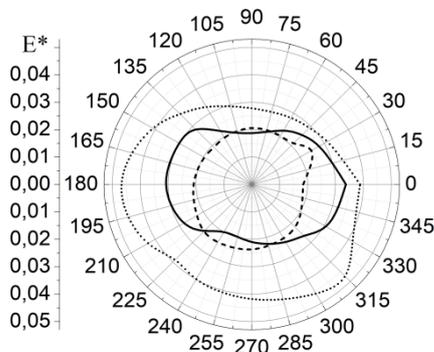


рис.3 Угловое распределение интенсивности электрического поля МПП и пьезорезонаторов с различными размерами кристаллитов d : — 19 мкм; ---- 7 мкм; 3 мкм на удалении 5 мм от боковой поверхности резонатора. $f=5,2$ ГГц.

Полученные спектры излучения формируются как суммарный результат двух одновременно протекающих резонансных процессов с близкими частотами. Во-первых, это излучение резонатора – сегнетоэлектрического диска. Во-вторых, это отбор энергии ЭМ поля, попавшими в резонанс ансамблями механических двойников входящими в состав доменной структуры пьезорезонатора.

С помощью зонда на удалении 5 мм от боковой поверхности диска-резонатора было измерено распределение интенсивности электрического поля (рис. 3). Картина распределения интенсивности поля несимметрична относительно центра. Она имеет форму лепестка, смещенного относительно центра резонатора. Это связано, по-видимому, с направленным излучением клиновидных двойников в кристаллитах резонатора. Максимальное расстояние от источника, где еще наблюдалось

излучение электрического поля в дальней зоне, равно 20-50 мм.

Таким образом, экспериментально изучены излучающие и поглощающие свойства несимметричной микрополосковой линии с резонатором из пьезокерамики ПКР-13. Установлено, что спектры поглощения энергии резонаторов из пьезокерамики ПКР-13 с различными размерами кристаллитов имеют резонансный характер. Наблюдаются чередующиеся зоны с различным уровнем поглощения энергии, вызванные колебанием ансамблей доменной структуры резонаторов.

Угловое распределение интенсивности электрического поля МПП и резонатора зависит от средних размеров кристаллитов и расстояния до боковой поверхности пьезорезонатора. Рассмотренная система может работать как в качестве диэлектрической резонаторной антенны, так и в качестве поглотителя электромагнитной энергии в определенном диапазоне частот. Данная работа является продолжением исследований, проведенных в статьях [1-3].

Список публикаций:

1. Sidorenko E.N., Gavriyatchenko V.G., Natkhin I.I., Debelova T.I., Kolodko D.V. // Abstracts International conference on «Physic and mechanics of new materials and their applications». Jabalpur, India, 2017. P. 235-236.
2. Sidorenko E.N., Turik A.V., Natkhin I.I., Andreev I.S. Ferroelectrics. 2003. Vol.286. 131-140 (in English).
3. Сидоренко Е.Н., Колодько Д. В., Дебелова Т. И. // 23-я всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых. г. Томск. 2018. С.132-133.

Влияние режимов термообработки на фазоформирование и размеры наночастиц BiFeO_3 , синтезированных золь-гель методом

Льу Тхи Ньян

Ханойский индустриальный университет

Шеин Александр Георгиевич, д.ф.-м.н.

luunhan20686@gmail.com

Феррит висмута (BiFeO_3 , BFO) – классический мультиферроик продолжает оставаться в центре внимания исследователей как модельный объект материалов, которые при комнатных температурах проявляют магнитоэлектрические свойства. Характерной особенностью этих материалов с практической точки зрения является плохая проводимость, высокие значения температур магнитного ($T_N \sim 640$ К) и сегнетоэлектрического упорядочения ($T_C \sim 1100$ К) [1,2]. Эти материалы перспективны для новой области квантовой электроники – спиновой электроники, основанной на транспорте спин-поляризованных электронов, сенсорной техники, магнитной памяти [3–6]. С другой стороны, наночастицы BFO также показывают хорошую фотокаталитическую активность в области видимого света из-за узкой ширины запрещенной зоны (2,1-2,7 эВ) [7]. Такие материалы могут использоваться в качестве новых фотокатализаторов, реагирующих на видимый свет, для разложения органических загрязнителей или для образования H_2 из воды. [8]. Известно, что размер частиц, морфология и фазовое формирование частиц BFO значительно влияют на их применение. Поэтому, исследование влияния режимов термообработки на фазоформирование и размеры нанопорошка BFO представляет интерес, как в фундаментальном аспекте, так и с точки зрения практического использования такого рода материалов.

В данной работе наноразмерные мультиферроические порошки BiFeO_3 были синтезированы золь-гель методом с использованием лимонной кислоты в качестве хелатирующего агента. Образцы кальцинировались при разных температурах при разной длительности. Фазовый анализ образцов проводился с помощью рентгеновской дифрактометрии (РД). Морфология частиц порошка BiFeO_3 исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).

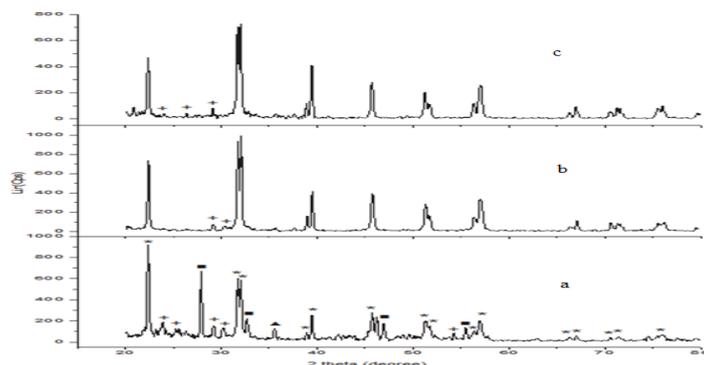


рис. 1. Рентгенофазовый анализ порошков BFO при комнатной температуре после нагрева до 700°C в течение 8 часов (a), 10 часов (b), 12 часов (c) (\square – BiFeO_3 ; $+$ – Fe_3O_4 ; \blacktriangle – Fe_2O_3 ; \blacksquare – Bi_2O_3).

Полученные результаты показывают, что при нагреве до 500°C или 600°C в течение 10 часов и 700°C в течение 8 часов начинается образование вторичных фаз (рис 1(a)) [9-11]. При увеличении температуры или времени прокаливается остается только фаза BiFeO_3 и становится более выразительной (рис 1(b)). Однако, при температуре и времени кальцинирования выше предельных значений появляются примесные фазы (рис 1(c)). Это может быть связано с преодолением термостойкости материала. Таким образом видно, что фазовая доля BFO в составе порошков, кальцинированных при 700°C в течение 10 часов, является самой высокой. Также полученные результаты показывают, что хотя фазовый состав этих образцов одинаков, но морфология порошка, нагретого при 600°C в течение 12 часов, была лучше, чем морфология порошка, нагретого при 700°C в течении 10 часов.

Список публикаций:

- [1] D.H. Wang, W.C. Goh, M. Ning, C.K. Ong // *Appl. Phys. Lett.* 2006. V. 88. P.21290.
- [2] P. Uniyal, K.L. Yadav // *J. Alloys Comp.* 2012. V. 511. P. 149.
- [3] W. Eerenstein, N.D. Mathur, J.F. Scott // *Nature.* 2006. V. 442. P.759-765.
- [4] R. Ramesh, N.A. Spaldin. // *Nature Mater.* 2007. V. 6. P. 21.
- [5] G. Catalan, J.F. Scott. // *Adv. Mater.* 2009. V. 21. P. 2463.
- [6] А.П. Пятаков, А.К. Звездин. // *УФН.* 2012. Т. 182. С. 593.
- [7] T. Gao, Z. Chen, Q. Huang, F. Niu, X. Huang, L. Qin, Y.Huang // *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2015. V. 40. P. 97-109.
- [8] J. Deng, S. Banerjee, S.K. Mohapatra, Y.R. Smith, M. Misra // *J. Fundam. Renew. Energy Appl.* 2011. V. 1. P. 1.
- [9] A.Sagdeo, P.Mondal, A. Upadhyay, A.K.Sinha, A.K.Srivastava, S.Gupta, P. Chowdhury, Ganguli, S.K.Deb. *SolidStateSci.* 2013. 18. P. 1–9.
- [10] J. Lu, L.J. Qiao, P.Z. Fu, Y.C. Wu. // *J. Cryst. Growth.* 2011. V. 318. P. 936–941.
- [11] M. Hasan, Md. F. Islam, R. Mahub, Md. S. Hossain, M.A. Hakim. // *Mater. Res. Bull.* 2016. V. 73. P. 179-186.

Квантово-механические расчеты электронно-энергетических и оптических спектров двумерных SiO₂-структур с дефектами изовалентного замещения атомов кремния

Нгуен Тхи Ша¹
Нгуен Минь Ты²

¹Ханойский индустриальный университет
²Волгоградский государственный университет

Литинский Аркадий Овсеич, д.х.н.

nguyenthisa@hau.edu.vn

В настоящее время наноструктуры на основе диоксида кремния широко применяются в различных отраслях: в оптоэлектронике, наноэлектронике, медицине и др. Присутствие примесей в этих структурах значительно влияет на их физические свойства, например, на транспортные и оптические свойства [1]. В данной работе проведены квантово-механические расчеты электронно-энергетических и оптических характеристик однослойных двумерных SiO₂-структур (гидроксисилоксановых структур) как бездефектной, так и с дефектами изовалентного замещения атомов кремния атомами титана и германия (рис. 1). Концентрация дефектов (число атомов титана и германия) $m = 1$ и $m = 3$. Применена расчетная схема на основе теории функционала плотности, обобщенная на случай структур с трансляционной симметрией (программный пакет SIESTA).

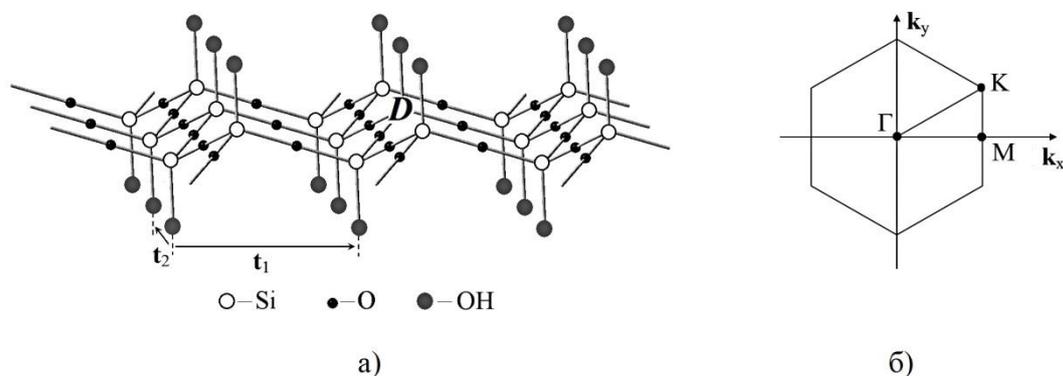


рис.1 Элементарная ячейка однослойных двумерных гидроксисилоксановых структур с дефектами замещения атомов Si атомами D ($D=Ti; Ge$) (для случая $m = 1$; t_1, t_2 – основные вектора трансляции примитивной ячейки) (а) и зона Бриллюэна двумерной гексагональной структуры (б)

Полученные дисперсионные кривые $\epsilon(\mathbf{k})$, плотности одноэлектронных состояний $\eta(\epsilon)$ и зависимости мнимой части диэлектрической проницаемости ϵ'' от энергии поглощенных фотонов $\hbar\omega$ представлены на рис.2.

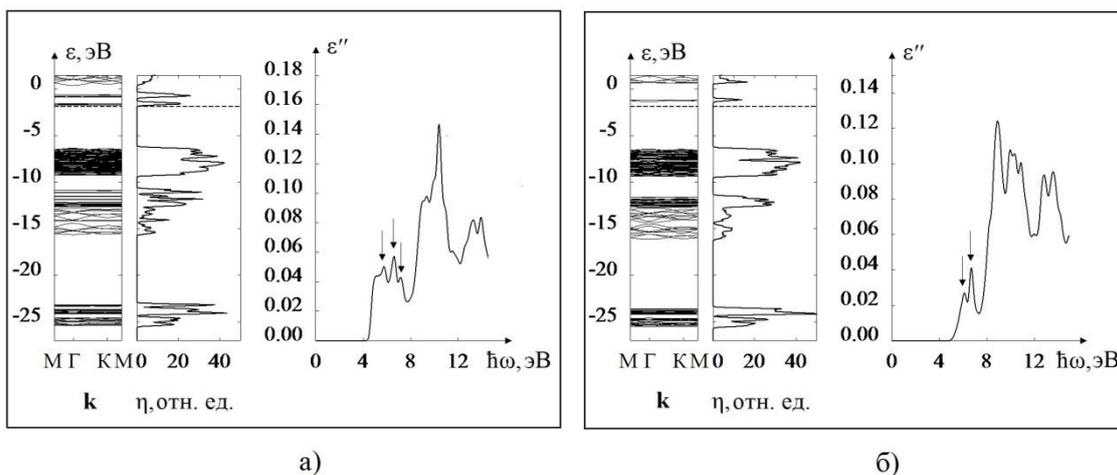


рис.2 Дисперсионные кривые $\epsilon(\mathbf{k})$, плотности одноэлектронных состояний $\eta(\epsilon)$ и спектры оптического поглощения $\epsilon''(\hbar\omega)$ двумерных гидроксисилоксановых структур (для случая $m = 3$; пунктиром отмечено положение уровня химического потенциала μ): а) для случая Ti- замещения; б) для случая Ge- замещения

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Для бездефектной гидроксисилоксановой структуры ширина запрещенной зоны составляет ≈ 6.3 эВ. Это значение хорошо согласуется с литературными данными [2].

2. При замещении атомов кремния атомами титана и германия уровень химического потенциала μ смещается в область больших энергий на ≈ 0.1 эВ ($m = 1$) и ≈ 0.15 эВ ($m = 3$).

3. Для замещенных гидроксисилоксановых структур появляются в зоне запрещенных энергий бездефектной структуры примесные состояния, тепень проникновения которых в зону запрещенных энергий со стороны дна зоны проводимости с ростом m увеличивается от ≈ -1.04 эВ ($m = 1$) до ≈ -1.13 эВ ($m = 3$) (для случая Ge- замещения) и от ≈ -1.49 эВ ($m = 1$) до ≈ -1.58 эВ ($m = 3$) (для случая Ti- замещения).

4. В низкоэнергетической части спектров оптического поглощения замещенных гидроксисилоксановых структур появляются дополнительные полосы поглощения (отмечены стрелками на *рис.2*), обусловленные переходами электронов из валентной зоны в примесные состояния. С ростом концентрации дефекта замещения положение этих полос смещается в область меньших энергий поглощаемых фотонов.

Список публикаций:

[1] Тыщенко И.Е., Попов В.П., 2011 Некрашевич С. С., Гриценко В. А. // ФТП. 2011. Т. 45, вып. 3. С. 335.

[2] Некрашевич С. С., Гриценко В. А. // ФТТ. 2014. Т. 56, вып. 2. С. 209.

Наноразмерный плазмонный полевой транзистор

Скачков Сергей Сергеевич

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

Дзедолик Игорь Викторович, д.ф.-м.н.

miomade@mail.ru

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) генерируются при распространении электромагнитной волны вдоль границы раздела диэлектрической среды и металла, и возникают в результате взаимодействия фотонов, фононов и плазмонов. ППП могут возбуждаться на оптических частотах на границе раздела металлов с отрицательной действительной частью диэлектрической проницаемости $\epsilon_M = -\epsilon'_M + i\epsilon''_M$, и диэлектрической среды с положительной действительной частью проницаемости ϵ_D [1]. Внешний размер плазмонных устройств, в частности, плазмонных логических элементов, в два-три раза меньше внешнего размера оптических логических элементов, так как длина волны ППП $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega \sqrt{\epsilon_{eff}}}$ в несколько раз короче длины

оптической волны в диэлектрике при той же частоте. Длина волны ППП λ зависит от соотношения величин диэлектрических проницаемостей металла и диэлектрика $\epsilon_{eff} = \epsilon_D \epsilon'_M / (\epsilon_D + \epsilon'_M)$. Учитывая имеющиеся технологии производства микросхем, плазмонные чипы в настоящее время являются наиболее перспективными устройствами для создания высокоскоростной вычислительной техники, работающей на оптических частотах [2].

Известно, что поток ППП в плазмонных устройствах может управляться внешними полями [1,2]. Рассеяние ППП на неоднородности границы между диэлектрическим и металлическим слоями приводит к отражению ППП. Такая неоднородность может быть реализована путем изменения диэлектрической проницаемости на границе раздела диэлектрика и металла в локальной области под воздействием внешнего электрического поля [3]. При этом диэлектрическую проницаемость металлического слоя можно контролировать путем изменения напряженности внешнего электрического поля, а это приводит к изменению интенсивности потока ППП, проходящих через неоднородность.

Цель данной работы – показать возможность управления с помощью внешнего электрического поля ППП-сигналом в плазмонном полевом транзисторе (ППТ) аналогично управлению током проводимости в полупроводниковом полевом транзисторе со встроенным каналом.

Предлагаемый ППТ (рис. 1) состоит из трех электродов: истока S, стока D и затвора G, встроенного в диэлектрическую среду, но в ППТ роль “тока” полевого полупроводникового транзистора играет поток ППП. Поток ППП возбуждается на истоке S металлического полоскового волновода спазером [4] (или соседним плазмонным элементом), затем поток ППП распространяется к стоку D по полосковому волноводу. Затвор G может быть выполнен в виде металлической полосы с плоской вершиной и расположен под изолированной металлической нано-пластиной в середине полоскового волновода. Электрическое поле управляющего сигнала, подаваемого на затвор G, модулирует поток ППП, проходящий по поверхности нано-пластины.

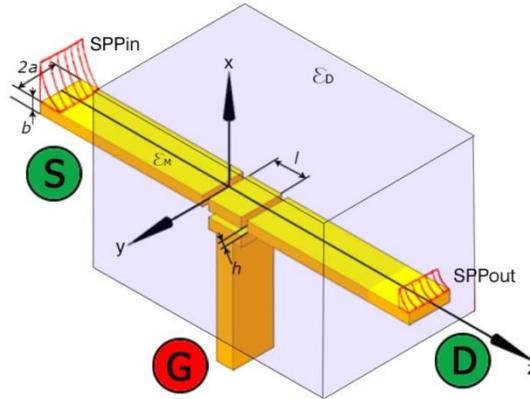


рис. 1. Металлический полосковый волновод длиной L , шириной $2a$, толщиной b , встроенный в диэлектрик. Металлическая nano-пластина расположена в середине волновода и изолирована от него двумя поперечными диэлектрическими пазами шириной d . Nano-пластина имеет ширину l . Затвор G с плоским торцом расположен на расстоянии h под нижней поверхностью nano-пластины, от которой он изолирован тонким слоем диэлектрика.

С помощью пакета программ COMSOL Multiphysics в модели ППТ было рассчитано распределение плотности потока энергии (вектор Пойнтинга) в зависимости от диэлектрической проницаемости поверхностного слоя nano-пластины (рис. 2). При подаче на затвор G сигнала положительной полярности электроны проводимости в nano-пластине смещаются к ее нижней поверхности, и концентрация электронов проводимости на верхней поверхности nano-пластины уменьшается в тонком слое (1-4 нм). При этом действительная часть диэлектрической проницаемости поверхностного слоя nano-пластины ε зависит от амплитуды управляющего сигнала и может меняться от -46.47 до -2.17 .

epsilon near surface of nano-plate: epsilon(1)=-46.47 epsilon near surface of nano-plate: epsilon(444)=-2.17
Surface: emw.Hz*emw.Ey (W/m²) Surface: emw.Hz*emw.Ey (W/m²)

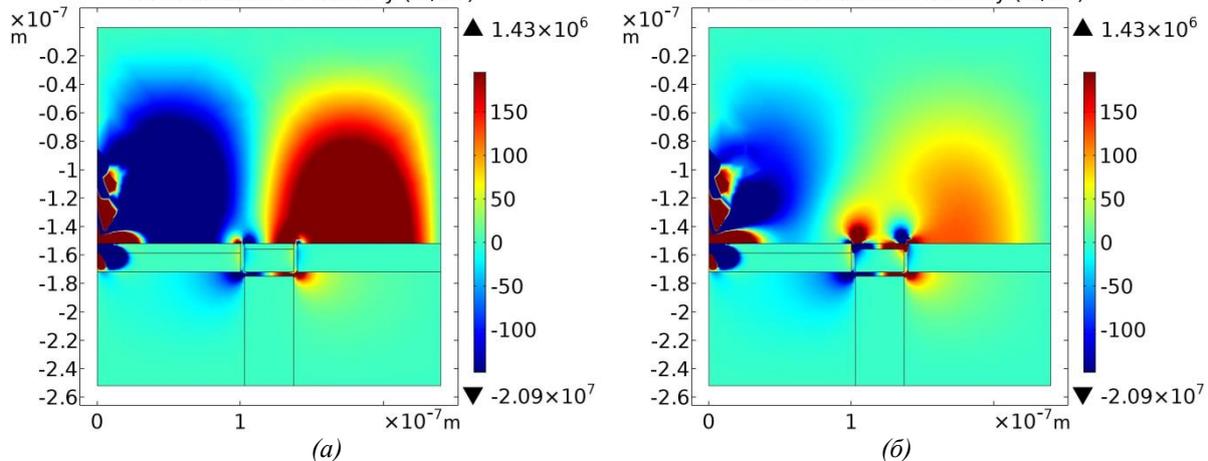


рис. 2. Распределение потока плотности энергии для двух значений диэлектрической проницаемости поверхностного слоя nano-пластины: (а) $\varepsilon = -46.47$, (б) $\varepsilon = -2.17$.

На основе предложенного ППТ можно создавать плазмонные вентили и логические элементы. Такие наноразмерные плазмонные устройства могут применяться в плазмонных компьютерных чипах, работающих на частотах оптического диапазона. ППТ может быть изготовлен методом литографии на диэлектрической подложке с последующим заполнением дорожек золотом и имплантацией хромофоров между дорожками для реализации встроенного спазера. Например, может быть изготовлен плазмонный логический элемент «NOR» (стрелка Пирса), который представляет собой функционально полную базу для логических операций в плазмонных процессорах.

Список публикаций:

- [1] Майер С. А. Плазмоника: теория и приложения. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2011. 296 с.
- [2] Климов В. В. Наноплазмоника. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 480 с.
- [3] Dzedolik I. V., Pereskokov V. // Journal of the Optical Society of America A. 2018. V. 35. No. 8. P. 1420.
- [4] Kim C. S., Vurgaftman I., Flynn R. A., Kim M., Lindle J. R., Bewley W. W., Busmann K., Meyer J. R., Long J. P. // Optics Express. 2010. V. 18. No.10. P. 10609.

Влияние температуры на электрофизические свойства $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{S}_5$

Щетников Олег Павлович

Мельникова Нина Владимировна, Мирзорахимов Абдулло Алимхаматович, Деева Юлия Андреевна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Мельникова Нина Владимировна

futbol2008@yandex.ru

Известно, что тройные соединения и стеклообразные сплавы системы Cu-As-S являются ценными функциональными материалами [1]. Ранее было выявлено, что кристаллические материалы указанной тройной системы, а также системы Cu-Ge-As-S, обладают интересными электрофизическими свойствами [2-4]. В данной работе изучено влияние температуры (до 390 К) на величину термо-ЭДС и электропроводность синтезированного материала $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{S}_5$.

Синтез проводился сплавлением исходных компонентов (в качестве исходных материалов применяли реактивы высокой чистоты) в кварцевых ампулах, эвакуированных до остаточного давления 10^{-4} Па и заполненных сверхчистым аргоном до $0.5 \cdot 10^5$ Па, обескислороженных с помощью отжига с титановой губкой. Эвакуированные ампулы с исходными элементами помещались в муфельную печь, в процессе синтеза содержимое их перемешивалось.

Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализы показали, что материал соответствует соединению $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{S}_5$ со следующими характеристиками: пространственная группа C 2/m, кристаллизуется в моноклинной сингонии с параметрами элементарной ячейки $a = 10.355 \text{ \AA}$, $b = 14.648 \text{ \AA}$, $c = 33.339 \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90.000^\circ$, $\beta = 109.000^\circ$ (рис. 1). Соединение $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{S}_5$ имеет узкий диапазон однородности, который содержит, в том числе, соединение $\text{Cu}_{24}\text{As}_{12}\text{S}_{31}$ (такой состав соответствует минералу теннантит), поэтому могут возникать некоторые проблемные моменты при расшифровке рентгенограмм материалов, состав которых близок к указанному диапазону [5].

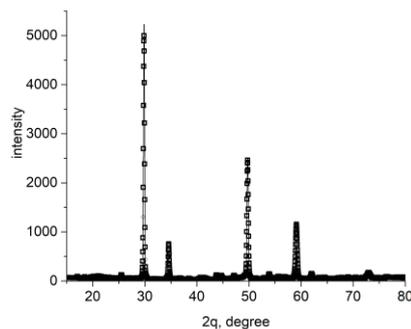


рис.1. Экспериментальная (точки) и теоретическая (линия) дифрактограммы синтезированного $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{S}_5$.

В результате измерений термо-ЭДС (α) получена линейно возрастающая зависимость. Величина α изменялась от 0.065 мВ/К до 0.122 мВ/К в интервале температур 300-390 К (рис. 2). Положительный знак термо-ЭДС указывает на дырочную проводимость в материале, согласно методу определения типа носителей заряда с помощью эффекта Зеебека. Столь малое значение термо-ЭДС, по сравнению с α материалов системы Cu-Ge-As-Se, можно наблюдать при приблизительно равных концентрациях свободных носителей заряда в областях полупроводника с электронной и дырочной проводимостью [6]. Наблюдаемые значения термо-ЭДС характерны для некоторых полупроводников, значительную долю в которых составляют медь и сера, в частности в CuInS_2 [7].

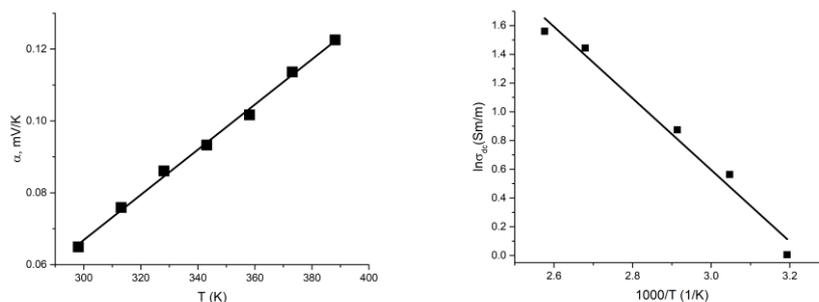


рис. 2. Температурные зависимости величины термо-ЭДС (α , мВ/К) и электропроводности ($\ln \sigma_{dc}$, См/м)

Электрические свойства в интервале температур 300-390 К изучены методом импедансной спектроскопии (в области частот 1 Гц–32 МГц). При увеличении внешней температуры от 300 до 390 К наблюдается значительный рост удельной электропроводности от 1 до 36 См/м соответственно. Выявленная линеаризация в координатах $\ln\sigma$ от $1000/T$ (рис. 2) показывает, что электропроводность имеет термоактивационную компоненту. Энергия активации составляет 0.45 эВ.

Список публикаций:

- [1] Бабанлы М.Б. // *Неорг. Мат.* 2012. Т. 48. № 3. С. 276-279.
- [2] Мельникова Н.В. // *АЭЭ.* 2007. Т. 49. №5. С. 56-63.
- [3] Мельникова Н.В. // *ФТТ.* 2015. Т. 57. №10. С. 1972-1976.
- [4] Zaikova V. // *J.Phys.:Conf.Ser.* 2016. V.741. P 012200.
- [5] Muller A., Blachnik R. // *Thermochimica Acta.* 2002. V. 387. P 153-171.
- [6] Щетников О.П., Мельникова Н.В. // *ФОВ.* 2018. Т. 28. № 1. С. 122-125.
- [7] Melnikova N.V. et al // *Bull. Russ. Sci.Phys.* 2014. V. 78. P. 299-303.

4 - Молекулярная физика, физика жидкостей и газов

Артемьева Ксения Валерьевна, магистрант 1 года обучения
Ульяновск, Ульяновский государственный университет, инженерно-физический, высоких технологий
Технологические особенности реализации эффекта электросмачивания при низких управляющих напряжениях

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович, к.ф.-м.н.
e-mail: kuzneczova-kseniya@mail.ru стр. 150

Ганеева Эльвира Салаватовна, 3 курс
Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический
PiV-метод для исследования структуры конвективных течений во вращающемся толстом цилиндрическом слое, подогреваемом изнутри

Вяткин Алексей Анатольевич, к.ф.-м.н.
e-mail: Ganeeva237648@mail.ru стр. 151

Кудояров Данил Шамилович, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Надмолекулярная структура асфальтенов

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.
e-mail: danilkud@mail.ru стр. 152

Фахреева Регина Рафисовна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Численное моделирование неізотермической фильтрации водогазовой смеси в поровых каналах

Питюк Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.
e-mail: regina599@mail.ru стр. 154

Хисамов Артур Альфирович, аспирант 1 года обучения
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 стр. 155

Шайхутдинова Ильнара Айдаровна, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физики конденсированного состояния
Моделирование коэффициента светопропускания в гомеотропной ячейке сегнетоэлектрического жидкого кристалла

Кудрейко Алексей Альфредович, к.ф.-м.н.
e-mail: ilnara180596@mail.ru стр. 157

Технологические особенности реализации эффекта электросмачивания при низких управляющих напряжениях

Артемова Ксения Валерьевна

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович

Ульяновский государственный университет

Махмуд-Ахунов Марат Юсупович, к.ф.-м.н.

kuzneczova-kseniya@mail.ru

Явление электросмачивания на диэлектрике в последние годы вызывает интерес у исследователей всего мира по причине своего широкого практического применения при создании лабораторий на чипе, в качестве микролинз с изменяющимся фокусным расстоянием [1], угольковых отражателей [2], дисплеев [3] и др. Однако, несмотря на столь обширный круг практической реализации данного эффекта, актуальной остается проблема понижения высоких (~100 В) управляющих потенциалов, затрудняющих применение данного явления при использовании низковольтных автономных источников. Для понижения величины рабочего напряжения, как правило, предпринимают операции по уменьшению толщины диэлектрического слоя и увеличению его диэлектрической проницаемости. Применяются всевозможные варианты получения и синтеза новых диэлектриков типа СУТОР (фторполимер фирмы Asahi Glass, Япония), парилен (поли-пара-ксилилен) и др., отличающиеся высокими значениями пробивного напряжения при малой толщине, но при этом низкими значениями диэлектрической проницаемости (~3-6). Тем не менее технология получения и нанесения подобных пленок сложна и требует дополнительных затрат по упрощению. Перспективным с этой точки зрения является использование диэлектрических слоев на основе анодных оксидов вентильных металлов, типа Al, Ta и Hf.

В данной работе проводились исследования по перемещению капель воды по поверхности экранированных металлических электродов под действием электрического поля. Металлическими электродами, имеющими форму квадрата с пилообразными выступами и разделенные зазорами в 0.4 мм, служили тонкие слои Al, нанесенные методом термовакуумного напыления на стеклянную подложку. В качестве диэлектрических слоев использовались оксид алюминия, полученный при помощи анодной обработки в 4 об. % растворе ортофосфорной кислоты при напряжении $U=30$ В в течение $t=5$ мин, и тефлон (AF 400S2-100-1 фирмы DuPont).

Для описания механизма перемещения капли воды по изолированной многоэлектродной матрице под действием внешнего электрического поля исследуемая структура рассматривалась в виде системы последовательно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 (рис. 1). Каждый из этих конденсаторов представляет собой сложную систему, состоящую из диэлектрических слоев анодного оксида алюминия (АОА) и тефлона, а также двойного электрического слоя (ДЭС) на границе раздела АОА/ H_2O .

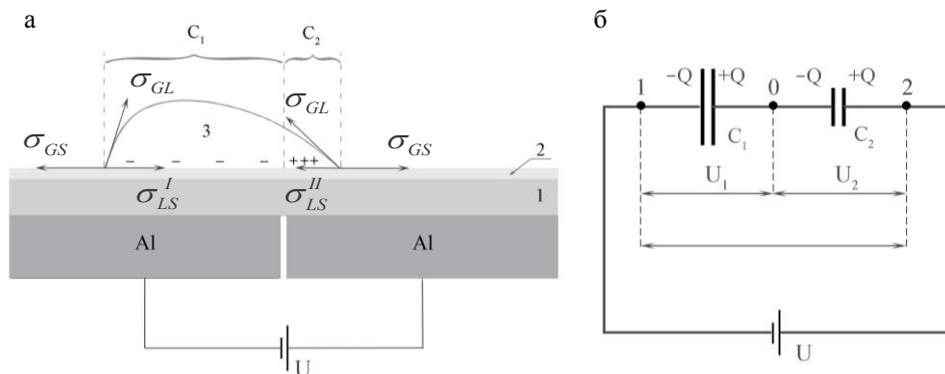


рис.1. (а) Поляризованная капля жидкости на диэлектрической плёнке (1 – АОА; 2 – тефлон; 3 – дистиллированная вода); (б) эквивалентная схема, представленная двумя результирующими конденсаторами

Емкости представленных конденсаторов синхронно и взаимосвязано изменяются в процессе перемещения капли с одного электрода на другой (рис.2), заставляя изменяться падающие на них напряжения. Как установлено в [4], именно наибольшее падающее напряжение на одном из конденсаторов является определяющим при перемещении капли жидкости по поверхности диэлектрических пленок. Значение емкости конденсатора определяется его геометрическими параметрами (толщина диэлектрического слоя, площадь обкладок) и диэлектрической проницаемостью изолятора. Изменив тип изолирующего слоя и уменьшив его толщину, удалось добиться уменьшения рабочего напряжения до ~40 В. В проводимых же ранее исследованиях [4] с использованием двухслойного диэлектрика (тефлон толщиной 3 мкм и полиэтиленовая пленка толщиной 8 мкм) напряжение, при котором капля дистиллированной воды уверенно перемещалась с одной площадки на

другую, соответствовало ~ 100 В. Причина подобного поведения, очевидно, связана с большим значением диэлектрической проницаемости АОА ($\epsilon_{\text{АОА}} \sim 4.5$) в сравнении с полиэтиленом ($\epsilon_{\text{ПЭ}} \sim 2.3$).



рис.2. Основные этапы перемещения капли воды под действием постоянного внешнего напряжения $U = 40$ В:
а) $t=0$ мс; б) $t=12$ мс; в) $t=21$ мс

Таким образом, за счет использования анодного оксида алюминия и тефлона в качестве диэлектрических слоев было достигнуто понижение рабочего напряжения перемещения капли жидкости по экранированным электродам на 60 %. Показано, что определяющим фактором такого уменьшения является диэлектрическая проницаемость используемых материалов и их толщины.

Список публикаций:

- [1] S. Kwon Cho [et al.] // *J. Microelectromech. Syst.* 2003. V.12. № 1. P. 70-80.
- [2] P. Schultz, B. Cumby, J. Heikenfeld // *Applied optics.* 2012. V. 51, № 17. P. 1-4.
- [3] K. Mishra, D. van den Ende, F. Mugele // *Micromachines.* 2016. V. 7. № 102. P. 1-24.
- [4] А.М. Орлов, М.Ю. Махмуд-Ахунов, К.В. Кузнецова // *ЖТФ.* 2018. Т.88. № 11. С. 1628-1635.

PIV-метод для исследования структуры конвективных течений во вращающемся толстом цилиндрическом слое, подогреваемом изнутри

Ганеева Эльвира Салаватовна

Дьякова Софья Анатольевна, Вяткин Алексей Анатольевич

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Вяткин Алексей Анатольевич

Ganeeva237648@mail.ru

Экспериментально исследуется тепловая конвекция во вращающемся горизонтальном цилиндрическом слое жидкости. Рассматривается случай толстого слоя, разогреваемого изнутри. Изучается структура конвекции с помощью PIV-метода, основанного на визуальном наблюдении за движением светорассеивающих маркеров, взвешенных в жидкости. Наблюдение ведется в различных поперечных сечениях полости с помощью скоростной видеокамеры и светового лазерного ножа. Кадры видеосъемки обрабатываются в программе PIVlab [1]. Ранее конвекция во вращающихся горизонтальных цилиндрических слоях изучалась в [2-3]. В основном были рассмотрены тонкие слои. В случае, если слой толстый или умеренно толстый при вращении генерируются инерционные волны, способные возбудить тепловую конвекцию даже в условиях значительного стабилизирующего действия центробежной силы инерции. Обнаруженный эффект [4-5] является новым и требует детального изучения.

Цилиндрический слой образован поверхностями внутреннего теплообменника 1 и внешней оргстеклянной трубой 2 (рис.1,i). Теплообменник 1 изготавливается из алюминия и имеет встроенный электрический нагреватель. Оргстеклянная труба снаружи омывается и охлаждается термостатированной жидкостью, имеющей постоянную температуру 20 °С. Параметры слоя: внутренний радиус $R_1 = 11$ мм, внешний – $R_2 = 74$ мм, длина $L = 182$ мм. Слой вращается вокруг горизонтальной оси с угловой скоростью Ω_r . Последняя задается в диапазоне 0-30 рад/с. Подробное описание экспериментальной установки приведено в [1].

На рис.1 (ii) приведены конвективные течения, представляющие собой азимутальные крупные вихри и продольные валы малой длины волны. Схема расположения азимутальных вихрей согласована со схемой распространения инерционных волн. На графике (рис.1,iii) показана зависимость тангенциальной скорости движения жидкости от координаты r . За положительное значение скорости v_r принято направление движения жидкости относительно полости, противоположное движению полости в лабораторной системе (отстающее движение). Профиль скорости в сечении б отличается от остальных и регистрирует в полости как остывающее движение вблизи внешней стенки, так и опережающее вблизи внутренней. В этом случае возникают условия возбуждения конвективных течений на встречных потоках. В работе исследуются профили скорости движения жидкости в различных поперечных срезах в зависимости от интенсивности вращения полости и разности температур на границах полости.

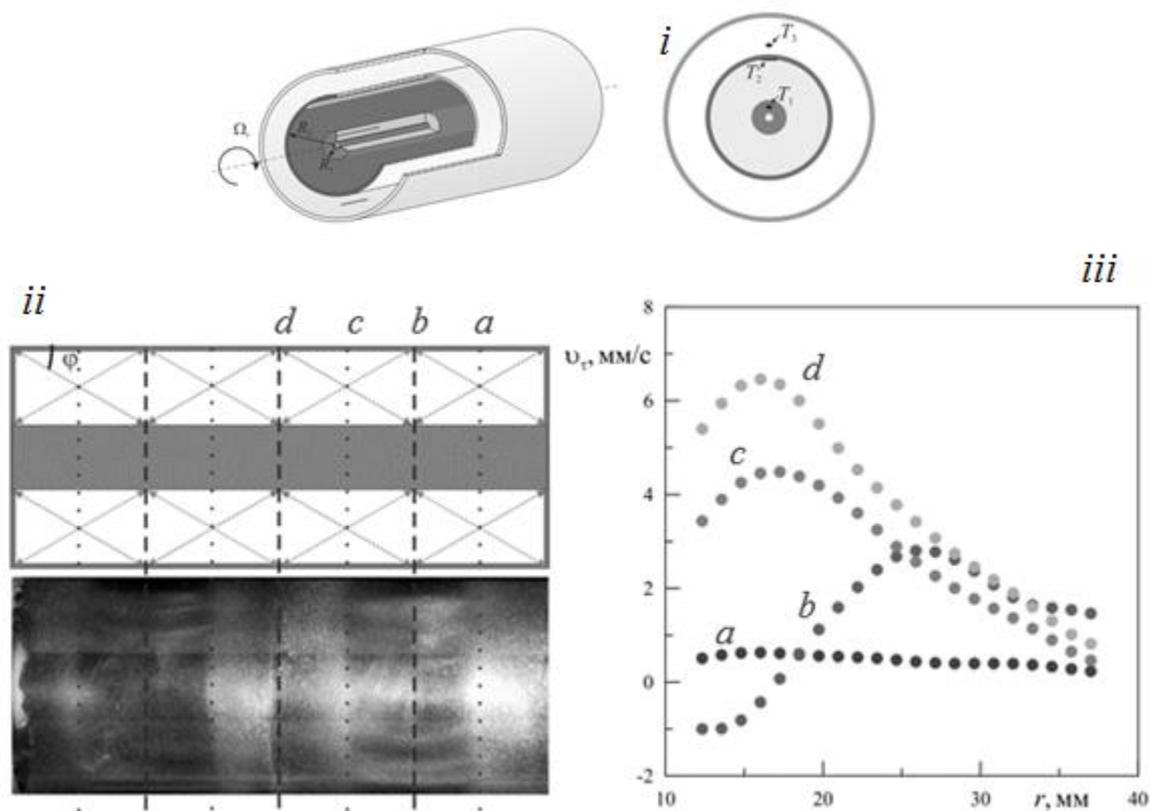


рис. 1. i – схема кюветы; ii – фотография конвективных течений при $\Omega_r = 5$ рад/с, $T_1 - T_2 = 15$ °С; iii – зависимость скорости течения жидкости в различных поперечных сечениях от радиуса полости.

Список публикаций:

- [1] Thielicke W., Stamhuis E.J. Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. 2014 PIVlab – Towards User-friendly. *Journal of Open Research Software*, 2: e30, DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/jors.bl>
- [2] Вяткин А.А., Иванова А.А., Козлов В.Г. Конвективная устойчивость неизотермической жидкости во вращающемся горизонтальном коаксиальном зазоре // *Изв. РАН. МЖГ*. 2010. № 1. С. 12–21.
- [3] Вяткин А.А., Иванова А.А., Козлов В.Г. Конвективный теплоперенос во вращающемся горизонтальном цилиндрическом слое // *ПМТФ*, 2016. Т. 57. № 2 (336). С. 172–181.
- [4] Вяткин А.А., Козлов В.Г., Сираев Р.Р. О конвективной устойчивости жидкости во вращающемся горизонтальном цилиндрическом слое // *Изв. РАН. МЖГ*, 2017. № 4. С. 73–84. DOI: 10.7868/S0568528117040077
- [5] Вяткин А.А., Киселев И.А., Клепцин С.Ю.. Тепловая конвекция жидкости в толстом горизонтальном коаксиальном зазоре при вращении // *Конвективные течения...* Перм. гос. гум.-пед. ун-т. Пермь, 2017. Вып. 8. С. 164–176.

Надмолекулярная структура асфальтенов

Кудояров Данил Шамилович

Шарипов Талгат Ишмухамедович

Бакирский государственный университет

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

danilkud@mail.ru

На сегодняшний день изучение асфальтенов является перспективным направлением как в области нанoeлектроники, так и в области нефтедобычи. Асфальтены - это сложная многокомпонентная смесь, в которой при фракционировании находится субкомпонент с различными физико-химическими параметрами [1]. Но, несмотря на многочисленные исследования, состав и структура асфальтенов до конца не изучена [2-4].

В результате детально проведенных исследований в области изучения асфальтенов показано наличие двух типов асфальтеновых молекул - «архипелаг» и «континент» (рис. 1) [5, 6].

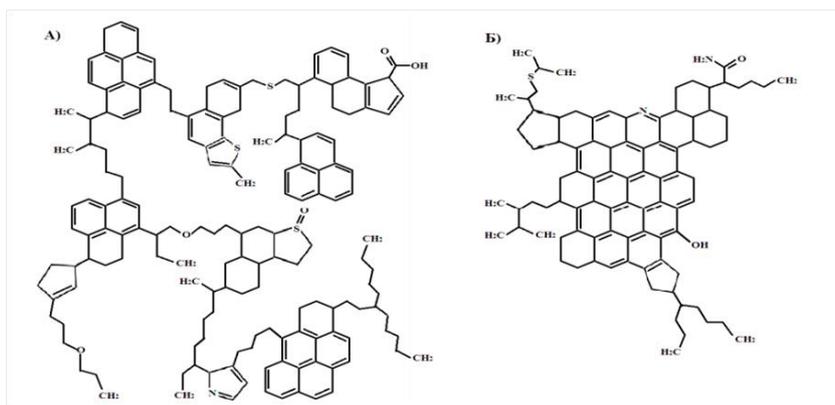


рис. 1 - Типы моделей молекул асфальтенов: А - тип «архипелаг»; Б - тип «континент».

В данной работе были получены АСМ-изображения асфальтенов (рис. 2 и 3), тонкая пленка которых была нанесена на подложку двумя различными методами: методом погружения и методом прикапывания. В обоих способах использовали асфальтены, растворенные в толуоле. В качестве подложки применялась свежесколотая слюда.

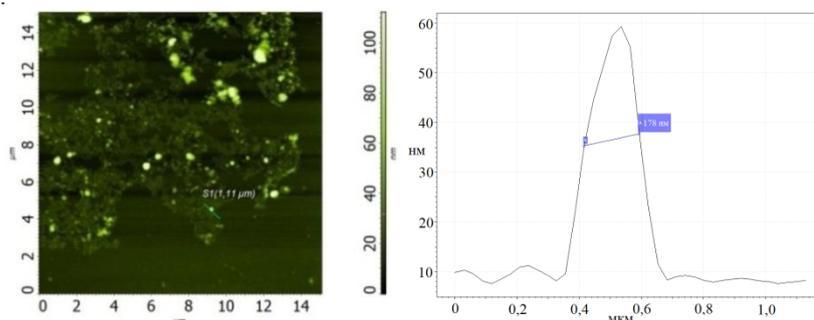


рис. 2. АСМ-изображение пленки асфальтенов, полученной методом погружения, и профиль сечения отдельного кластера.

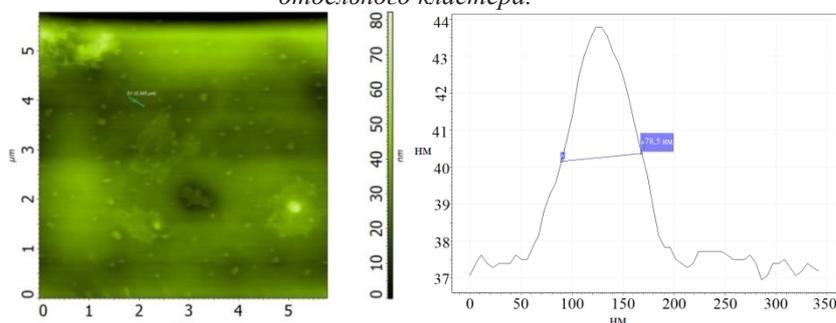


рис. 3. АСМ-изображение пленки асфальтенов, полученной методом прикапывания, и профиль сечения отдельного кластера.

Метод погружения заключался в следующем. Гидрофобную подложку опускали в дистиллированную воду, затем на поверхность воды наносили каплю раствора асфальтена. После образования на поверхности воды наносля асфальтенов подложку, ориентированную в пространстве горизонтально, медленным вертикальным движением вверх извлекали из жидкости через нанослой. Затем извлеченную подложку сушили на воздухе в течение 2 часов до полного высыхания с образованием пленки асфальтенов.

Метод прикапывания является относительно простым. С помощью пипетки на подложку наносили каплю раствора асфальтенов, после чего она растекалась по поверхности слюды. Затем подложку сушили на воздухе в течение 30 мин. После сушки на подложке образовывалась сухая тонкая пленка асфальтенов.

Приготовленные образцы были исследованы с помощью атомно-силового микроскопа в режиме прерывистого контакта. Получившиеся изображения проанализировали и пришли к выводу, что размеры агрегатов отличаются при различных методах получения нанопленки: агрегаты плёнки асфальтенов, полученной методом погружения (рис. 2), имеют латеральные размеры порядка 170-180 nm, а размеры по латерали агрегатов плёнки асфальтенов, полученной методом прикапывания (рис. 3), – около 70-90 nm. На рис. 2, вероятно, мы имеем тип асфальтеновых молекул «архипелаг». Таким образом, метод прикапывания позволяет получить агрегаты асфальтенов меньшего размера. Полученные АСМ-изображения позволили

оценить зависимость размеров агрегатов асфальтенов, осажденных на слюдяной подложке, от способа получения нанослойной пленки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым, договор №29ГР

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] Абдрафикова И.М., Рамазанова А.И., Каюкова Г.П., Ван-дюкова И. И., Петров С. М., Романов Г. В. Структурногрупповой состав продуктов конверсии тяжелой ашальчинской нефти методом ИК-Фурье спектроскопии. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. С 237-242.
- [3] Дон А.Р., Воронцовская Н.Г., Певнева Г.С., Головкин А. К. Влияние структуры асфальтенов на термические превращения компонентов природных битумов// *Химия нефти и газа: Материалы IX Международной конференции*. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2015. С 763-768.
- [4] Шарипов Т.И., Акбутин Г.Д., Доломатов М.Ю., Бахтизин Р.З. Особенности надмолекулярной структуры асфальтенов, выделенных из остатков термокрекинга // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2018. №.2. Т.14. С. 106-112.
- [5] 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.
- [6] Tukhvatullina A.Z. Supramolecular Structures of Oil Systems as the Key to Regulation of Oil Behavior // *Petroleum & Environmental Biotechnology*. 2013. V.4, Iss.4. P.1-8.

Численное моделирование неизотермической фильтрации водогазовой смеси в поровых каналах

Фахреева Регина Рафисовна

Питюк Юлия Айратовна, Ковалева Лиана Ароновна
Башкирский государственный университет

Питюк Юлия Айратовна

Regina599@mail.ru

В настоящее время более половины запасов нефти и газа при разработке месторождения относятся к трудноизвлекаемым. Таким образом, внедрение эффективных способов оптимизации процесса разработки и закачки новых агентов в пласт для увеличения количества извлекаемых запасов является актуальной задачей. Во всем мире наблюдается устойчивый рост промышленного применения технологий водогазового воздействия (ВГВ) на пласт [1]. В работе проведен анализ процессов, протекающих в пласте при водогазовом воздействии, а также возникающих при этом эффектов.

Целью работы является разработка математической модели неизотермической фильтрации водогазовой смеси (ВГС) в нефтеносных коллекторах в одномерной постановке. Рассматривается трехфазная неизотермическая фильтрация воды с пузырьками, нефти и свободного газа в пласт с учетом роста и укрупнения мелких пузырьков в порах, образования свободной газовой фазы, эффекта проскальзывания, сжимаемости сети трещин.

Численная методика основана на методе контрольного объема [2]. На основе реализованного программного модуля проведено численное моделирование и анализ распространения фронта вытеснения нефти водогазовой смесью при различных физико-химических параметрах сред. Рассматривался образец длиной 100м, в пустотном пространстве которого находятся нефть (обозначена нижним индексом «o»), вода (обозначена нижним индексом «w») с пузырьками газа (обозначены нижним индексом «b») и свободный газ (обозначен нижним индексом «g») со следующими начальными насыщенностями: $S_{w0} = 0.2$, $S_{o0} = 0.8$, $S_{g0} = 0$, $S_{b0} = 0$. Анализировалось распространение фронта ВГС спустя 1 час после закачки.

Был проведен расчет для ВГС с объемным содержанием пузырьков при забойном давлении 20% ($S_b^{in} = 0.2$) для случая без перехода пузырьков в свободную газовую фазу. На рис. 1 представлено распределение насыщенностей флюида порового пространства в образце. Из рисунка видно, что происходит постепенное вытеснение нефтяной фазы. Спустя 1 час после закачки ВГС распространилась примерно на 80м: нефтенасыщенность в начале образца равна нулю, что соответствует тому, что ВГС полностью вытеснила нефть, в точке $x=80$ видим изгиб, после которого нефтенасыщенность становится равной начальной $S_{o0} = 0.8$, т.е. ВГС еще не успела распространиться на весь образец. Из рис. 2 видно, что давление в пласте падает и отклоняется от линейного закона. На рис.3 представлено объемное содержание пузырьков R_b во всем объеме

образца, где R_b^* – критическое значение объемного содержания пузырьков в ВГС, при достижении которого пузырьки начинают объединяться и переходят в свободный газ. На рис.4 представлена вязкость ВГС. Также можем заметить, что содержание пузырьков и вязкость ВГС по мере распространения ВГС в образце увеличиваются при понижении давления. Через 1 час после закачки ВГС распространилась примерно на 80м, при этом содержание пузырьков и вязкость ВГС выросли до своего максимального значения в точке, равной примерно 40м.

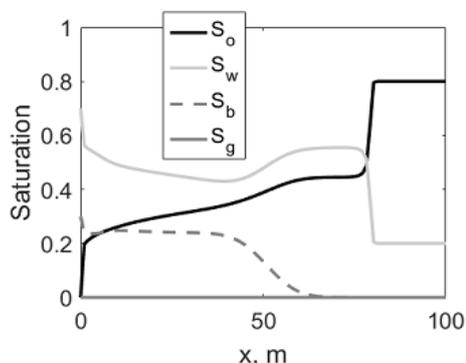


рис. 1 Распределение насыщенных флюида порового пространства в образце

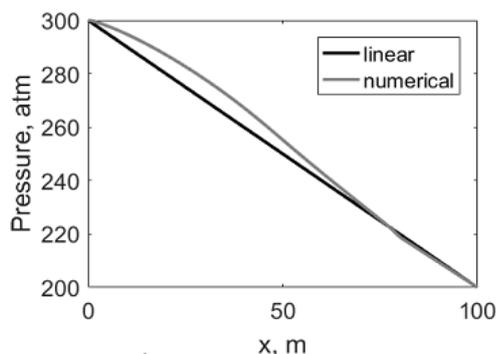


рис. 2 Распределение давления в образце

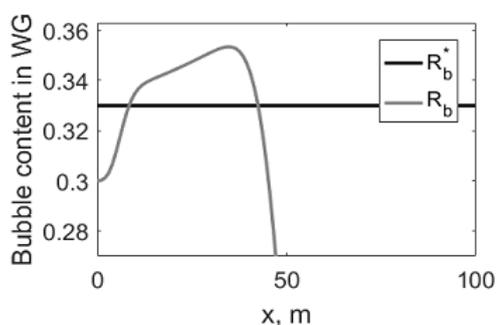


рис. 3 Распределение содержания пузырьков в ВГС в образце

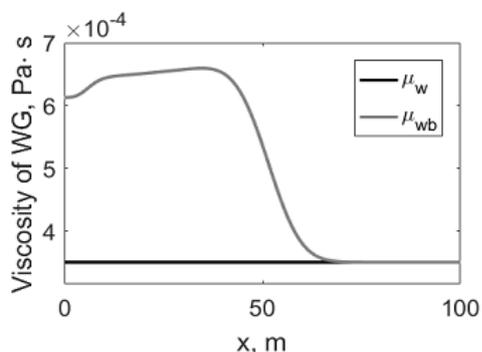


рис. 4 Распределение вязкости ВГС в образце

Таким образом, был разработан алгоритм численного решения задачи методом контрольного объема и реализован соответствующий программный модуль, на основе которого проведено численное моделирование и анализ распространения фронта вытеснения нефти водогазовой смесью при различных физико-химических параметрах сред. Исследовано поведение ВГС по мере продвижения по образцу с учетом эффекта проскальзывания, сжимаемости сети трещин и неизотермичности процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20102.

Список публикаций:

- [1] 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
 [2] Патанкар С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости // Пер. с англ. – М., Энергоатомиздат, 1984, -152 с.

Моделирование фильтрации в пластах с трещиной гидроразрыва

Хисамов Артур Альфирович

Башкирский государственный университет

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 трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Наличие трещин гидроразрыва приводит к существенным изменениям динамики процесса фильтрации в отличие от случаев их отсутствия. Поэтому является актуальным математическое моделирование процессов фильтрации в окрестности скважин с трещинами гидроразрыва [1].

Коллектора с трудноизвлекаемыми 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 [2,3]. Поэтому представляет интерес развитие теории нестационарной фильтрации в пластах с трещинами ГРП. В данной работе представлены новые аналитические решения задачи о нестационарном распределении давления вокруг скважины, пересеченной вертикальной трещиной при краевых условиях первого и второго рода. Решения задач построены методом преобразований Лапласа.

В пласте, насыщенном малосжимаемой однородной жидкостью, имеется скважина, которая пересекается симметричной вертикальной трещиной гидроразрыва по всей толщине пласта. Гидравлическая связь пласта и скважины реализуется только через боковую поверхность трещины, так как ширина (раскрытие) трещины намного меньше чем ее длина. Предполагается, что вначале давление в пласте и трещине одинаково и при $t=0$ скважина запускается в эксплуатацию. С учетом симметрии геометрии задачи относительно скважины и трещины, схема области фильтрации представлена на рис. 1 (вид сверху).

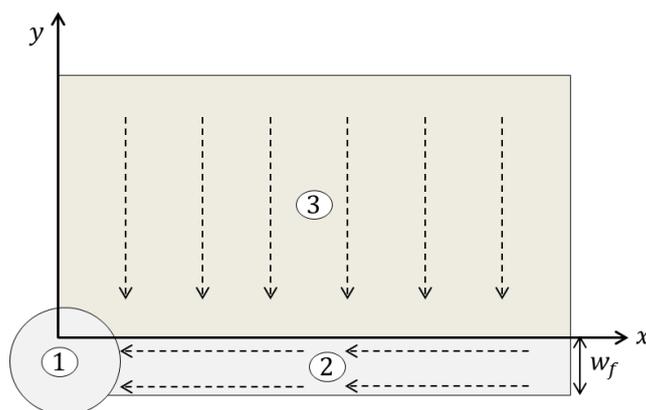


рис. 1. Схема области течения. 1 – скважина, 2 – трещина, 3 – пласт.

Одним из интересных явлений, связанных со спином, является расщепление между экситонами с
Распределение давления в трещине для первой и второй краевых задач, имеет вид:

$$\bar{P}_f(\bar{x}, \bar{t}) = \frac{\bar{x}}{\sqrt{\pi a \bar{t}}} \int_0^1 e^{-\frac{\bar{x}^2}{4a\bar{t}\rho^2}} \operatorname{erfc} \frac{\rho^2 b \sqrt{\bar{t}}}{2\sqrt{1-\rho^2}} \frac{d\rho}{\rho^2}. \quad (1)$$

$$\bar{P}_f(\bar{x}, \bar{t}) = -\frac{2b\sqrt{\bar{t}}}{\sqrt{a}\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-\frac{\bar{x}^2}{4a\bar{t}z^2}} \operatorname{erfc} \frac{z^2 b \bar{t}}{2\sqrt{\bar{t}(1-z^2)}} dz. \quad (2)$$

Здесь $a = \frac{\kappa_f}{\kappa_r}$, $b = a \frac{k_r x_f}{k_f w_f}$, $\bar{P}_r = \frac{P_r - P_0}{P_c - P_0}$, $\bar{P}_f = \frac{P_f - P_0}{P_c - P_0}$, $\bar{x} = \frac{x}{x_f}$, $\bar{y} = \frac{y}{x_f}$, $\bar{t} = t \frac{\kappa_r}{x_f^2}$. κ_f , κ_r , k_f и k_r – коэффициенты пьезопроводности и проницаемости трещины и пласта, x_f – половина длины трещины, P_c – давление на скважине, P_0 – начальное давление в пласте и в трещине, индексы f и r – относятся к трещине и пласту.

Разработанная в работе модель нестационарной фильтрации в пластах с трещиной ГРП позволяет определить влияние коллекторских свойств пласта и трещины на распределение давления и может быть использована при теоретическом обосновании методов гидродинамических исследований пластов.

Список публикаций:

- [1] Р.Д. Каневская Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. –212с.
- [2] Н. Cinco-Ley, V.F. Samaniego Transient Pressure Analysis for fractured wells // J. Petrol. Technol. – 1981. –V.33, N9. – P. 1749-1766.
- [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.

Моделирование коэффициента светопропускания в гомеотропной ячейке сегнетоэлектрического жидкого кристалла

Шайхутдинова Ильнара Айдаровна¹

¹Башкирский государственный университет

²Башкирский государственный медицинский университет

Кудрейко Алексей Альфредович², к.ф.-м.н.

ilnara180596@mail.ru

Многие параметры сегнетоэлектрического жидкого кристалла (СЖК) имеют явно выраженную температурную зависимость даже в относительно небольшом (20-30°C) температурном интервале [1]. В данной работе мы моделируем температурную зависимость электрооптических свойств СЖК в ячейке, в которой спираль геликоида ориентирована перпендикулярно подложкам, а электрическое поле направлено параллельно смектическим слоям [2]. Понимание температурной зависимости электрооптических свойств может быть полезной при разработке дисплеев нового поколения, в которых применяется модуляция фазы при слабом электрическом поле, поэтому тема исследования представляется актуальной.

Для моделирования электрооптических свойств такой ячейки мы обратились к экспериментальным кривым температурных зависимостей постоянной Керра для двух ранее изученных в работе [3] СЖК - смесей, обозначенных как FLC-618 и FLC-587. В частности, мы рассмотрели температурный диапазон, на котором постоянная Керра имеет явно выраженную линейную зависимость от температуры. Экспериментальные значения постоянной Керра были обработаны с помощью регрессионного анализа, и мы получили функции вида: $K_{Kerr} = At + B$, где $t \in 25 \dots 60^\circ\text{C}$, A и B – вычисленные постоянные. Полученные температурные зависимости мы подставили в выражение для оптического светопропускания, которое имеет вид:

$$T = \sin^2 2\Psi \sin^2 \frac{\pi \delta n_i d}{\lambda}, \quad (1)$$

где $\Psi = 45^\circ$ – угол между направлением электрического поля и плоскостью поляризации, $\delta n_i = K_{Kerr} \lambda E^2$ – величина двулучепреломления, индуцируемая электрическим полем, d – толщина слоя СЖК. Результаты моделирования представлены на рис 1.

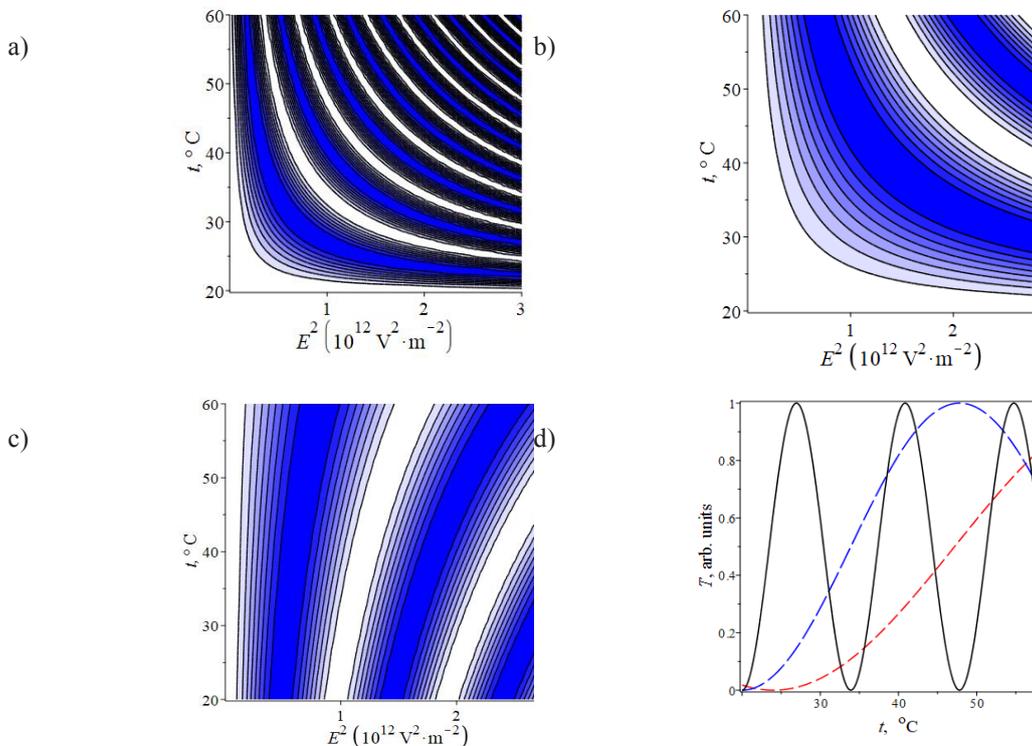


рис.1. Зависимости коэффициента светопропускания от квадрата электрического поля и температуры: (a) FLC-618 при $\lambda = 543 \text{ нм}$, (b) FLC – 618, $\lambda = 632,8 \text{ нм}$, (c) и FLC-587, $\lambda = 543 \text{ нм}$. (d) зависимость коэффициента светопропускания от температуры при $E = 10^6 \text{ V} \cdot \text{м}^{-1}$ для графиков (a) - (c).

Анализ результатов моделирования показывает, что при достаточно слабой температурной зависимости постоянной Керра, смещение эквипотенциальных линий вдоль оси E2 менее выражено, чем при сильной температурной зависимости постоянной Керра.

Список публикаций:

[1] Węglowska D., Dąbrowski R. // *Highly tilted ferroelectric liquid crystals with biphenyl benzoate rigid core. Liquid Crystals.* 2014. 41(8) p. 1116-1129.

[2] McMurdy J.W., Crawford G.P. and Jay G.D. // *Monolithic microspectrometer using tunable ferroelectric liquid crystals. Applied Physics Letters.* 2006. 89(8).

[3] Pozhidaev E.P. et al. // *Enhanced orientational Kerr effect in vertically aligned deformed helix ferroelectric liquid crystals. Optics letters.* 2014. № 39(10) p. 2900-2903.

5 - Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии

Зайцев Евгений Юрьевич, 4 курс

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

Соединение цилиндрических деталей из меди и коррозионностойких сталей методом магнитно-импульсной сварки

Крутиков Василий Иванович,

e-mail: jzaizew@gmail.com

стр. 161

Ишутина Полина Дмитриевна, 1 курс

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Особенности поведения тока электронов на подложку из магнетронно-распылительной системы

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

e-mail: p.ishutina@g.nsu.ru

стр. 162

Колесниченко Константин Сергеевич, 1 курс

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Исследование ВАХ магнетронного разряда с сетчатым анодом

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

e-mail: kolesnichenko.00@mail.ru

стр. 164

Ломов Константин Андреевич, 3 курс

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

стр. 165

Мамонтов Юрий Игоревич, аспирант 1 года обучения

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

стр. 167

Медведев Семён Юрьевич, 3 курс

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический

Сравнительный расчет напряжений электрического пробоя газоразрядных промежутков различных конфигураций

Козырев Андрей Владимирович, д.ф.-м.н.

e-mail: samphys.gd@gmail.com

стр. 168

Мосейков Игнатий Геннадьевич, 2 курс

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Вольт-амперная характеристика магнетронных распылительных систем при плавающем потенциале анода

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

e-mail: i.moseikov@g.nsu.ru

стр. 170

Остапченко Анастасия Евгеньевна, 2 курс

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Зависимость тока разряда от потенциала мишени для магнитной распылительной системы при различных давлениях в камере

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

e-mail: a.ostapchenko@g.nsu.ru

стр. 171

Педос Максим Сергеевич, аспирант 1 года обучения
Екатеринбург, Институт электрофизики УрО РАН
Генерирование мультигигаваттных импульсов гиромангнитными линиями
Рукин Сергей Николаевич, д.т.н.
e-mail: pedos_ms@mail.ru стр. 172

Петренко Евгений Владимирович, аспирант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, отделение материаловедения
Электроразрядное разрушение железобетонной шпалы однополярным и двуполярным импульсами в системе наложенных электродов
Юдин Артем Сергеевич, к.т.н.
e-mail: evgenius293@mail.ru стр. 173

Постников Артем Владимирович, аспирант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Численное моделирование плазмы гелия атмосферного давления, формируемой при переходе от искрового к тлеющему разряду
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: postnikov_a_v@list.ru стр. 174

Фролова Валерия Петровна, аспирант
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 стр. 175

Фролова Валерия Петровна, аспирант
Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, электронной техники
Генерация пучков многозарядных ионов тяжелых металлов в импульсном сильноточном вакуумном дуговом ионном источнике
e-mail: Frolova_Valeria_90@mail.ru стр. 176

Ярыгова Влада Максимовна, 1 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Исследование тока сетчатого анода магнетронно-распылительной системы
Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.
e-mail: v.yarygova@g.nsu.ru стр. 177

Соединение цилиндрических деталей из меди и коррозионностойких сталей методом магнитно-импульсной сварки

Зайцев Евгений Юрьевич

Крутиков Василий Иванович

Институт электрофизики УрО РАН

Крутиков Василий Иванович

jzaizew@gmail.com

На сегодняшний день одним из перспективных направлений металлообработки является метод магнитно-импульсной сварки (МИС). Особенность его заключается в том, что металлические образцы соединяются в результате высокоскоростного соударения, при этом является достижимым режим без плавления. Разгон метаемой детали осуществляется за счет сильного импульсного магнитного поля, создаваемого индуктором. Главным преимуществом МИС является возможность получить надежное соединение трудносвариваемых, а также традиционно несвариваемых пар металлов. Зачастую, по технологическим требованиям, необходимо получить соединение разнородных материалов, с чем хорошо справляется магнитно-импульсная сварка. Соединение меди и стали является особенно интересным, так как оно имеет потенциальное применение в электроэнергетике, системах охлаждения. Такое сочетание металлов объединяет тепловые и электрические свойства меди и прочность стали. Авторы работы [1] успешно получили соединение меди с углеродистой сталью при начальном угле соударения 5° . Цель нашей работы состояла в проверке возможности соединения меди со коррозионностойкими сталями разных марок, отличающимися структурой, физическими характеристиками, сравнении полученных результатов при одинаковых параметрах обработки.

Магнитно-импульсная сварка осуществлялась в одновитковом индукторе при разряде на него малоиндуктивного генератора импульсных токов на основе емкостного накопителя энергии. В качестве метаемой трубы была выбрана медь марки Cu-DHP, внешним диаметром 10,0 мм, толщина стенки 0,9 мм (рис.1). Медь соударялась с заглушками из коррозионностойких сталей 14X17H2 и 12X18H10T. Данные марки имеют схожую плотность в 7750 кг/м^3 и 7920 кг/м^3 соответственно, и сильно отличающуюся твердость 293 НВ и 179 НВ. Заглушки имели форму усеченного конуса с углом в 7° к оси. Высота конуса $L=11,7$ мм. Длина концентратора $L_s=10$ мм. Разгонный зазор d – от 0,6 до 2,1 мм. Величина x определяет, насколько узкая часть сердечника выступает из концентратора. При такой геометрии деталей может осуществляться как однофронтовой, так и двухфронтовой режим соударения [2].

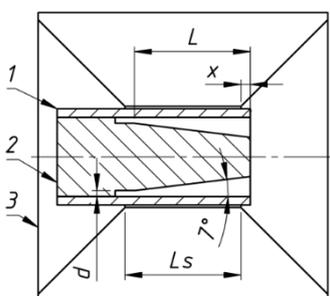


рис.1. Схема эксперимента. 1 – медный лайнер, 2 – стальной сердечник, 3 – концентратор магнитного потока

Для каждой из марок сталей проводилась серия из 4 экспериментов: трубы устанавливались в концентратор с выступом $x=0$ мм и $x=2$ мм, сваривались импульсами магнитного поля амплитудой 30 и 33 Тл и длительностью полупериода 14 мкс. В результате были получены сердечники, обжатые медной трубкой. Далее образцы были распилены перпендикулярно щелям концентратора, одну половину шлифовали, а с другой проводили тест на отрыв (рис.2). После отделения меди от стали, на сердечнике был отчетливо виден медный след, именно по его длине была оценена длина сварного шва.

Увеличение зарядного напряжения в обоих случаях приводит к увеличению длины соединения (рис. 3). Выступ в 2 мм негативно влияет размеры сварки в случае стали 14X17H2, но увеличивает длину сварного шва для стали 12X18H10T. Выступающая часть меди разгонялась за счет того, что её увлекала за собой часть трубы, которая находилась внутри концентратора. Кинетической энергии, приобретенной в результате этого разгона достаточно для образования сварного соединения только в случае более мягкой стали. Также стоит отметить, что прочность шва для различных x неодинакова. Тест на отрыв показал, что у деталей, соединенных при $x=2$ мм прочность соединения превышает прочность медной трубы, тогда как при $x=0$ медную трубу удавалось отделить от стальной детали. Это можно объяснить тем, что при отсутствии выступа нами был осуществлен двухфронтовой режим соединения, что негативно отражается на длине и прочности шва [3]. Дальнейшие

исследования будут состоять в более детальном изучении полученных соединений, в частности с точки зрения образования волн на границе материалов

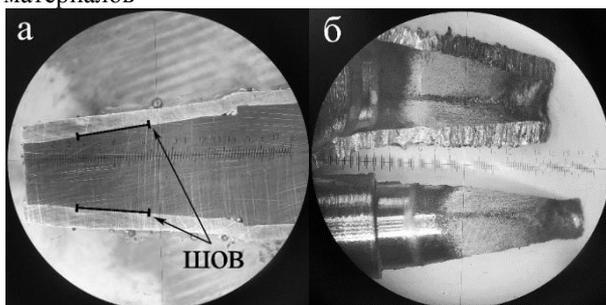


рис.2. Микрофотография. а - шлиф продольного разреза, б - после теста на отрыв

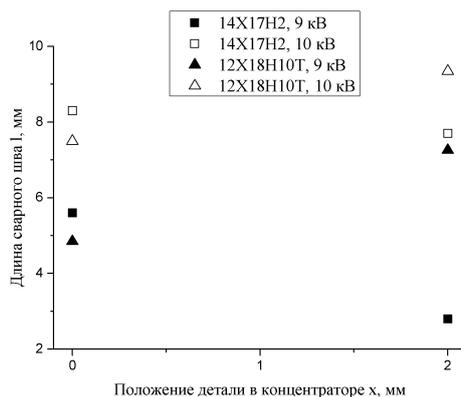


рис.3. Длина шва при различных параметрах сварки

Список публикаций:

- [1] Suman Patra, Kanwer Singh Arora, Mahadev Shome, Sandip Bysakh / Interface characteristics and performance of magnetic pulse welded copper-Steel tubes // *Journal of Materials Processing Technology* 245, 2017, p. 278-286.
 [2] Дудин А.А. // *Магнитно-импульсная сварка металлов: Металлургия*. 1979.
 [3] Lorenz A., Lueg-Althoff J., Bellmann J., Gobel G., Gies S., Weddeling C., Byeyr E., Tekkaya A. E. / *Workpiece Positioning during Magnetic Pulse Welding of Aluminum-Steel Joints* // *WELDING JOURNAL*, March 2016, p. 101-109.

Особенности поведения тока электронов на подложку из магнетронно-распылительной системы

Ишутина Полина Дмитриевна
Манина Антонина Андреевна

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

p.ishutina@ng.nsu.ru, zolkinas@gmail.com

Введение. Магнетронно-распылительные системы (МРС) занимают лидирующее положение в технологии тонкослойных покрытий, так как тонкие пленки, нанесенные с применением данной технологии, обеспечивают выполнение тех же функций, что и более толстые слои, получаемые из того же материала иными методами [1]. Основными достоинствами МРС являются равномерность получаемых пленок и высокая скорость их напыления. Недостатком же этой системы является высокое тепловое излучение, сопровождающее процесс напыления. Для уменьшения влияния теплового излучения на подложку, система оснащена сеточным анодом, снижающим бомбардировку подложки вторичными электронами. С другой стороны, протяженный анод и сетка обеспечивают более равномерное покрытие в центральной части подложки [2,3]. Кроме того, изменяя расстояние сетка-мишень МРС удастся управлять энергией ионов аргона, которые бомбардируют и распыляют мишень. За сеткой следует ожидать поток электронов с катода МРС, которые могут достигать подложки и оказывать влияние на структуру и рост покрытий. Для наиболее эффективного применения МРС с сеточным анодом необходимо определить рабочий диапазон системы, при котором ток на подложке будет минимален. Цель данной работы – выявить особенности поведения тока электронов на подложку из МРС, в зависимости от расхода газа аргона, напряжения на катоде МРС.

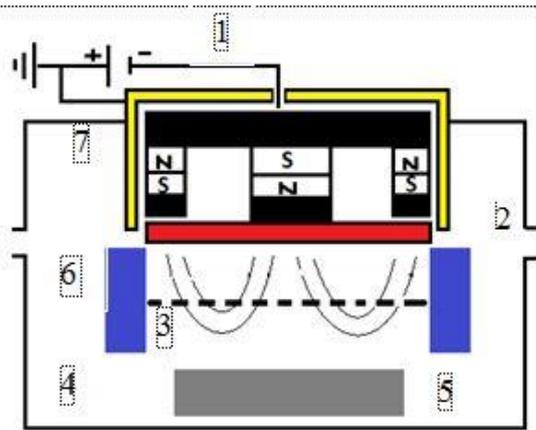


рис. 1. Схема установки. 1 – источник напряжения, 2 – система подачи и откачки аргона, 3 – сетка, 4 – вакуумная камера, 5 – подложка, 6 – удлиненный анод, 7 – магнетрон.

Методика. Эксперимент проводился на магнетронной распылительной системе с сеточным анодом (прозрачность сетки 70%) (рис.1). Вакуум в камере создавался с помощью трех форвакуумных насосов и двух турбомолекулярных насосов. Начальное давление составляло порядка 10^{-5} Торр, после подведения аргона давление понизилось до порядка 10^{-3} Торр. Расход аргона изменялся от 200 мл/мин до 48 мл/мин, и для каждого фиксированного значения измерялись значения напряжения между анодом и катодом и тока на подложке. Диаметр мишени MPC – 90 мм.

Результаты и обсуждение. На графике (рис.2) виден резкий скачок значений тока (до -1.28 А) при плавном увеличении напряжения в диапазоне 500-680 В. При дальнейшем повышении напряжения ток на подложке плавно уменьшается обратно до -0.1 – -0.05 А. При уменьшении напряжения от максимально допустимого значения до момента гашения аналогичных скачков тока на подложке не наблюдается. Таким образом, был получен рабочий диапазон системы: 480-600 В. Сравнение графиков (рис.2 а-в) показывает, что при различных расходах меняется как амплитуда сигнала, так и положение максимума электронного тока на подложку. Важно выяснить влияние электронного потока на рост и структуру покрытия. В данной работе произведено напыление углерода на подложки из стекла и кремния, проведен анализ покрытия с помощью спектрофотометра, измерена шероховатость поверхности и нанотвердость.

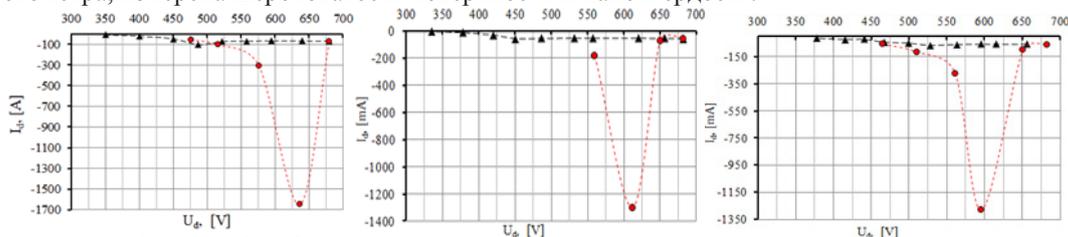


рис. 2. Зависимость тока на барабане (I_d) от напряжения (U_d) между анодом и катодом (ВАХ) магнетронного разряда при распылении графитовой мишени при расходе газа: а - 200 мл, б - 100 мл, в – 70 мл.

Выводы. Получена зависимость электронного тока на подложку от напряжения между анодом и катодом для углерода при разных расходах аргона. Ток электронов достигал величины 1.27 А при напряжении в диапазоне 500-600 В, что может доказывать существенное влияние на рост и структуру напыляемого покрытия.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников лаборатории Александра А. Борисова и Сергея Ю. Чепкасова за помощь при проведении экспериментов. Работа проведена в рамках проекта Топ-100 НГУ «Новая физика».

Список публикаций:

- [1] Кузьмичев А. И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. – К.: Аверс, 2008. – 244с. – стр. 129-131.
- [2] Данилин Б. С., Сырчин В. К. Магнетронные распылительные системы. – М.: Радио и связь; 1982. – 72 с.
- [3] J C Sagas, D A Duarte, L C Fontana. Unusual behaviour of current–voltage relations in an unbalanced grid-assisted magnetron sputtering system. //J. Phys. D: Appl. Phys. 45 (2012)

Исследование ВАХ магнетронного разряда с сетчатым анодом

Колесниченко Константин Сергеевич

Канарская Мария Антоновна

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

makanarskaya@gmail.com, kolesnichenko.00@mail.ru, zolkinas@gmail.com

Введение. Возможность нанесения тонких углеродосодержащих пленок на полимер перспективна в области биофизики и медицины. Свойства тонких углеродных пленок, нанесенных с помощью магнетронно-распылительной системы (МРС) [1], зависят от параметров этой системы. От напряжения разряда и силы разрядного тока МРС зависят многие параметры напыления: скорость напыления, коэффициент распыления и т.д. Следовательно, от исследования вольт-амперных характеристик МРС зависит выбор оптимального режима работы системы. Предположительно, при напылении с добавлением сетчатого анода, получающиеся пленки будут более однородные, так как добавление сетчатого анода приводит к стабилизации разряда [2]. Это уменьшает шероховатость пленок [3]. Отличительной чертой нашего эксперимента является добавление в установку полого керамического цилиндра, ограничивающего плазму разряда и препятствующий добавлению к аргону других примесей из камеры: кислорода, азота и т.д. Предположительно, установка с цилиндром даст более однородные пленки, чем без него.

Цель данной работы - исследовать вольт-амперные характеристики МРС с сетчатым анодом для графитовой мишени.



1. *рис. 1. Схема установки: 1 – вакуумная камера; 2 – МРС; 3 – мишень-катод; 4 – керамический цилиндр; 5 – анод-сетка; 6 – подложка; 7 – подложкодержатель*

Методика. Эксперимент проводился на магнетронной распылительной системе с сетчатым анодом (прозрачность сетки 70%) (рис.1). В экспериментах использовался блок питания АРЕL-М-РDС («Прикладная электроника» - Томск). Вакуум в камере создавался с помощью трех форвакуумных насосов ANEST IWATA ISP-250С и двух турбомолекулярных насосов Shimadzu TMP-2003. Изначально давление было откачено до 10^{-5} Торр, потом подводился аргон до давления порядка 10^{-3} Торр, давление в камере измерялось с помощью Pfeiffer Vacuum PKR 251 Full Range Gauge Pirani, газовый поток измерялся с помощью системы Digital Mass Flow Controller SEC-Z500X Series – Horiba. Изменялся расход подводимого газа от 200 мл/мин до 48 мл/мин. При фиксированном расходе снимались показания разрядного напряжения и тока разряда, сначала увеличивали напряжение с момента возникновения разряда до максимального допустимого значения для прибора, затем уменьшали до момента затухания.

Результаты и обсуждение. Показания снимались для следующих расходов рабочего газа: 200 мл/мин, 148 мл/мин, 100 мл/мин, 75 мл/мин, 52 мл/мин.

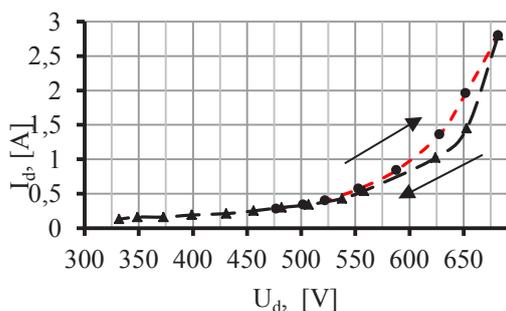


рис. 2. ВАХ МРС при расходе 200 мл/мин. I_d – ток разряда, U_d – напряжение разряда.

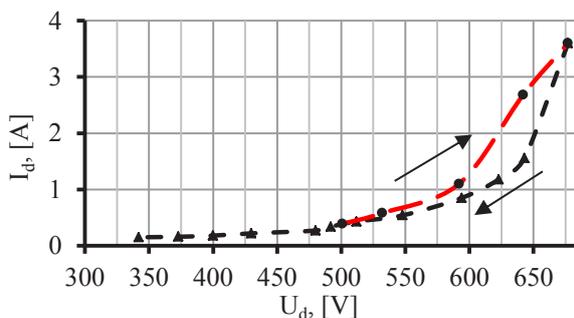


рис. 3. ВАХ МРС при расходе 100 мл/мин. I_d – ток разряда, U_d – напряжение разряда.

По полученным данным видно, что при повышении напряжения ток разряда увеличивался, а при понижении уменьшался (для всех расходов рабочего газа). На рис. 2 и рис. 3 на интервале напряжений от 500 В до 680 В видно петлю гистерезиса. Вероятно, ее появление можно объяснить тем, что при изменении напряжения температура катода не успевает уравновеситься. Следовательно, величина петли зависит от расхода газа. Возможно, это связано с изменением теплопроводности газа. При напряжении от 300 В до 500 В наблюдалась пульсация плазмы, что свидетельствует о ее нестабильности. При напряжении от 600 В до 680 В фиксировали увеличение микродуг, что реально приводит к ухудшению качества пленки. При напряжении в интервале от 500 В до 600 В разряд был стабильным, при этом не возникало режима микродуг. Следовательно, при таком напряжении ожидаются наиболее однородные, качественные пленки.

Выводы. Установлено, что вольт-амперная характеристика МРС на интервале от 500 В до 680 В имеет петлю гистерезиса. Величина петли зависит от расхода газа. Определено оптимальное напряжение магнетронного разряда $U_d = 500-600$ В; при этом напряжении разряд стабильный и не возникает режима микродуг. Считаем, что МРС с сеточным анодом и полым керамическим цилиндром, ограничивающим плазму, более стабилен, чем классический МРС, что, в перспективе, может улучшить свойства пленок.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Борисову А. А. за помощь в проведении эксперимента и за консультацию в области физики плазмы и физики газового разряда.

Список публикаций:

- [1] Кузьмичев А.И. // *Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в технику магнетронного распыления.* Киев: Аверс. 2008. – 244с.
 [2] Julio César Sagás, Rodrigo Sávio Pessoa, Homero Santiago Maciel // *Langmuir Probe Measurements in a Grid-Assisted Magnetron Sputtering System.* Brazil: 2017 – 6с.
 [3] Kyung H. Nama, Min J. Junga, Jeon G. Hana, Torsten Kopteb, Ullrich Hartungb, Carsten Petersb // *Synthesis of high-density MgO films by a novel magnetron sputtering system.* South Korea: *Vacuum* 75 (2004) 1–6 2003 – 6с.

Диагностика высокочастотных возмущений азимутального магнитного поля в установке СМОЛА

Ломов Константин Андреевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

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

k.lomov@g.nsu.ru

Одним из путей решения проблемы управляемого термоядерного синтеза является удержание горячей плазмы магнитным полем. Концепция линейных (открытых) магнитных ловушек, развиваемая в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, обеспечивает хорошее подавление теплопроводности поперёк магнитного поля, но нуждается в дополнительном подавлении потока плазмы вдоль силовых линий. Для улучшения параметров удержания плазмы в открытых ловушках была предложена конфигурация из скрещенных радиального электрического и винтового магнитного полей [1].

Для экспериментальной проверки концепции винтового удержания плазмы в конце 2017 года в институте была запущена спиральная магнитная открытая ловушка (СМОЛА, рис. 1а). В ходе первой серии экспериментов были подтверждены основные предположения концепции [2]. К концу 2018 года установка была дооборудована и началась вторая серия экспериментов.

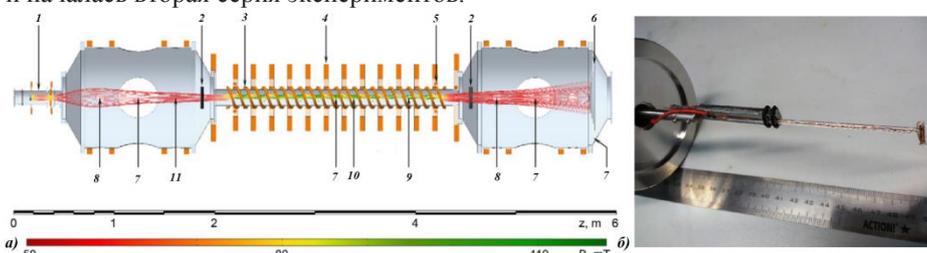


рис. 1. а) Схема установки СМОЛА: 1 – плазменная пушка; 2 – лимитер; 3 – винтовой соленоид; 4 – соленоид прямого поля; 5 – катушка коррекции; 6 – секционированный плазмopриёмник; 7 – фотокамера; 8 – ленгмюровский зонд; 9 – 50 ГГц интерферометр; 10 – магнитный зонд; 11 – доплеровская спектроскопия.
 б) Фотография магнитного зонда.

В данной работе представлена диагностика высокочастотных (выше 100 кГц) возмущений магнитного поля, индуцируемых флуктуациями тока в плазме установки. Основной элемент диагностики – измерительная

катушка, которая должна удовлетворять следующим требованиям: малые геометрические размеры (радиус плазмы в установке ≈ 5 см, ларморовский радиус ионов $\approx 0,5$ см [3]), низкая индуктивность и изоляция катушки от прямого воздействия плазмы, что позволяет проводить измерения внутри плазменного шнура.

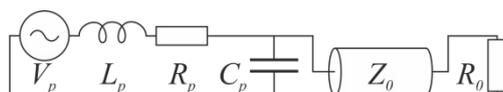


рис. 2. Схема эквивалентной цепи подключения магнитного зонда к АЦП.

На рисунке 2 изображена схема эквивалентной цепи подключения измерительной катушки (V_p – индуцируемое магнитным полем напряжение, L_p – собственная индуктивность, R_p – активное сопротивление, C_p – паразитная ёмкость) посредством кабеля RG-58 с волновым сопротивлением $Z_0 = 50$ Ом к АЦП (частота дискретизации до 50 МГц, разрешение по напряжению от $7,3 \cdot 10^{-5}$ В) с входным сопротивлением R_0 , согласованным с кабелем ($R_0 = Z_0$). Теоретический расчёт параметров катушки в зависимости от её радиуса, числа витков, диаметра и материала проводника, толщины и диэлектрической проницаемости изоляции [4] показал, что у 50-витковой катушки радиуса 1 мм из медной проволоки (внешний диаметр 0,1 мм) ожидается активное сопротивление порядка 1 Ом, индуктивность порядка 10^{-6} Гн, паразитная ёмкость порядка 10^{-12} Ф и резонансная частота порядка 10^8 Гц, что на порядок больше частот исследуемых флуктуаций. Это позволяет пренебречь активным сопротивлением и паразитной ёмкостью и использовать упрощённое выражение для передаточной функции $H(f)$, связывающей амплитуду показаний АЦП U с амплитудой магнитного поля в катушке B , в зависимости от частоты f :

$$H = \frac{U}{B} = \frac{S_{\text{эфф}}}{\sqrt{(2\pi f)^{-2} + L_p^2 / R_0^2}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{эфф}} = SN$ – эффективная площадь катушки, S – площадь одного витка, N – количество витков.

С учётом требований к диагностике и теоретических расчётов был изготовлен магнитный зонд: измерительная катушка из медной проволоки (внешний диаметр 0,1 мм) с керамическим сердечником радиуса 1 мм и внешним кварцевым кожухом; а также сконструировано крепление зонда в центральной секции установки с возможностью дистанционно регулировать расстояние до оси установки (рис. 1б). Измерителем иммитанса были измерены собственная индуктивность измерительной катушки $L_p = 1,435$ мкГн и её активное сопротивление $R_p = 1,59$ Ом.

Для калибровки измерительной катушки использовалось импульсное магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца при разрядке через них высоковольтного конденсатора, и сравнивались сигналы магнитного зонда, эталонной 10-витковой катушки большого радиуса и измерителя тока разрядки HASS 100-S (рис. 3). Было получено значение эффективной площади зонда $S_{\text{эфф}} = 1,14 \cdot 10^{-4}$ м². Также была исследована реакция зонда на перпендикулярное оси катушки магнитное поле: чувствительность зонда к перпендикулярному полю составляет менее 8% от чувствительности к параллельному полю.

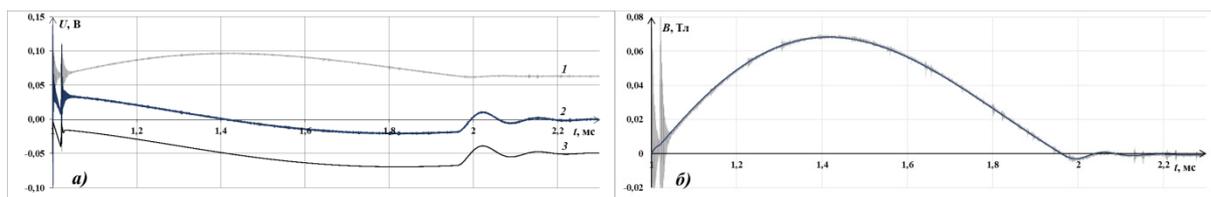


рис. 3. а) Показания АЦП при калибровке зонда: 1 – измеритель тока; 2 – зонд; 3 – эталонная катушка (для наглядности её сигнал ослаблен в 50 раз и опущен на 0,05 В). б) Пересчёт показаний АЦП в напряжённость магнитного поля: полупрозрачная линия – по измерителю тока; сплошная линия – по магнитному зонду.

Совпадение показаний достигнуто подбором $S_{\text{эфф}}$.

В результате данной работы был сконструирован и изготовлен магнитный зонд для диагностики высокочастотных возмущений магнитного поля в установке СМОЛА, исследованы его характеристики. Зонд установлен в центральной секции установки (рис. 1а, элемент 10), ось катушки ориентирована перпендикулярно оси установки для исследования азимутальной компоненты магнитного поля. В докладе представлены результаты измерений магнитным зондом в различных режимах работы установки и их анализ. Результаты работы будут использованы для создания многоканальной высокочастотной магнитной диагностики, позволяющей исследовать пространственную конфигурацию токов в плазме установки.

Список публикаций:

- [1] A. D. Beklemishev // Fusion Sci. Technol. 63 (1T) (2013) 355–357.
- [2] A. V. Sudnikov et al. // Plasma and Fusion Res. 14, 2402023 (2019).
- [3] A. V. Sudnikov et al. // Fusion Engineering and Design. 122, 85 (2017).
- [4] M. J. Hole et al. // Rev. Sci. Instrum. 80, 123507 (2009).

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

Мамонтов Юрий Игоревич

Лисенков Василий Викторович, Уйманов Игорь Владимирович

Институт электрофизики УрО РАН

Уйманов Игорь Владимирович, к.ф.-м.н.

mamontov@iep.uran.ru

В предыдущей работе [1] было экспериментально зарегистрировано формирование убегающих электронов в субнаносекундных разрядах в азоте при давлениях вплоть до 40 атм. Также было высказано предположение, что убегающие электроны способны осуществлять предыонизацию разрядного промежутка и обеспечивать существование объемной фазы разряда [2]. Однако предварительные расчеты, выполненные при помощи одномерной гидродинамической модели, не выявили возможность генерации убегающих электронов в исследуемых условиях [1]. По нашему мнению, подобный результат объясняется тем, что одномерная модель оперирует с усредненными характеристиками электрического поля. Это означает, что наличие неоднородностей поля, обусловленных микрогеометрией катода, учитывается с помощью усредненного коэффициента усиления поля β , но при таком подходе не учитывается ускорение электрона в области усиленного поля, которое может быть создано, например, отдельным микроострием.

Если зафиксировать величину приведенной напряженности поля E/N вблизи катода в разрядах при различных давлениях, то оказывается, что для давлений порядка 1 атм и E в диапазоне от 10 до 100 кВ/см наличие области сильнонеоднородного поля отдельного микроострия почти не играет роли, так как разность потенциалов, которую проходит электрон в данной области, лежит в диапазоне десятков вольт. Это практически не прибавляет электрону вероятности уйти в режим убегания. В данном случае возможность убегания определяется параметрами электрического поля в формирующемся катодном слое разряда. Однако для давлений порядка 10 атм и выше напряженности поля вблизи катода могут достигать 1-10 МВ/см, и электрон, пройдя область усиленного поля перед микроострием, может набрать энергию 100-1000 эВ, что делает его переход в режим убегания вполне вероятным. Для проверки данного предположения был использован двумерный алгоритм для моделирования кинетики электронов методом Монте-Карло [3].

В данной работе моделировалось движение электронов в азоте при различном давлении в поле конического микроострия высотой h , основанием $0,5h$, вершина которого скруглена радиусом $0,01h$. Подобное микроострие является упрощением реальных структур, которые наблюдаются на электронных микрофотографиях поверхности катода. Для расчета пространственного распределения электрического поля использовалось уравнение Лапласа.

Моделирование показало, что наличие области локального усиления электрического поля облегчает уход электрона в режим убегания, причем этот эффект существенно усиливается с ростом давления газа [4]. Данный результат объясняется тем, что в случае наличия микроострия на вероятность убегания начинает сказываться не только приведенное, но и абсолютное значение напряженности электрического поля. Электрон, вылетев из микроострия, сразу попадает в область резко усиленного поля, быстро спадающего с расстоянием. Эту область он проходит практически без столкновений и приобретает при этом некоторую энергию. Далее он попадает в протяженную область относительно слабого усиления. Проходя ее, электрон также ускоряется, хотя одновременно он может растрачивать энергию на ионизацию. В итоге после полного прохождения области усиленного поля, энергия электрона должна превысить энергию максимума сечения ионизации (так как для процесса убегания потери на ионизацию — основные энергетические потери), то есть величину порядка 100 эВ. Причем очевидно, что чем больше энергия, тем больше вероятность ухода электрона в режим убегания. Моделирование показывает, что, например, при условной начальной энергии порядка 1000 эВ (которую он приобрел, пройдя область усиленного поля) для перехода в режим непрерывного ускорения электрону требуется примерно в 4,5 раза меньшая напряженность поля, чем при энергиях, соответствующих плазменным («медленным») электронам, — порядка 1-10 эВ. При меньших энергиях необходимая для убегания напряженность поля начинает возрастать, пока при энергиях менее 300 эВ практически не сравнивается с пороговой напряженностью поля для «медленных» электронов из-за возрастания потерь энергии электроном. При увеличении абсолютного значения напряженности среднего электрического поля и протяженности области усиления поля (при увеличении h) после прохождения этой области электрон получает более высокую «начальную» энергию, что облегчает его переход в режим убегания уже в однородном поле разрядного промежутка.

На *рис. 1* представлен пример полученных результатов моделирования для азота давлением 10 атм и микроострия высотой $h = 10$ мкм. Для данных условий была рассчитана зависимость вероятности ухода электрона, эмитированного из вершины микроострия, в режим убегания от средней напряженности электрического поля в разрядном промежутке (кривая 1).

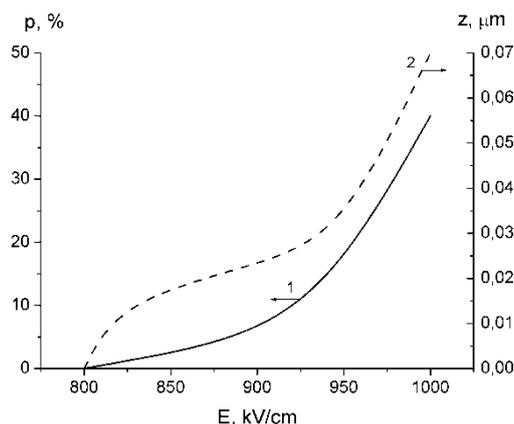


рис.1. Зависимость вероятности ухода электрона в режим убегания (кривая 1) и размера области перед микроострием (кривая 2), из которой этот уход возможен, от средней напряженности поля в разрядном промежутке для высоты микроострия 10 мкм и давления 10 атм.

На этом же рисунке (кривая 2) представлен размер области перед микроострием, из которой электрон, появившийся в результате ионизации, наравне с эмитированным электроном имеет вероятность уйти в режим убегания. Видно, что эта вероятность резко возрастает от ~1% при средней напряженности поля в промежутке 800-850 кВ/см до примерно 40% при напряженности поля 1000 кВ/см. Также заметно возрастает область, из которой вторичные электроны могут уходить в режим убегания. Так, при напряженности поля 800-850 кВ/см эта область составляет 0,01-0,02 мкм, и вероятность ионизации в этой области мала, тогда как при напряженности поля в промежутке 1000 кВ/см эта область увеличивается до 0,07 мкм и вероятность по крайней мере однократной ионизации в ней близка к 100%. Следовательно, в случае средней напряженности поля порядка 1000 кВ/см уже можно говорить о некотором подобии лавины убегающих электронов.

Результаты моделирования показывают важную роль микрогеометрии катода и создаваемого ей неоднородного электрического поля для динамики электронов в разрядных промежутках сверхвысокого давления. В частности, наличие области усиленного поля облегчает переход электронов в режим непрерывного ускорения при давлениях вплоть до 40 атм. Полученные результаты важны при исследованиях коммутационных свойств промежутков сверхвысокого давления, а также при изучении процессов развития субнаносекундных разрядов в объемной форме.

Список публикаций:

- [1] Ivanov S. N. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2013. Vol. 46. No 28. 285201.
- [2] Ivanov S. N., Lisenkov V. V. // *Plasma Phys. Rep.* 2018. Vol. 44. No 3. P. 369-377.
- [3] Мамонтов Ю. И., Лисенков В. В. // *Наука. Технологии. Инновации. Сб. науч. тр. конф. НТИ-2017 в 10-и ч. Новосибирск: Изд-во НГТУ.* 2017. Ч. 2. С. 124-128.
- [4] Lisenkov V. V., Ivanov S. N., Mamontov Yu. I., Tikhonov I. N. // *Techn. Phys.* 2018. Vol. 63. No 12. P. 1872–1875.

Сравнительный расчет напряжений электрического пробоя газоразрядных промежутков различных конфигураций

Медведев Семён Юрьевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Козырев Андрей Владимирович, д.ф.-м.н.

samphys.gd@gmail.com

Представленная работа относится к физике электрического разряда в газе. Электрическим разрядом называется явление протекания электрического тока через газообразную среду. Для того, чтобы газ в нормальных условиях стал проводить электрический ток, необходимо осуществить его ионизацию, то есть сгенерировать свободные заряженные частицы – электроны и ионы. Явление перехода газообразной среды от непроводящего (диэлектрического) состояния к проводящему при наложении достаточно сильного электрического поля называется электрическим пробоем газа. Обычно пробой происходит при достижении некоторого минимального значения напряжения U_{br} , которое называется статическим пробивным напряжением. Как правило, величина статического напряжения пробоя определяется сортом газа (или составом газовой смеси), давлением газа p и геометрическими параметрами диода (радиусами кривизны электродов, шириной

межэлектродного зазора, наличием диэлектрических деталей и т.п.). Но в простейших ситуациях эти параметры могут подчиняться законам подобия.

Одним из частных случаев законов подобия газовых разрядов является закон Пашена, сформулированный Фридрихом Пашеном в 1889 году. Он гласит, что наименьшее значение напряжения зажигания газового разряда между двумя плоскими электродами в однородном поле есть величина постоянная и характерная для каждого газа при одинаковых значениях произведения давления p на длину межэлектродного зазора d . В то же время Пашеном были получены графики зависимостей напряжения пробоя от произведения pd для случая плоского газоразрядного промежутка и различных газов, называемые кривыми Пашена.

Главной целью данной работы является построение подобных соотношений между пробивным напряжением и произведением pc (c – радиус внутреннего катода) для цилиндрического и сферического диодов, а также их сравнение с кривыми Пашена для плоского диода.

В качестве основы для расчета напряжения пробоя использовался универсальный критерий зажигания самостоятельного разряда

$$\gamma \left(\exp \left\{ \int_c^a \alpha(E) dx \right\} - 1 \right) = 1, \quad (1)$$

где α – коэффициент объемной ионизации Таунсенда, γ – коэффициент вторичной ионно-электронной эмиссии. Интегрирование в (1) по координате ведется от катодной (c) до анодной (a) поверхности вдоль силовой линии электрического поля E . Для вычисления функции $\alpha(E)$ использовалась формула $\alpha = Ap \cdot \exp(-Bp/E)$, константы A и B для различных газов приведены в работе [1].

Используя формулу (1), для плоского газоразрядного промежутка с однородным электрическим полем между электродами удается получить аналитическую зависимость напряжения пробоя от произведения pd . Для диодов цилиндрической и сферической геометрии с неоднородным полем между электродами подобную зависимость в явном виде получить не удастся, поэтому она рассчитывалась с использованием численных методов. На рисунке 1 показаны результаты таких расчетов на примере воздуха ($\gamma = 0.0175$, для неплюских диодов радиус анодного электрода в расчетах был в 10 раз больше радиуса катода).

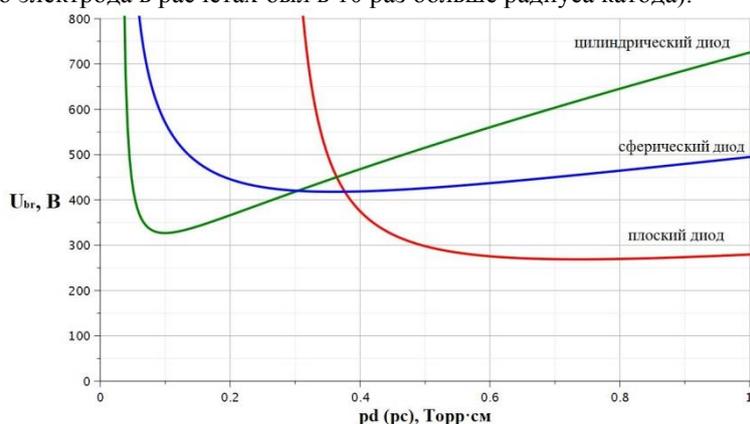


рис. 1. Зависимости пробивного напряжения газонаполненного диода различной геометрии для воздуха.

Как видно из рисунка 1, диоды коаксиальной и сферической геометрии имеют более высокое значение напряжения пробоя в минимуме, чем в плоском случае, хотя конкретная величина минимального напряжения существенным образом зависит также от соотношения радиусов внутреннего и внешнего электродов. Вывод о том, что среди всех одномерных конфигураций наименьшим напряжением пробоя обладает плоский газонаполненный промежуток, оказывается справедливым не только для воздуха, но и для других исследованных нами сортов газа: H_2 , He, Ar, CO_2 , Ne, N_2 и Xe.

Проведенное исследование позволяет рекомендовать использование именно плоского диода для лабораторного тестирования возможности пробоя межэлектродных промежутков более сложной конструкции в различных газовых средах в условиях меняющегося давления. Подобные тесты проводятся при испытаниях бортовой аппаратуры космических аппаратов на предмет их электрической устойчивости [2].

Список публикаций:

[1] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Научное издание. – 3-е изд., исп. и доп. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 736 с.

[2] Физическое моделирование вторичного дугообразования в диапазоне давлений окружающей среды от атмосферного уровня до уровня вакуума / А. В. Батраков, Е. Л. Дубровская, К. В. Карлик и др. // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57, № 11. С. 7-11.

Вольт-амперная характеристика магнетронных распылительных систем при плавающем потенциале анода

Мосейков Игнатий Геннадьевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

i.moseikov@ngsu.ru zolkinas@gmail.com

Введение. Важнейшей характеристикой процесса нанесения тонких пленок с помощью магнетронных распылительных систем (МРС) является вольт-амперная характеристика (ВАХ). С ее помощью могут быть определены оптимальные режимы напыления, позволяющие формировать пленки с высокой равномерностью покрытия [1].

Цель данной работы исследовать ВАХ МРС при плавающем потенциале протяженного анода для графитовой мишени с целью получения углеродного покрытия на поверхности органического стекла.

Методика. Получены ВАХ при низком и высоком давлении в камере МРС (рис.1). В обоих экспериментах предварительно был откачан газ из камеры до 5,9 Па для высокого и на $2,1 \cdot 10^{-1}$ Па для низкого. Далее напускался рабочий газ – аргон, расход 1,2 мл/мин и 30 мл/мин для высокого и низкого давления соответственно. Затем изменяя напряжение на генераторе (шаг примерно 10 В), получили зажигание разряда в МРС, после чего велась запись параметров вольт-амперной характеристики. Измерения производились как от большего напряжения к меньшему, так и наоборот.

Результаты и обсуждение.

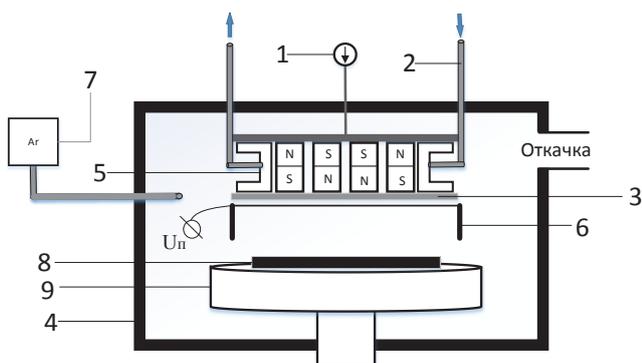


рис.1. Схема установки. 1 – источник напряжения; 2 – система водяного охлаждения; 3 – графитовая мишень; 4 – вакуумная камера; 5 – магнетрон, 6 – Цилиндрический анод с плавающим потенциалом; 7 – баллон с аргонном, 8 – подложка на которую напыляется углерод; 9 – барабан на котором закреплена подложка;

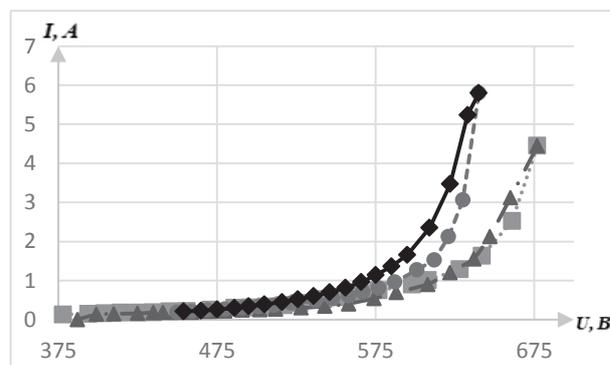


рис.2. Зависимость электрического тока от напряжения на аноде при высоком и низком давлении. Рабочий газ – аргон; \blacklozenge – увеличение напряжения (низкое давление), \bullet – понижение напряжения (низкое давление), \blacksquare – увеличение напряжения (высокое давление); \blacktriangle – понижение напряжения (высокое давление)

Из вольт-амперной характеристики видно, что с увеличением расхода газа возрастает ток разряда (рис.2). Так как за счет увеличения концентрации рабочего газа в плазме, произошло увеличение плотности потока бомбардирующих катод ионов. Следствием чего является усиление вторичной эмиссии электронов.

На участке низких напряжений, при повышении напряжения, постепенно растет поток тепла на катод, что, вероятно, вызывает постепенный, медленный рост вторичной эмиссии, температура почти не меняется, как и сопротивление, ток в данной области выше тока при понижении напряжения, но при этом ток растет медленно. По-видимому, с появлением дуговых разрядов, в области высокого давления 387В и 577В в области низкого, ток резко возрастает, но сопротивление и температура все так же медленно растут (диапазон для высокого давления 620-640В и 640-670В для низкого). Однако, при дальнейшем увеличении напряжения, сопротивление, за счет прогрева мишени, будет резко возрастать, в следствии чего скорость роста тока уменьшается. На участке высоких напряжений, при понижении напряжения, ток резко уменьшался, возможно, мишень не успевала остыть за столь короткий срок. В результате сопротивление при понижении напряжение получилось больше, чем при повышении. В следствии чего получили гистерезис.

Следуя авторам работы [2], считаем, что из-за активного дугообразования катодное пятно остаётся в точке испарения слишком долго, оно эмитирует большое количество атомов вещества. Эти макровключения снижают характеристики покрытий, так как они имеют плохое сцепление с подложкой и могут по размерам

превосходить толщину покрытия (проступать сквозь покрытие). Следовательно, оптимальными можно считать значения, не достигшие дугового разряда, для высокого давления $I \approx 1,5$ А, $U \approx 612$ В и $I \approx 1,5$ А, $U \approx 635$ В для низкого.

Выводы. В результате работы были сняты ВАХ системы при плавающем потенциале, объяснены причины возникновения петель гистерезиса. Объяснены различные формы ВАХ при разных давлениях рабочего газа. Определены оптимальные режимы напыления углеродной пленки при плавающем потенциале, для расхода рабочего газа 30 мл/мин и 1,2 мл/мин: $I \approx 1,5$ А, $U \approx 612$ В и $I \approx 1,5$ А, $U \approx 635$ В соответственно.

Список публикаций:

[1] Кузьмичев А. И. *Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления.* – К.: Аверс, 2008. – 244с.

[2] Соловьев А.А., Согоучов Н.С., Оскомов К.В., Работкин С.В. *Исследование характеристик плазмы в несбалансированной магнетронной системе. Физика плазмы, 2009, том 35, выпуск 5, стр. 443-452*

Зависимость тока разряда от потенциала мишени для магнитной распылительной системы при различных давлениях в камере

Остапченко Анастасия Евгеньевна¹

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

²Специализированный учебно-научный центр Новосибирского государственного университета (СУНЦ НГУ)

Золкин Александр Степанович^{1,2}, к.ф.-м.н.

a.ostapchenko@g.nsu.com, zolkinas@gmail.com

Введение. Нанесение углеродного покрытия на материалы с помощью МРС связано с особенностями процесса распыления аргоном графитовой мишени, транспортом частиц углерода от мишени к подложке и осаждением углерода на поверхности [1]. Одна из основных проблем - исследование зависимости тока разряда МРС от напряжения на мишени (ВАХ) при различных давлениях атмосферы в вакуумном пространстве.

Цель работы - исследование магнетронного разряда путем измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) при давлениях от 0,26 до 5,4 Па.

Методика. В данной работе использовалась схема МРС с протяженным анодом (Рис. 1 (а)), такая схема позволяет уменьшить количество примесей в осаждаемом материале на подложку. Между графитовой мишенью диаметром 90 мм и металлической подложкой (Д16-Т) изменялся электрический потенциал от 490 до 660В. Давление в камере изменялось от $2,6 \times 10^{-1}$ Па до 5,4 Па. Данные снимались при повышении и понижении электрического напряжения с целью обнаружения гистерезиса. Протяженный анод находился под нулевым потенциалом (земля).

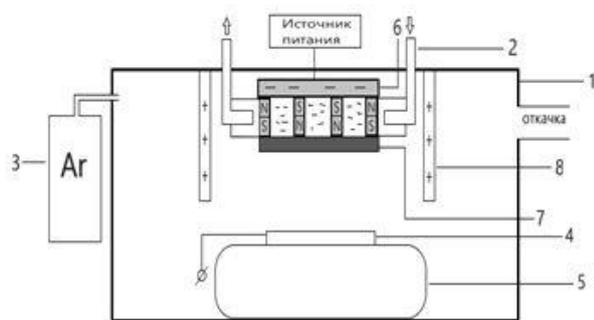


рис. 1 (а). Схема установки.

1 – вакуумная камера; 2 – система водяного охлаждения; 3 – баллон с Аргоном; 4 – подложка; 5- барабан, на котором закреплена подложка; 6 – магнитопровод; 7- мишень, 8 – протяженный анод.

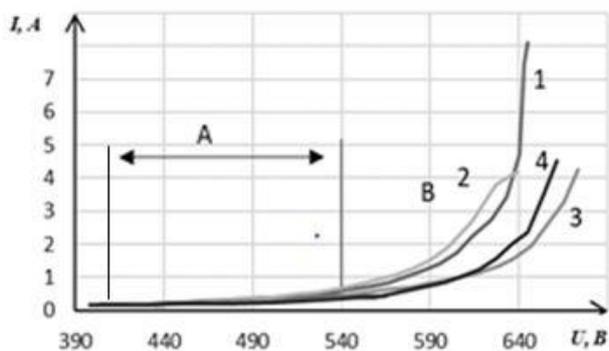


рис. 1 (б). Вольт - амперная характеристика при различных давлениях 1, 2 – понижение и повышение напряжения в области давления 5,4 Па; 3, 4 – понижение и повышение напряжения в области давления $2,6 \times 10^{-1}$ Па;

В ходе эксперимента получена вольт - амперная характеристика магнетронного разряда при различных давлениях. Установлены промежутки значений, при которых разряд зажигался и погасал. На основе полученных данных (Рис. 1б) сделаны выводы о характеристиках МРС: 1 - в области напряжений от 490 В до 630 В работа установки стабильная, плазма не гаснет; 2 - при малых токах в области А зависимости от давления

не наблюдается; 3 - в области В можем заметить, что при низких давлениях ток разряда намного меньше, но при высоких давлениях происходит скачок, возможно дугообразование [2], потому что ток растет быстро, а напряжение меняется медленно, а это отрицательно сказывается на напылительном процессе.

Вывод. Выбран промежуток значений разрядного напряжения для стабильной работы магнетронной распылительной системы: 490 – 630 В. Установлена зависимость тока разряда от давления в камере. Выяснено, что оптимальным режимом для данного магнетрона является низкое давление в области 0,26 Па при токе разряда от 1 до 2,2 А.

Список публикаций:

[1] Иванов А. С. Технология напыления тонких пленок. Журнал Современная светотехника №1 2010.

[2] Кузьмичев А. И. Магнетронные распылительные системы // Киев: Аверс. – 2008.

Генерирование мультигигаваттных субнаносекундных импульсов гиромагнитными линиями

Педос Максим Сергеевич

Гусев Антон Игоревич, Рукин Сергей Николаевич, Тимошенко Сергей Петрович

Институт электрофизики УрО РАН

Рукин Сергей Николаевич, д.т.н.

Pedos_ms@mail.ru

Гиромагнитные нелинейные передающие линии (NLTL) с насыщенным ферритом широко используются для преобразования входного видеоимпульса в выходной радиоимпульс. При этом длительность входного импульса существенно превышает период генерируемых в линии колебаний. В работе использован подход, при котором длительность входного импульса близка по величине к периоду генерируемых линией колебаний. В таком подходе NLTL выступает не как генератор радиочастотных колебаний, а как волновой магнитный компрессор с усилением мощности, поскольку основная часть энергии входного импульса передается только в первый пик колебаний.

Конструкция системы компрессии энергии представлена на рисунке 1. Для того, чтобы акцентировать функциональную особенность работы линий, они обозначаются как MCL1 и MCL2 (от английского Magnetic Compression Line). В экспериментах входной импульс напряжения формировался твердотельным генератором S-500 с полупроводниковым прерывателем тока.

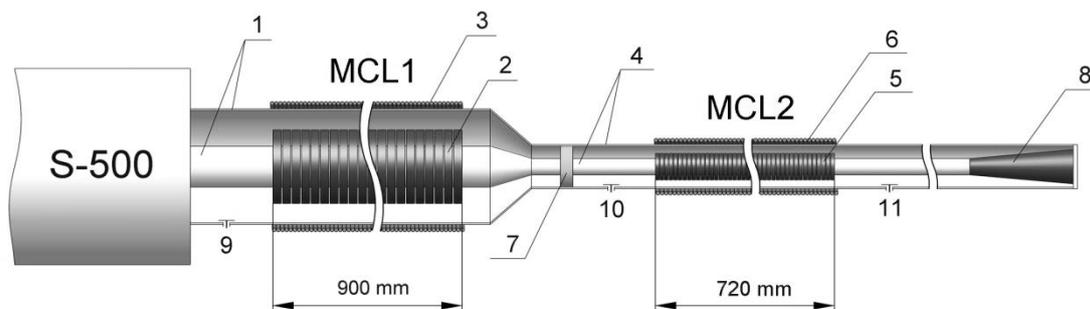


рис.1. Конструкция системы компрессии энергии импульса: первая линия, MCL1 (1 – электроды линии, 2 – ферритовые кольца, 3 – соленоид); вторая линия, MCL2 (4 – электроды линии, 5 – ферритовые кольца, 6 – соленоид); 7 – изолятор; 8 – резистивная нагрузка; 9–11 – емкостные делители для регистрации импульсов напряжения.

Первый каскад сжатия энергии представляет собой коаксиальную линию (MCL1 на рисунке 1) с диаметрами электродов 275 и 102 мм, на внутренний электрод которой надеты ферритовые кольца из материала NiZn с наружным диаметром 180 мм, внутренним диаметром 110 мм и высотой 20 мм (позиция 2 на рисунке 1). Линия MCL2 с диаметрами электродов 100 и 40 мм образована ферритовыми кольцами из того же материала (NiZn) с наружным диаметром 65 мм, внутренним диаметром 40 мм и высотой 9 мм (позиция 5 на рисунке 1).

На первом этапе были проведены эксперименты с использованием только первой ступени компрессии на линии MCL1. Количество ферритовых колец n изменялось от 35 до 50 штук с шагом $n = 5$. Для каждого набора колец n снимались зависимости амплитуды импульса напряжения на выходе от величины магнитного поля смещения в соленоиде. Было установлено, что максимальные значения напряжения и мощности выходного импульса достигаются при числе колец $n = 45$ и магнитном поле H в диапазоне 30–38 кА/м.

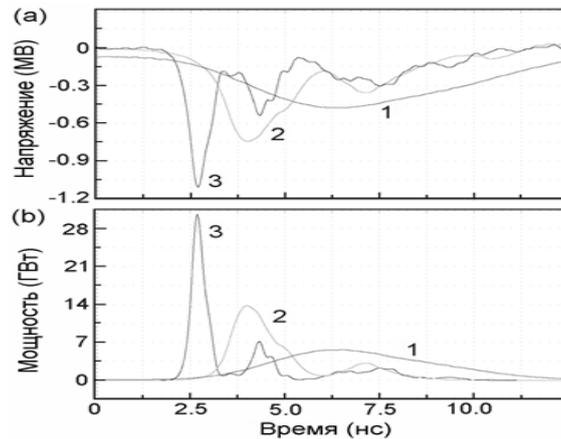


рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения (а) и мощности (б) входного импульса (1) и импульсов после первого (2) и второго (3) каскада сжатия импульса.

Далее исследовалась полностью собранная система компрессии, соответствующая рисунку 1. Параметры линии MCL1 соответствовали оптимальным значениям ($n = 45$, $H = 32$ кА/м) и далее не изменялись. Оптимизация числа ферритовых колец n и магнитного поля смещения H в линии MCL2 проводилась описанным выше способом. Количество колец n изменялось от 50 до 100 штук с шагом $n = 10$. Было установлено, что максимальные значения импульсов напряжения и мощности достигаются при числе колец $n = 80$ и магнитном поле H в диапазоне 55–70 кА/м.

Осциллограммы импульсов напряжения и мощности, иллюстрирующие процесс сжатия энергии в генераторе в целом при оптимальных значениях числа ферритовых колец и магнитного поля для обеих линий, представлены на рисунке 2. При пиковой мощности входного импульса 6 ГВт (490 кВ, 40 Ом) длительностью ~ 7 нс на выходе двухкаскадного компрессора получена пиковая мощность 30 ГВт (1.1 МВ, 40 Ом) в субнаносекундном диапазоне длительности импульса (0.65 нс) и частоте следования импульсов в режиме пачки до 1 кГц.

Электроразрядное разрушение железобетонной шпалы однополярным и двуполярным импульсами в системе наложенных электродов

Петренко Евгений Владимирович

Юдин Артем Сергеевич, Протопопов Игорь Алексеевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Юдин А. С. к.т.н.

evgenius293@mail.ru

Актуальностью исследования является возрастающая необходимость разрушения и утилизации прочных и сверхпрочных бетонных и железобетонных сооружений и конструкций при ремонте, демонтаже и последующей утилизации при выводе из эксплуатации зданий и сооружений.

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 [1-6]. Однако, публикаций связанных с разрушением железобетонных изделий и снятием с них поверхностного слоя крайне мало.

Несмотря на значительный прогресс в области техники и традиционной технологии разрушения железобетонных изделий, производительность разрушения остается в целом весьма низкой, а себестоимость высокой. Главными причинами этого являются быстрый износ разрушающего инструмента, трудности передачи на забой достаточного количества энергии и низкий КПД разрушения [7]. Учитывая это, наряду с совершенствованием техники и технологии, основанной на механических способах разрушения, ведется поиск и исследование новых способов разрушения. К одним из таких способов разрушения относятся электрогидравлический и электроразрядный способы, где инструментом разрушения является плазма. Технология переработки железобетонных плит, основанная на указанных способах может быть построена как безотходная, причем, как арматурный каркас, так и продукты разрушения бетона могут быть использованы повторно с минимальными затратами на переработку.

В ходе работы получены экспериментальные данные по разрушению железобетонной шпалы в системе наложенных на образец электродов. Испытания проводились при различных режимах: двуполярный импульс,

импульсы на положительной и отрицательной полярностях. Определено оптимальное зарядное напряжение, которое выбиралось согласно критериям возникновения пробоя на вершине или спаде сигнала импульса без перенапряжений в системе при данном межэлектродном расстоянии. Методика экспериментов следующая:

1. Подготовленный образец погружался в емкость (рис.1).
2. На поверхность образца устанавливалась электродная система.
3. Емкость заполнялась технической водой.
4. Подавалось заданное количество импульсов, попутно фиксировались осциллограммы и примечания.
5. Проводился визуальный осмотр образца, выборочно велась фотосъемка обрабатываемого образца.
6. Производилось смещение электродной системы на новую позицию.
7. Цикл повторяется с 4 пункта до конца эксперимента.



рис. 1. Вид образца с установленной накладной электродной системой

В ходе эксперимента образец был разрушен до первого слоя арматуры, и можно отметить, что разрушение вблизи арматуры показывает худший результат среди всех этапов разрушения, т.к. количество затраченной удельной энергии больше, чем во всех остальных этапах. Также наблюдается наименьший результат по объему отколотого материала. Происходит это ввиду того, что значительная часть импульсов приходится на арматуру, а не на разрушение бетона.

В результате разрушения, арматура может быть полностью удалена без каких-либо дополнительных усилий.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 16-48-700278

Список публикаций:

- [1] Ushakov V.Ya., Vazhov V.F., Zinoviev N.T. *Electro-Discharge Technology for Drilling Wells and Concrete Destruction*. Basel: Springer Nature Switzerland AG; 2019
- [2] 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/OMAE2017-6110
- [3] 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
- [4] Weiran Zuo *A study of the applications and modelling of high voltage pulse comminution for mineral ores* // thesis for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland, 2015.
- [5] Hans O. Schiegg, Arild Rødland, Guizhi Zhu, David A. Yuen *Electro-Pulse-Boring (EPB): Novel Super-Deep Drilling Technology for Low Cost Electricity* *Journal of Earth Science*, Vol. 26, No. 1, 037–046, 2015
- [6] Gilbrech Joshua *Pulse Transformer for Downhole Electrocrushing Drilling* // *Int. Patent WO2018/186828 A1 11.10.2018*
- [7] Яценко С. Н., Яценко М. А., Дорошев Ю. С. *Перспективные разработки новых методов разрушения горных пород* *European science* 6(16) (p.13-19), 2016

Численное моделирование плазмы гелия атмосферного давления, формируемой при переходе от искрового к тлеющему разряду

Постников Артем Владимирович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин В.П, Мельничук С.В.

Postnikov_a_v@list.ru

Эффективность методов применения низкотемпературной плазмы в биологии и медицине во многом определяется свойствами источников плазмы, их способностью генерировать активные частицы с заданными параметрами и дозами. Одной из важных особенностей режима разряда в слаботочном нестационарном плазмотроне является образование отрицательного объемного заряда в факеле плазмы [1], благодаря образованию отрицательных ионов кислорода. Добавление инертных газов значительно изменяет режим

горения тлеющего разряда. Изменение химического состава плазмы приводит к уменьшению интенсивности неупругих ударов электронов с молекулярными газами и процессов образования электроотрицательных ионов. [2, 3].

Детальное представление и понимание физических процессов, протекающих в разряде в атмосфере в присутствии инертного газа, дают теоретические исследования с применением методов математического моделирования. В настоящей работе целью наших исследований является построение физико-математической модели данного плазмотрона и проведение численных экспериментов по моделированию плазмы с заданными параметрами, необходимыми для биомедицинских приложений.

Расчет параметров электронной компоненты плазмы μ_e , D_e , R_e и μ_e , D_e , R_e проводился на основании экспериментальных данных о подвижности μ_e электронов и сечений газокинетических процессов с их участием, используя двухчленное приближение для уравнения Больцмана. Столкновительная модель электронов в гелии включает в себя упругий удар, возбуждение и ионизацию гелия, рекомбинацию с ионами гелия. Начальные условия вычислительного эксперимента выбраны, исходя из соображений, что на момент искрового пробоя, сформирован проводящий столб однородной электрически нейтральной плазмы. В начальный момент времени объемный заряд скомпенсирован и, соответственно, не искажает внешнего поля. Начальная энергия первичных и вторичных электронов полагалась равной 4 eV и 1 eV, соответственно.

При проведении численных расчетов методом конечно-разностных элементов использовалась 2D-аксиально симметричная модель с однородной сеткой вдоль оси r . Линейный размер элементов изменялся вдоль оси z от 10^{-3} mm до 10^{-2} mm в зависимости от условий протекания разряда.

Из результатов численного моделирования можно было наблюдать, что до момента времени $t \approx 10$ ns происходит резкий спад напряжения до величины $U \approx 600$ V, а ток имеет импульсный характер. На дальнейшем интервале времени их поведение менее динамично, сопровождающееся ростом тока и убылью напряжения. Анализируя полученные результаты, приходим к выводу, что импульсное поведение тока до момента времени $t \approx 10$ ns отражает динамику формирования объемного заряда в прикатодной области. В начальный момент времени из-за дрейфа электронов в сторону анода в прикатодной области появляется нескомпенсированный объемный положительный заряд.

В результате проведенного численного эксперимента по развитию разряда в гелии при атмосферном давлении в слаботочном нестационарном плазмотроне видно, что при заданных начальных условиях, свойственных для искрового пробоя, дальнейшее развитие разряда служит причиной для формирования прикатодной области падения потенциала и к импульсному поведению электрического тока разряда. Похожее поведение импульса тока наблюдается в эксперименте. После импульса тока разряд переходит в квазистационарный режим с параметрами характерными для тлеющего разряда. На всех интервалах времени проведенных расчетов для инертного газа наблюдается увеличение поперечных размеров разряда.

Список публикаций:

- [1] Demkin V.P., Melnichuk S.V., Demkin O.V. et al. //Phys. Plasmas. – 2016. – Vol. 23. – P. 043509 (5).
- [2] Breden D., Miki K., and Raja L.L. //Plasma Sources Sci. Technol. –2012. –Vol. 21. – P. 034011 (13).
- [3] Farouk T., Farouk B., Staack D. et al. //Plasma Sources Sci. Technol. –2006. –Vol. 15. – P. 676–688.

Генерация пучков многозарядных ионов тяжелых металлов в импульсном сильноточном вакуумном дуговом ионном источнике

Фролова Валерия Петровна^{1,2}

Юшков Георгий Юрьевич¹, Николаев Алексей Геннадьевич¹

¹**Институт сильноточной электроники СО РАН**

²**Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники**

Frolova_Valeria_90@mail.ru

Вакуумно-дуговой ионный источник может генерировать ионные пучки любого твердотельного проводящего материала, которые находят применение как для модификации поверхности, так и для инъекции ионов в ускорителях. Обычно, такой источник генерирует пучки ионов металлов с зарядностью от 1+ для углерода или лития до 5+ для тугоплавких металлов, а средняя зарядность ионного пучка, как правило, находится в пределах от 1+ до 3+ [1]. Повышение зарядности ионов металлов в пучке вакуумного дугового ионного источника дает возможность увеличивать энергию извлекаемых ионов без увеличения ускоряющего напряжения. Ранее зарядности ионов в вакуумно-дуговых ионных источниках увеличивали различными методами, в том числе с использованием сильного магнитного поля в катодной области [1], дополнительного нагрева плазмы мощным потоком микроволнового излучения [2] или электронным пучком [3]. В настоящих исследованиях, зарядность пучка ионов висмута была повышена за счет использования в разрядной системе

ионного источника сильноточного импульса тока вакуумного дугового разряда длительностью в единицы микросекунд и амплитудой в единицы килоампер.

Схематическая конструкция ионного источника представлена на рис. 1. Вакуумный дуговой разряд инициировался пробоем по поверхности керамики, при подаче импульса высокого напряжения между катодом из висмута и иницирующим электродом. Разряд между торцом катода с диаметром 6,25 мм и анодом создавался при разряде низкоиндуктивного конденсатора. В экспериментах использовались конденсаторы емкостью 0,22, 1 и 10 мкФ, обеспечивающие импульсы тока дуги амплитудой до 10 кА при длительностях импульсов 1, 1,7 и 6 мкс, соответственно. Ток разряда регулировался напряжением зарядки конденсатора, а частота следования импульсов в экспериментах составляла до 5 импульсов в секунду и была ограничена используемым источником питания.

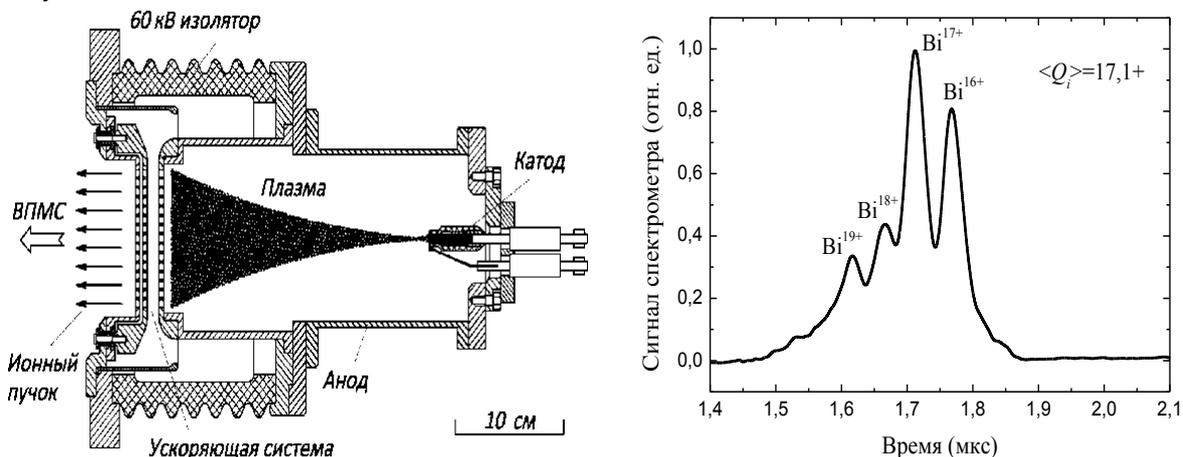


рис. 1. Схематическая конструкция ионного источника и масс-зарядовый спектр ионного пучка в случае катода из висмута (амплитуда тока дуги – 3,5 кА, ускоряющее напряжение – 30 кВ, давление – $3 \cdot 10^{-7}$ Торр).

При оптимальных значениях тока разряда уровня 3,5 кА и длительности импульса уровня 1 мкс, были получены пучки ионов висмута с зарядовыми состояниями вплоть до 19+, при средней зарядности ионов 17,1+ (рис. 2). Полученные результаты является рекордными для вакуумных дуговых ионных источников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-00133.

Список публикаций:

- [1] Николаев А.Г., Е.М. Окс, Г.Ю. Юшков // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 5. С. 39-43.
 [2] Vodopyanov A.V., Golubev S.V., Khizhnyak V.I., Mansfeld D.A., Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Vizir A.V., Yushkov G.Yu. // RSI. 2008. V. 79. No. 2. P. 02B304.
 [3] Бугаев А.С., Гушенец В.И., Окс Е.М., Юшков Г.Ю., Андерс А., Браун Я., Гершкович А., Шпедтке П. // Известия ВУЗов. Физика. 2001. Т. 44. № 9. С. 15-22.

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

Фролова Валерия Петровна^{1,2}

Прокопенко Никита Андреевич¹, Кизириди Павел Петрович¹

¹Институт сильноточной электроники СО РАН

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Frolova Valeria 90@mail.ru

Вакуумные дуговые источники ионов металла широко используются для улучшения свойств поверхности методом ионной имплантации [1,2]. Применение многокомпонентных катодов позволяет получать в таких источниках пучки ионов сложного состава [3,4], что расширяет их технологические возможности. Целью настоящей работы является изучение физических особенностей функционирования вакуумной дуги с многокомпонентным катодом на основе меди и хрома, исследование параметров и состава плазмы вакуумного дугового разряда с таким катодом. Электроды из композита на основе меди и хрома широко используются на практике в качестве электродов для вакуумных выключателей.

Принципиальная схема экспериментальной установки на базе вакуумного дугового ионного источника Mevva-V.Ru представлена на рис. 1 (слева). Разряд зажигался между торцом цилиндрического катода диаметром 6,3 мм, выполненным из композита на основе CuCr, и полым анодом с внутренним диаметром 14 см. В качестве материалов катода использовались два композита с различным соотношением доли атомов меди и

хрома - CuCr-50/50 и CuCr-70/30. Иницирование импульса тока дуги с амплитудой в сотни ампер и длительностью 250 мкс осуществлялось вспомогательным разрядом по поверхности керамики, разделяющей "поджигающий" электрод и катод, при приложении между этими электродами импульса напряжения амплитудой 14 кВ и длительностью около 10 мкс. При горении разряда плазма материала катода заполняла анодную полость и с её поверхности, ограниченной эмиссионным электродом, велся отбор ионов и формировался ускоренный ионный пучок диаметром 10 см. Максимальное ускоряющее напряжение ионного источника составляло 60 кВ. Масс-зарядовый состав этого пучка анализировался при помощи времяпролетного масс-спектрометра.

Осциллограммы импульса ионного тока на подвижный магнитоизолированный цилиндр Фарадея, который в своем центральном положении регистрировал около 1/7 от полного тока пучка, и соответствующего этому импульсу импульса тока дуги представлены в случае катода CuCr-50/50 на рис. 1 (справа). При токе дуги амплитудой около 800 А, амплитуда полного тока ионного пучка составляла около 1 А.

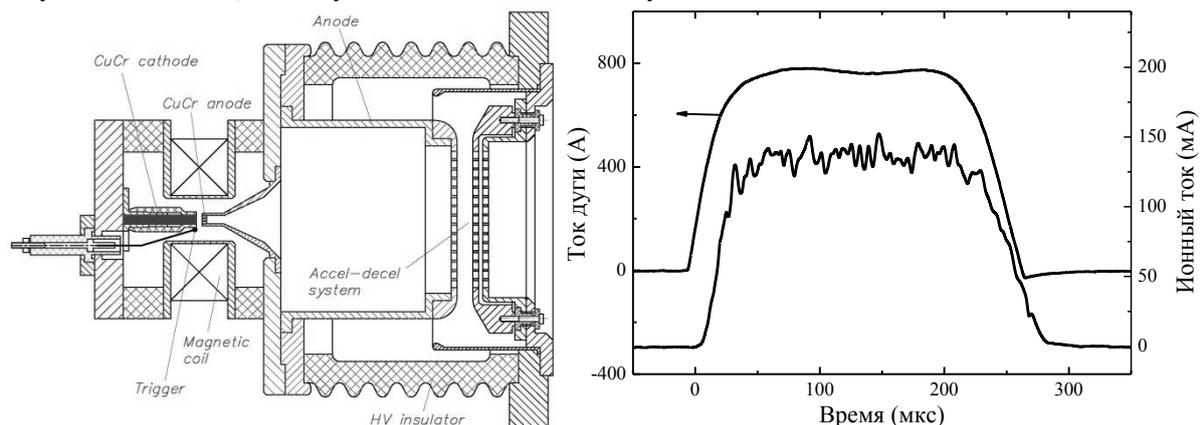


рис. 1. Вакуумная дуговая разрядная система с системой формирования ионного пучка (слева). Ток разряда и соответствующий ему ионный ток пучка на цилиндр Фарадея для сплава меди и хрома CuCr-50/50 (справа).

В результате работы показано, что в плазме вакуумной дуги с катодами, выполненными из нескольких элементов, соотношение ионов этих элементов точно соответствует атомарному составу катода. Средняя зарядность ионов определяется потенциалами ионизации каждого материала, входящего в состав катода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00350 мол_а.

Список публикаций:

- [1] A. Nikolaev, E.M. Oks, K. Savkin, G.Yu. Yushkov, D.J. Brenner, G. Johnson, G. Randers-Pehrson, I.G. Brown, R.A. MacGill // *Surface and Coatings Technology*. 2007. Vol. 201. No. 19-20. P. 8120–8122.
- [2] V.I. Gushenets, E.M. Oks, G.Yu. Yushkov, N.G. Rempe // *Laser and Particle Beams*. 2003. Vol. 21. No. 2. P. 123–138.
- [3] K.P. Savkin, Yu.G. Yushkov, A.G. Nikolaev, E.M. Oks, G.Yu. Yushkov // *RSI*. 2010. Vol. 81. No. 2. P. 02A501.
- [4] A.G. Nikolaev, G.Y. Yushkov, K.P. Savkin, E.M. Oks // *IEEE TPS*. 2013. Vol. 41. No. 8. P. 1923–1928.

Исследование тока сетчатого анода магнетронно-распылительной системы

Ярыгова Влада БЕЗ ОТЧЕСТВА

Генн Мария БЕЗ ОТЧЕСТВА

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

m.genn@g.nsu.ru, v.yarygova@g.nsu.ruz, zolkinas@gmail.com

Введение. Для того чтобы получить пленки с заданными свойствами, необходимо уделить внимание вольт-амперным характеристикам прибора, используемого для этого, а именно магнетронно-распылительной системы (МРС) [1,2]. Присутствие сетчатого анода в конструкции данной системы позволяет получить устойчивый режим напыления, а, следовательно, и более качественное пленочное покрытие [3,4]. При этом параметры анода, такие как его прозрачность, материал, температура и ток через него, напрямую влияют на эти свойства.

Цель данной работы - исследование тока, проходящего через сетчатый анод при различных напряжениях и расходах рабочего газа.

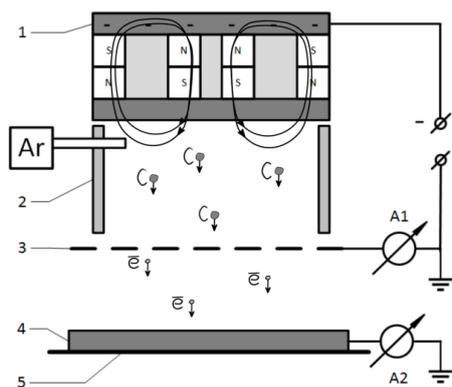


рис.1. Схема: 1 – магнетрон, 2 – керамический цилиндр, 3 – сетчатый анод, 4 – подложка, 5 – подложкодержатель

токов фиксировалась нестабильность газового разряда, которая проявлялась в пульсации свечения. На втором участке – наблюдается переходный режим: от малых величин токов к росту тока. На третьем участке – отмечаем существенное возрастание тока. Однако, в этом диапазоне наблюдали возникновение дуговых процессов на распыляемой мишени. При уменьшении напряжения наблюдалось резкое уменьшение тока (гистерезис). Считаем, что объяснение данного факта требует дальнейшего исследования. В результате проведённых опытов определён режим для оптимального напыления углеродного покрытия на материалы: ток = 1 – 1,5 А, напряжение = 550 – 600 В. На рисунке 26 изображена зависимость электронного тока на сетку-анод при повышении и понижении напряжения на мишени МРС. Зависимость 1 (стрелка вниз) соответствует току электронов при повышении напряжения, 2 – при понижении. Обращает внимание резкое увеличение тока электронов до -1 А при повышении напряжения от 500 до 600 В.

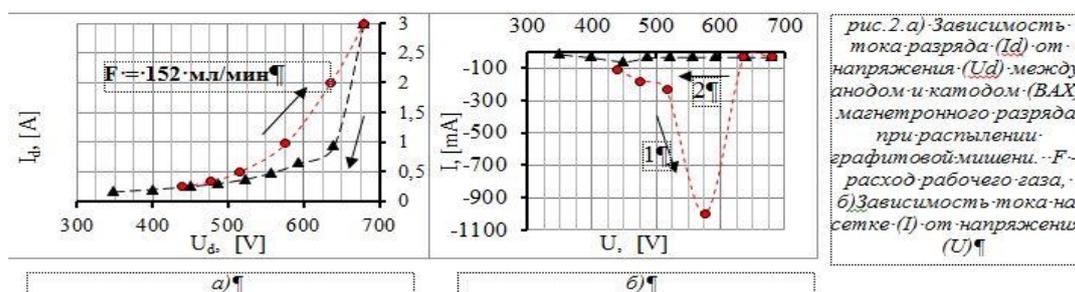


рис. 2. а) Зависимость тока разряда (I_d) от напряжения (U_d) между анодом и катодом (ВАХ) магнетронного разряда при распылении графитовой мишени. F – расход рабочего газа, б) Зависимость тока на сетке (I) от напряжения (U)

На остальных участках ток принимает значения порядка 20 – 50 мА. При дальнейшем понижении напряжения ток сохраняет свою незначительную величину, и подобный эффект резкого увеличения электронного тока не наблюдается. Создаётся впечатление, что система мишень – сетка при керамическом цилиндре является мощным генератором электронного тока в указанном диапазоне напряжений. Замечено, что подобная зависимость наблюдается при измерении тока электронов и на подложку. На основании полученных результатов для осаждения покрытий выбран режим ($I = 1,5$ А; $U = 600$ В; $F = 200$ мл/мин), и проведены эксперименты по напылению углерода на стеклянные подложки. Первые опыты в рамках предложенной схемы МРС, показали хорошие результаты покрытий. В настоящее время свойства покрытий исследуются.

Выводы. Твердо установлено, что: 1 - вольт-амперные характеристики имеют гистерезис; 2 - наблюдается повышенная эмиссия электронного тока на сетчатый анод в диапазоне напряжений от 500 до 600 В.; 3 - на основании исследованных вольт-амперных характеристик получены покрытия углерода на стекле ($I = 1,5$ А $U = 600$ В $F = 200$ мл/мин).

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников лаборатории Александра А. Борисова и Сергея Ю. Чепкасова за помощь при проведении экспериментов. Работа проведена в рамках проекта НГУ топ-100 «Новая физика».

(РЕД: ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА И РИСУНКА НАРУШЕНЫ И ПРИВОДЯТСЯ В СОКРАЩЕННОМ ВИДЕ)

Список публикаций:

- [1] Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. – Киев: Аверс. – 2008. – 244 с.
- [2] Рогов А. В., Капустин Ю. В., Мартыненко Ю. В. Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 2

6 - Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц

Бажажин Алексей Геннадьевич, н.с.

Дубна, Объединенный институт ядерных исследований, лаб. физики высоких энергий

Статус некоторых узлов и вспомогательных установок для время-проекционной камеры (TRC) многоцелевого детектора (MPD) проекта NICA

Мовчан Сергей Александрович, к.ф.-м.н.

e-mail: bajajin@jinr.ru стр. 180

Белявский Сергей Владимирович, магистрант 2 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий

Моделирование динамики ядерного реактора

Зеленецкая Екатерина Петровна,

e-mail: shetlandalexander@gmail.com стр. 181

Гришина Кристина Александровна, 4 курс

Бердск, Новосибирский государственный технический университет, Институт ядерной физики имени Г.И.Будкера, физико-технический

Исследование ускоряющей структуры инжектора сибирского кольцевого источника фотонов

Левичев Евгений Борисович, д.ф.-м.н.

e-mail: grishinakristina21@gmail.com стр. 182

Иванов Никита Максимович, 3 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Применение теоремы о суммах сил осцилляторов к оценке абсолютных величин сечений ионизации электронных оболочек атомов и ионов

Сухоруков Виктор Львович, д.ф.-м.н.

e-mail: ivanov.n.2019@gmail.com стр. 184

Мохначевская Валентина Петровна, м.н.с.

Якутск, Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, отдел частиц сверхвысоких энергий

Черенковский дифференциальный детектор

Слепцов Иван Ефимович, д.ф.-м.н.

e-mail: valyamokh@yandex.ru стр. 185

Овсенёв Александр Евгеньевич, магистрант 2 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий

Расчет на статическую прочность врезки патрубка Ду 200 трубопровода впрыска в главный циркуляционный трубопровод реакторной установки ВВЭР-1000

Семенов Андрей Олегович,

e-mail: ovsenev1993@mail.ru стр. 186

Резван Дмитрий Вадимович, магистрант 1 года обучения

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Влияние многоэлектронных эффектов на сечение фотоионизации К-оболочки неона

Сухоруков Виктор Львович, д.ф.-м.н.

e-mail: dmrezvan@yandex.ru стр. 187

Юрченко Максим Дмитриевич, 3 курс

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий

Исследование технологии СВ-синтеза в качестве метода производства дисперсионного ядерного топлива с интерметаллидной матрицей на основе системы Ni-Al

Кузнецов Михаил Сергеевич, к.т.н.

e-mail: mdy2@tpu.ru стр. 188

Статус некоторых узлов и вспомогательных установок для время-проекционной камеры (TPC) многоцелевого детектора (MPD) проекта NICA

Бажажин Алексей Геннадьевич

А.В. Аверьянов, С.В. Верещагин, С.А. Запорожец, В.Н. Зрюев, Ю.Т. Киришин, А.О. Колесников, Ю. Лукстиньш, С.А. Мовчан, А.В. Пиляр, С.В. Разин, А.А. Рыбаков, В.А. Самсонов, О.В. Фатеев, В.Ф. Чепурнов, В.В. Чепурнов, Г.А. Черемухина

Объединенный Институт Ядерных Исследований

Мовчан Сергей Александрович, к.ф.-м.н.

bajajin@jinr.ru

Время-проекционная камера (Time-Projection Chamber – TPC) [1-9] создающаяся в ОИЯИ, является основным трековым детектором для MPD установки (Multi Purpose Detector) [10, 11] на коллайдере NICA [12], регистрирующим заряженные частицы в центральной области быстрот. Коллайдер NICA будет оптимизирован для исследований столкновений тяжелых ионов в диапазоне энергий $\sqrt{s_{NN}} = 4-11$ ГэВ/н. При средней светимости $10^{27} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ для столкновений частиц золота при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 9$ ГэВ/н частота событий будет до 7 кГц. Также на данном коллайдере можно будет сталкивать протонные пучки с энергией до 26 ГэВ. Наряду с другими детекторами, из которых состоит установка MPD, TPC будет помещен в сверхпроводящий соленоид, генерирующий магнитное поле до 0.5 Тл.

На рис. 1 представлено схематическое изображение TPC с её торцевыми внешними сервисными колесами техподдержки (SSW - Service support wheel) и фотография детализированного макета TPC в масштабе примерно 1:10. Более подробное описание детектора TPC будет представлено в докладе.

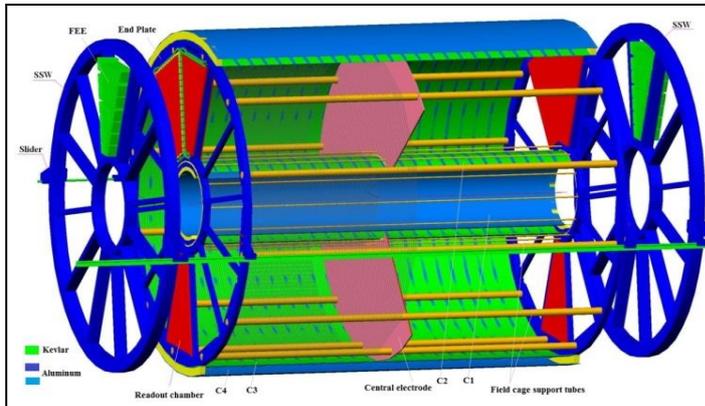


рис.1. Общий вид TPC и детализированный макет TPC

В докладе также будут приведены общая схема установки MPD и детектора TPC. Показаны геометрические размеры и основные параметры TPC. Будет описан статус некоторых важных деталей и узлов TPC, которые были доработаны и протестированы за последний период в течении года, таких как: фланцы TPC с охлаждающими трубками на них, высоковольтный электрод, различные интеграционные системы в TPC и др. Показана собранная газовая система TPC, уже питающаяся от танкеров с жидким аргоном и азотом, которая протестирована с использованием объема, примерно равному будущему рабочему объему TPC. Также будет представлен статус вспомогательных установок для сборки TPC. И будет рассказано о ближайших дальнейших планах работ по детектору TPC.

Список публикаций:

- [1] A. Averyanov, A. Bajajin, et al. // *Journ. of Instrum.* 9, C09-036 (2014).
- [2] Ю.В. Заневский, С.В. Разин, А.Г. Бажажин, и др. // *Труды XVIII Межд. научн. конф. мол. учен. и спец. (ОМУС-2014)*. Дубна: Изд-во ОИЯИ, 2014, сс. 117-120.
- [3] A. Averyanov, A. Bajajin, et al. // *Acta Phys. Pol. B* 9, 2 (2016).
- [4] A. Averyanov, A. Bazhazhin, et al. // *Intern. Journ. of Human. and Natur. Sciences.* 2, 1 (2016).
- [5] S. Movchan, TPC status for MPD experiment at NICA project. // *Preprint: JINST_001P_0617 [INSTR-2017]*.
- [6] A. Averyanov, A. Bazhazhin, et al. // *Journ. of Instrum.* 12, C06-047 (2017).
- [7] А.В. Аверьянов, А.Г. Бажажин и др. // *Создание времяпроекционной камеры для многоцелевого детектора проекта NICA, Физ. элем. частиц и атомн. ядра, Т.49, №4, сс.1313-1325, 2018.*
- [8] A.V. Averyanov, A.G. Bazhazhin et al. // *Phys. of Part. and Nucl. Vol.49, No.4, pp.746-752, July 2018.*
- [9] TPC TDR, <<http://mpd.jinr.ru/wp-content/uploads/2019/01/TpcTdr-v07.pdf>> (2019).
- [10] S. Razin on behalf of the MPD group // *Journ. of Instrum.* 9, C07-016 (2014).
- [11] <<http://mpd.jinr.ru>> (2019).
- [12] <<http://nica.jinr.ru>> (2019).

Моделирование динамики ядерного реактора

Белявский Сергей Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Зеленецкая Екатерина Петровна, ассистент

shetlandalexander@gmail.com

Процессы, протекающие в ядерном реакторе характеризуются малым временем протекания (среднее время жизни поколения нейтронов). Данные процессы делятся на установившиеся, характеризующиеся большими временами (порядка 100 секунд) и на переходные, происходящие почти мгновенно (10^{-3} с). Обе группы процессов влияют на мощность ядерного реактора, поэтому для безопасной эксплуатации ядерного реактора необходимо сначала построить модель данных процессов, чтобы проанализировать поведение системы на различные входные воздействия [1].

Нейтроны в ядерном реакторе являются основой протекания ядерных реакций деления. Они подразделяются на две группы: мгновенные и запаздывающие. Их соотношение в ядерном реакторе непосредственно влияет на динамику реактора. Например, при малой доле запаздывающих нейтронов, уменьшается характерное время возрастания мощности. Относительная доля запаздывающих нейтронов зависит от концентрации ядер-предшественников. Также на это влияет параметр реактивности, характеризующий отклонение от критического состояния ядерного реактора. Если данный параметр больше нуля, то мощность будет экспоненциально возрастать. При равенстве параметра нулю, мощность реактора не изменяется. При отрицательном значении параметра мощность ядерного реактора убывает.

Для связи влияния реактивности, долей мгновенных и запаздывающих нейтронов с изменением мощности (динамики ядерного реактора), была построена математическая модель, основанная на следующей системе (формула 1) дифференциальных уравнений, описывающих баланс нейтронов [2]:

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} \cdot n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot C_i + q; \\ \frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} \cdot n(t) - \lambda_i \cdot C_i; \end{cases} \quad (1)$$

где n – количество нейтронов, нейтр.;
 C_i – концентрация i -ой группы ядер-предшественников, нейтр·с⁻¹;
 ρ – реактивность ядерного реактора;
 β – эффективная доля запаздывающих нейтронов для изотопа U²³⁵;
 β_i – эффективная доля запаздывающих нейтронов i -ой группы ядер-предшественников для изотопа U²³⁵;
 Λ – среднее время жизни поколения нейтронов, с;
 λ_i – постоянная распада для i -ой группы ядер-предшественников, с⁻¹.

Моделирование проведено при помощи пакета MATLAB/Simulink, позволяющего получать численные решения дифференциальных уравнений при помощи специальных блоков. Ввиду того, что данная система является жесткой (решение такой системы явными методами, например метод Рунге-Кутты, является неудовлетворительным из-за резкого возрастания погрешности при недостаточно малом шаге), необходимо использовать специальный алгоритм. Для решения такого рода задач пакет MATLAB/Simulink содержит специальный алгоритм численного решения дифференциальных уравнений ode15s с переменным шагом интегрирования [2 Mathworks].

В данной моделировалось два приближения динамики реактора: одnogрупповое, в котором шесть групп ядер-предшественников свернуты в одну при помощи средневзвешенного значения (формула 2) и шестигрупповое приближение.

$$\begin{cases} \beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i; \\ \lambda = \left(\sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\lambda_i} \right)^{-1} \cdot \beta; \end{cases} \quad (2)$$

В результате были получены зависимости мощности (нормированной на единицу) ядерного реактора во времени при ступенчатом изменении реактивности. После ступенчатого введения реактивности 0,2 β (время 10 секунд) наблюдается ступенчатое возрастание мощности, называемое «скачок на быстрых нейтронах» [4]. Затем наблюдается экспоненциальное возрастание мощности до момента 30 секунд. В момент 30 секунд происходит ступенчатое введение отрицательной реактивности -0,4 β (суммарная реактивность в системе -0,2 β).

Сначала происходит спад на мгновенных нейтронах, затем экспоненциальное убывание мощности до момента времени 50 секунд. В этот момент происходит ступенчатое введение положительной реактивности величиной $0,2\beta$ (суммарная реактивность системы – 0). Происходит ещё один скачок на быстрых нейтронах и выход мощности на стационарное значение. Полученные зависимости представлены на рисунке 1.

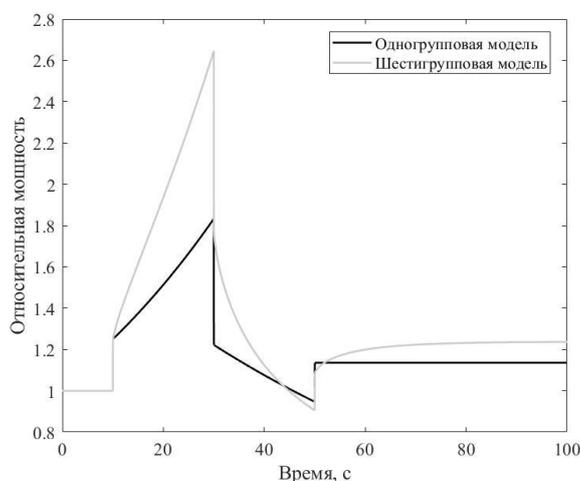


рис. 1. Зависимость относительной мощности от времени

Список публикаций:

- [1] Cammi A. et al. A zero dimensional model for simulation of TRIGA Mark II dynamic response //Progress in Nuclear Energy. – 2013. – Vol. 68. – P. 43 – 54.
- [2] Hetrick, D.L., 1971. Dynamics of Nuclear Reactors. University of Chicago Press., P.34.
- [3] MATHWORKS Inc. SIMULINK Dynamic System Simulation Language User Guide, 2008.
- [4] Deuderstadt, J.J., Hamilton, L.J., 1976. Nuclear Reactor Analysis, first ed. Wiley., P.124-130.

Исследование ускоряющей структуры инжектора сибирского кольцевого источника фотонов

Гришина Кристина Александровна

Новосибирский государственный технический университет

Левичев Евгений Борисович., д.ф.-м.н.

grishinakristina21@gmail.com

В Новосибирском Институте ядерной физики им. Будкера более тридцати лет назад был организован Сибирский центр синхротронного излучения (СЦСИ) и в настоящее время одной из главных проблем центра является отсутствие современного источника синхротронного излучения. Используемые накопители ВЭПП-3 и ВЭПП-4 не являются специализированными источниками СИ, и параметры их излучения не соответствуют современным требованиям. Поэтому в Новосибирске планируется строительство нового источника синхротронного излучения - Сибирский Кольцевой Источник Фотонов (СКИФ), разработчиком которого является ИЯФ.

Комплекс включает в себя синхротрон, кольцо накопителя-охлаждителя и инжектор. Инжектор представляет собой линейный ускоритель, который состоит из источника электронов, адиабатического группирователя и пяти ускоряющих структур на основе диафрагмированного волновода и источников СВЧ мощности.

Целью моей работы является определение критериев точностей параметров ускоряющих структур и создание стенда для измерения электродинамических характеристик ускоряющих структур линейного ускорителя инжектора новосибирского источника СИ, получение основных параметров макета тестовой ускоряющей структуры.

Данная работа посвящена созданию стенда для измерения электродинамических характеристик ускоряющих структур типа диафрагмированный волновод для нового источника СИ в Новосибирске и определению критериев точности этих параметров. Исследования ускоряющей структуры основаны на методе малых возмущений резонансного и нерезонансного макета.

Исследования ускоряющей структуры основаны на методе малых возмущений: возмущающее тело, перемещаясь вдоль продольной оси структуры, приводит к изменению запасенной энергии электромагнитного

поля, что сказывается на рабочей частоте резонансных ячеек структуры. Данную зависимость можно представить выражением (1)

$$\frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\Delta W_m - \Delta W_e}{W}, \quad (1)$$

Или выражением (1) для случая, когда на оси структуры присутствует только электрическая компонента электромагнитного поля

$$\frac{\delta f(z)}{f_0} = \alpha \frac{E^2(z)}{W_c}. \quad (2)$$

В выражениях (1) - (2) используются обозначения: f_0 – резонансная частота невозмущенного резонатора, f – резонансная частота возмущенного резонатора, W – полная запасенная энергия в невозмущенном резонаторе, ΔW_e – изменение за счет возмущающего тела запасенной электрической энергии, ΔW_m – изменение за счет возмущающего тела запасенной магнитной энергии, α – коэффициент, зависящий от формы и материала возмущающего тела, W_c – полная запасенная энергия в резонансном макете.

Измерительный стенд включает в себя: шаговый двигатель для протягивания возмущающего тела, контроллер для управления шаговым двигателем, анализатор S-параметров, кабельная трасса. Управление процессом и получение данных с анализатора S-параметра происходит с помощью системы автоматизации на основе кода, написанного на языке программирования Python.

В результате проведенных измерений определен вид колебания $\theta = 120^\circ \pm 15^\circ$, то есть ошибки изготовления ускоряющей структуры приводят к ошибкам набега фаз $\pm 15^\circ$. Определена фактическая рабочая частота $f = 2856.38$ МГц, которая близка к заявленной при изготовлении. На основе измеренных данных рассчитаны групповая скорость $v_{гр} = 0.018$ с м/с и фазовая скорость $v_{ф} = 2.994 \cdot 10^8$ м/с. Кроме этого, получен коэффициент связи $|k_c| = 0.023$, постоянная времени $\tau_0 = 1.46$ мкс, коэффициент затухания по полю $\alpha = 0.126$ 1/м и время заполнения ускоряющей структуры $\tau = 0.276$ мкс.

В работе сделана оценка допусков параметров ускоряющей структуры. Отклонение радиуса ячейки от заданного на 10 мкм ведет к изменению набега фазы на ячейку в $1,36^\circ$. Отсюда следует, что фаза влета пучка φ_0 для каждой ячейки будет разная. Отклонение периода ячейки от заданного на 10 мкм ведет к изменению набега фазы на ячейку в $0,021^\circ$. Такое отклонения набега фазы не значительно влияет на фазу влета пучка φ_0 . Отклонение в 1°C от рабочей температуры даст ошибку в фазе $0,1^\circ$.

На рисунке 1 показано измеренное распределение электрического поля для трех ячеек ускоряющей структуры. Видно, что оно отличается от теоретического распределения, изображенного на рисунке 2. Это связано с имеющимися ошибками фазового сдвига, которые приводят к изменению амплитуды в некоторых ячейках.

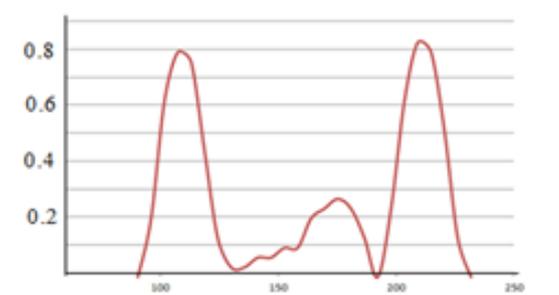


рис. 1. Экспериментальное распределение продольной компоненты электрического поля для трех ячеек

Список публикаций:

- [1] Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Т.1// М.: Высшая школа, 1970.-440 с.
- [2] Левичев А.Е., Павлов В.М. Линейные СВЧ ускорители: электродинамика ускоряющих структур. Учебное пособие//Н.: ИЯФ_НГТУ, 2014. – 158 с.
- [3] Степанов Ю.М. Ускорители электронов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электрофизические установки и ускорители»//Т.:ТПУ, 2008.-116 с.
- [4] Шехтман И.А. Теория электромагнитного поля. Учебное пособие// Н.: ИЯФ_НГТУ, 1998. – 151 с.

Применение теоремы о суммах сил осцилляторов к оценке абсолютных величин сечений ионизации электронных оболочек атомов и ионов

Иванов Никита Максимович

Южный федеральный университет

Сухоруков В.Л., Новиковский Н.М

ivanov.n.2019@gmail.com

Измерение и расчет сил осцилляторов и их сопоставление позволяют судить об адекватности как экспериментальной техники, так и теоретических моделей и методов [3]. Теорема о сумме сил осцилляторов имеет наглядный физический смысл:

$$\sum_{ij} \left[f(i, j) + \int_0^\infty \frac{df(i, j)}{d\omega} d\varepsilon \right] = N \quad (1)$$

где i, n, j нумеруют начальные и конечные состояния; N - число электронов в атоме, а сила осциллятора $f(i, j)$ связана с сечением фотоионизации $\sigma(i, j)$ следующим соотношением:

$$\sigma(i, j) = 2\pi^2 \alpha \alpha_0^2 \frac{df(i, j)}{d\omega} \quad (2)$$

(α и α_0 есть постоянная тонкой структуры и Боровский радиус; $2\pi^2 \alpha \alpha_0^2 = 4.032 \text{ Mb} \cdot \text{a.u.}$).

Прямое применение формулы (1) крайне затруднительно. Это связано с тем, что измерение парциальных сечений фотоионизации требует применения большой совокупности экспериментальных методов и аппаратуры. В связи с этим при измерении сечений фотоионизации используются “парциальные” силы осцилляторов:

$$\bar{f}_i = \sum_j f(i, j) + \int_0^\infty \frac{df(i, j)}{d\omega} d\varepsilon = n_i \quad (3)$$

где n_i - число электронов в i -оболочке. Для измерения относительных величин сечений фотоионизации, входящих в формулы (1-3) может быть использован не (γ, e) , а более простой $(e, 2e)$ эксперимент [1, 6, 5, 4, 2].

Применение формулы (3) для анализа результатов измерений затруднено тем, что она содержит суммирование по “нефизическим” переходам, величину которых можно определить только теоретически. Решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

При расчете сечений фотоионизации атомных оболочек Ar использованы методы (i) приближение локальной плотности (LDA) Хартри-Слейтера, как один из наиболее часто применяющихся методов при расчете молекул и кластеров и (ii) приближение Хартри-Фока как наиболее точный одноэлектронный метод.

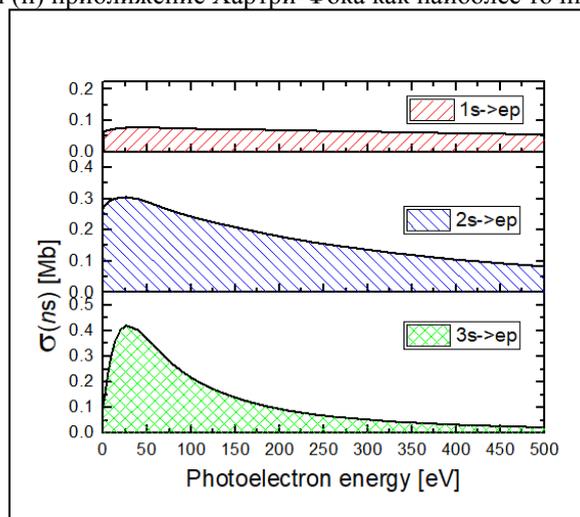


рис.1. Сечение фотоионизации ns- оболочек Ar.

Получено что “нефизические” переходы дают довольно большой вклад в парциальные силы осцилляторов \bar{f}_i . Точность расчета проконтролирована выполнением теорем (1) и (3). Конкретные значения для сил осцилляторов “физических” переходов позволят калибровать результаты эксперимента, полученного в относительных единицах.

Список публикаций:

- [1] Brion, C. Branching ratios and partial oscillator strengths for the photoionization of NH₃ in the 15-50 eV region / C. Brion, A. Hamnett, G. Wight, M. V. der Wiel // *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* 1977. - Vol. 12, no. 3. - Pp. 323 - 334.
- [2] Hitchcock, A. Inner shell excitation of CH₃F, CH₃Cl, CH₃Br and CH₃I by 2.5 keV electron impact / A. Hitchcock, C. Brion // *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* — 1978. — Vol. 13, no. 3. — Pp. 193 - 218.
- [3] Sobelman, I. I. *Introduction to the theory of atomic spectra* / I. I. Sobelman. — 1st edition. — Oxford - New York - Toronto: Pergamon Press, 1972.
- [4] Tan, K. Absolute oscillator strengths (10-60 eV) for the photoabsorption, photoionisation and fragmentation of H₂O / K. Tan, C. Brion, P. van der Leeuw, M. van der Wiel // *Chem. Phys.* — 1978. — Vol. 29, no. 3. — Pp. 299 - 309.
- [5] Tan, K. H. Branching ratios and the partial photoionization cross-section for the 3s electron of argon / K. H. Tan, C. E. Brion // *J. Electron. Spectr. Relat. Phenom.* — 1978. — Vol. 13, no. 2. — Pp. 77 - 84.
- [6] Wight, G. R. Dipole oscillator strengths for excitation, ionisation and fragmentation of NH₃ in the 5 to 60 eV region / G. R. Wight, M. J. van der Wiel, C. E. Brion // *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* — 1977. — Vol. 10, no. 10. -P. 1863

Черенковский дифференциальный детектор

Мохначевская Валентина Петровна

Егоров Юрий Александрович

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН
Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук

Слепцов Иван Ефимович

valyamokh@yandex.ru

Якутская комплексная установка широких атмосферных ливней расположена в долине реки Лены (Республика Саха) и представляет собой стационарный научно-исследовательский полигон для исследования космических лучей сверхвысоких энергий. Якутская установка ШАЛ занимает площадь 12 км², на которой детекторы на основе пластических сцинтилляторов толщиной 5 см и площадью 2 м² каждый расположены по углам треугольника со сторонами 500м, 1000м. Такое расположение детекторов обусловлено тем, что космические лучи образуют лавинообразный процесс при прохождении атмосферы, сталкиваясь с ядрами атомов воздуха, и на поверхности земли охватывают большие площади. В центре установки имеются аналогичные станции с раздвиганиями от 50 до 250м, которые дополнены приемниками черенковского излучения ШАЛ (черенковские интегральные детекторы). На расстоянии 500м от центра установки работают 3 мюонных детектора с площадью 20 м² каждый, а в центре установки расположен большой мюонный детектор с площадью 200 м². А также введены в эксплуатацию 3 черенковских дифференциальных детектора на основе камеры обскура для исследования продольного развития ШАЛ.

В работе представлен эмпирический подход к восстановлению каскадной кривой ШАЛ по данным черенковских дифференциальных детекторов на основе камеры обскура. Предлагаемый метод опирается в основном на экспериментально измеряемые параметры. В работах (1,2) приводится подробное техническое описание черенковских дифференциальных детекторов, в том числе описана блок-схема регистратора и структура программного обеспечения для регистрации откликов черенковских детекторов и их предварительного просмотра.

В этой статье анализируются данные по глубине максимума развития ШАЛ (X_{\max}), полученные из измерений черенковского излучения камерами обскура в ливнях с энергией выше 10¹⁶ эВ. Используя методику, описанную в работах (3,4), для восстановления каскадных кривых были отобраны ШАЛ с энергиями 10¹⁶ – 10¹⁹ эВ и зенитными углами от 10 до 30 градусов от вертикали. Отбор и обработка данных, зарегистрированных большой установкой по дате совпадения с наблюдениями черенковского дифференциального детектора (отбор ливневых событий, зарегистрированных в мозаиках черенковских дифференциальных детекторов больше 8 работавших ФЭУ) на полигоне ЯКУШАЛ за сезон 2013-2018 г.г. Основные характеристики ШАЛ: углы прихода ливня θ , ϕ , ось ливня, энергия ливня, полное число заряженных частиц на уровне наблюдения определялись по показаниям участвовавших в регистрации ШАЛ станций наблюдения. Ливневых событий выше 10¹⁸ эВ было всего 14, выше 10¹⁹ эВ всего 1. Ошибка определения координат ливня составляет 15-35 м, а зенитный угол направления прихода находится с точностью около 3-5 °. По массиву данных X_{\max} , полученных с помощью измерений черенковского света ШАЛ камерами обскура, подсчитаны флуктуации $\sigma(X_{\max})$ при разных фиксированных энергиях. Результаты сравниваются с моделями адронных взаимодействий, выполненными для разных первичных ядер. Делается вывод о массовом составе космических лучей.

Список публикаций:

- [1] Garipov G.K., Grigoryev V.M., Efremov N.N. et al. // *Proc. 27th ICRC. Hamburg. 2001. P. S885*
- [2] Egorov Y.A., Petrov Z.E. Knurenko S.P. // *Proc. PoS 35th ICRC. Busan. 2017. P. S462*
- [3] Григорьев В.М. // *Наука и техника в Якутии, Якутск. 2007. С.28*
- [4] Mokhnachevskaya V.P., Egorov Yu.A., Knurenko S.P. et al. // *Proc. PoS 35th ICRC. Busan. 2017. P. S341*

Расчет на статическую прочность врезки патрубка Ду 200 трубопровода впрыска в главный циркуляционный трубопровод реакторной установки ВВЭР-1000

Овсенёв Александр Евгеньевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Семенов Андрей Олегович

ovsenev1993@mail.ru

На данный момент в Российской Федерации (РФ) доля выработки электроэнергии атомными электростанциями (АЭС) составляет около 18,9 % и растет с каждым годом. АЭС являются наиболее перспективными предприятиями по выработке электроэнергии; они занимают относительно малую площадь территории, способны производить большое количество электроэнергии и при правильной эксплуатации, являются наиболее безопасными как для человека, так и для окружающей среды.

АЭС эксплуатируются в жестких условиях. Что связано с работой при высоких температурных режимах, и следовательно, высоких давлениях в основных трубопроводах энергоблока, воздействию радиоактивного излучения на конструкционные материалы реакторной установки. Эти и другие условия эксплуатации приводят к постоянному износу конструкционных материалов. В процессе планово-предупредительного ремонта (ППР) некоторые конструкционные материалы можно заменить на новые, но некоторые конструкционные материалы заменить не представляется возможным, такие как: корпус реакторной установки. Для таких конструкционных материалов необходимо проводить исследование прочностных характеристик.

Поэтому целью данной работы является расчет на статическую прочность врезки патрубка Ду 200 трубопровода впрыска в главный циркуляционный трубопровод реакторной установки ВВЭР-1000 для обоснования в дальнейшей эксплуатации.

Главный циркуляционный трубопровод (ГЦТ) является составной частью первого контура РУ. Он соединяет между собой основное оборудование установки, образуя циркуляционный контур, и предназначен для осуществления циркуляции теплоносителя из реактора в парогенератор и обратно

Расчет напряженных состояний в месте врезки патрубка Ду 200 в ГЦТ выполнялся с использованием процессора ANSYS [1]. В процессе работы были разработана конечно-элементарная модель (рис.1).



рис.1. Полная конечно-элементарная модель узла врезки в ГЦТ трубопровода впрыска компенсатора давления

При разработке моделей, были учтены особенности геометрических параметров конструкции рассматриваемого узла, особенности нагружения внешними силовыми воздействиями и разнородность физических свойств материалов, из которых изготавливается узел, а также особенности температурного воздействия со стороны рабочей среды на элементы узла врезки.

Нагружение давлением задается на внутренних поверхностях узлов. На торцевых поверхностях задаются растягивающие напряжения, возникающие из-за замкнутости объема, внутри которого действует давление. Величина напряжений, действующих на торцевых поверхностях, определяется по формуле (1):

$$\sigma_y = p \cdot \frac{d_{вн}^2}{d^2 - d_{вн}^2}, \quad (1)$$

где σ_y – растягивающее напряжение [МПа]; p – внутреннее давление [МПа]; d – наружный диаметр [м];

$d_{вн}$ – наружный диаметр [м].

При расчете на статическую прочность проверяется выполнение условий прочности [2] применительно к рассматриваемым узлам при воздействии расчетных нагрузок. Напряжения, определенные при расчете на статическую прочность по соответствующим категориям напряжений применительно к рассматриваемым узлам, не должны превышать соответствующих допустимых значений. Исходя из анализа напряженных состояний, полученных расчетным путем от воздействия соответствующих нагрузок, выбирается наиболее напряженные зоны рассматриваемых узлов. Затем в этих зонах вычисляются соответствующие категории напряжений (общие мембранные, местные мембранные). Статическая прочность элемента считается обеспеченной, если расчетные приведенные напряжения, определенные по теории наибольших касательных напряжений, по регламентируемым группам напряжений не превышают соответствующих допускаемых напряжений.

Расчет напряженного состояния для оценки статической прочности в месте врезки патрубка Ду 200 в ГЦТ выполнялся при номинальном допускаемом напряжении ($P=17,6$ МПа) и при номинальном допускаемом напряжении при температуре гидравлических испытаний ($P=24,5$ МПа).

Исходя из анализа напряженных состояний, полученных расчетным путем от воздействий соответствующих нагрузок, выбираются наиболее напряженные зоны рассматриваемых узлов. Затем в этих зонах, используя метод линеаризации напряжений, вычисляются соответствующие категории напряжений (общие мембранные, местные мембранные).

В результате проведенного расчета на статическую прочность врезки патрубка Ду 200 в ГЦТ показал, что приведенные напряжения не превышают соответствующих допускаемых напряжений для используемых материалов. Дальнейшая эксплуатация не приведет к разрыву врезки патрубка Ду 200 в ГЦТ.

Список публикаций:

[1] Программный комплекс для ПЭВМ. Программный комплекс для решения термомеханических задач методом конечных элементов, ANSYS Mechanical, v.14.5, ANSYS, Inc., 2013.

[2] Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопровода реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации, включая эксплуатацию за пределами проектного срока службы. РД ЭО 1.1.2.05.0330-2012, Москва, 2012.

Влияние многоэлектронных эффектов на сечение фотоионизации К-оболочки неона

Резван Дмитрий Вадимович

Новиковский Николай Михайлович, Петров Иван Дмитриевич

Южный федеральный университет

Сухоруков Виктор Львович, д.ф.-м.н.

dmrezvan@yandex.ru

Фотоионизация 1s оболочки неона Ne изучалась как теоретически [1,2], так и экспериментально [3,4]. Сравнение между теорией и экспериментом показало, что посчитанный [1] порог сечения фотоионизации σ_{1s} на 25% меньше, чем измеренный [3].

Данная работа посвящена детальному изучению многоэлектронных эффектов сопровождающих фотоионизацию К-оболочки Ne. Шаг за шагом были учтены следующие приближения многоэлектронных корреляций:

ФС Приближение замороженного остова, где релаксация атомных орбиталей (АО) при вакансии на 1s оболочки не учитывалась.

РС Приближение релаксированного остова, которое учитывает релаксацию АО.

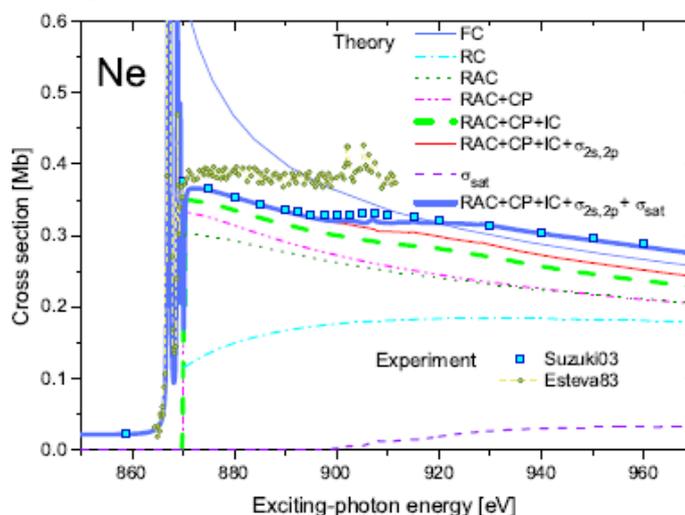
РАС Приближение перестроенного остова, в котором были включены дополнительные члены, появляющиеся в амплитуде перехода за счет использования неортогональных АО начального и конечного состояний.

+СП Поляризация остова, которая учитывается в расчете РАС.

+ИС Межканальное взаимодействие между каналами «сателлитов» $1s2p \rightarrow \epsilon r \epsilon' p$ и «главным» каналом $1s \rightarrow \epsilon p$, которое принималось в расчет в дополнение ко всем вышеперечисленным приближениям.

Для сравнения расчетных и экспериментальных сечений фотопоглощения Ne $\sigma_{1s}^{abs}(\omega)$ процесс двойной фотоионизации/возбуждения $1s2p \rightarrow \epsilon r \epsilon' p$ и сечения фотоионизации 2s и 2p оболочек в области порога ионизации 1s были посчитаны. Сравнение расчетов и измерений представлено на Рис 1. Наибольшее влияние оказывает релаксация АО (РС). Его эффект в значительной степени компенсируется дополнительными

слагаемыми (RAC). С учетом поляризации ядра и межканального взаимодействия (+CP+IC) увеличивается сечение на пороге и в области $\omega \sim 910$ eV.



[8] ^[7] рис 1. Сравнение экспериментов и кривых фотопоглощения неона посчитанных в разных приближениях

Вычисленные поперечные сечения фотопоглощения хорошо согласуются с данными Suzuki и Saito [4], но отличаются от поперечного сечения Esteve [3], полученных с разрешением лучше, чем в [4]. Таким образом, было бы очень интересно провести решающий эксперимент.

Список публикаций:

[1] V. L. Sukhorukov, V. F. Demekhin, V. V. Timoshevskaya, and S. V. Lavrentev, *Opt. Spectrosc. (USSR)* **47**, 407 (1979).

[2] M. Kutzner and M. Rose, *J. Phys. B: At., Mol. Opt. Phys.* **32**, 123 (1999).

[2] J. M. Esteve, B. Gauthe, P. Dhez, and R. C. Karnatak, *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **16**, L263 (1983).

[2] I. H. Suzuki and N. Saito, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **129**, 71 (2003).

Исследование технологии СВ-синтеза в качестве метода производства дисперсионного ядерного топлива с интерметаллидной матрицей на основе системы Ni-Al

Юрченко Максим Дмитриевич

Маренкова Елена Андреевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Кузнецов Михаил Сергеевич, к.т.н.

Mdy2@tpu.ru

Одной из самых перспективных отраслей развития энергетики является атомная промышленность. Данная область имеет обширное распространение как во всем мире, так и в России, причем 20% всей электроэнергии страны обеспечивается атомными электростанциями. Однако технологии не стоят на месте, и к 2030 году планируется создание и эксплуатация в промышленных масштабах высокоэнергетических и безопасных реакторов четвертого поколения. Материалы, используемые в данных типах реакторных установок должны также соответствовать высоким стандартам. Не менее высокие требования предъявляются к ядерному топливу.

На данный момент времени большинство реакторных установок в мире использует керамическое топливо, чаще всего представленное диоксидом урана. Несмотря на все преимущества диоксид имеет ряд недостатков, главными из которых являются низкий коэффициент теплопроводности и низкое сопротивление термическому удару. Из-за недостатков керамики градиент температур в таблетке диоксида может достигать до 1200 град/см, что приводит к её растрескиванию, что недопустимо согласно требованиям безопасности.

Перспективной заменой диоксида урана может послужить лишенное вышеуказанных недостатков дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ). Данный вид топлива представляет собой композицию из делящихся веществ, которыми могут служить как металлический уран, так и его различные соединения, и матрицы из соединений, не принимающих участие в осуществлении цепной ядерной реакции деления, но служащей для улучшения свойств топлива в целом.

В качестве материала для матрицы могут быть использованы различные соединения, в зависимости от свойств, которые они смогут придать топливу. Однако наиболее перспективно представляется использование интерметаллидов, обладающих уникальными свойствами, такими как высокая температура плавления, превышающая рабочую температуру реакторной установки, высокая коррозионная стойкость в сильно нагретых, агрессивных средах, отличные показатели радиационной стойкости и, что самое главное, превосходная теплопроводность.

Существует нестандартный, однако очень перспективный материаловедческий способ получения интерметаллидных соединений – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Данный метод основан на ряде свойств некоторых элементов вступать в экзотермическую химическую реакцию, поддерживая каждый новый её акт выделением тепла из предыдущего.

Сам по себе СВС привлекателен малыми энергозатратами по сравнению с традиционным спеканием и не требует использования сложной аппаратуры для осуществления реакции. Стоит отметить немаловажную особенность СВС, заключающуюся в возможности разбавления изначальной смеси реагентов инертной по отношению к СВ-синтезу добавкой, например, топливными частицами.

Одним из выделяющихся интерметаллидных соединений, получаемых методом СВ-синтеза, является моноалюминид никеля NiAl. Известно, что материалы на основе этого сплава имеют отличные показатели жаростойкости и жаропрочности в большом интервале температур, высокую твердость и износостойкость, а также хорошую коррозионную стойкость. Вышеперечисленные преимущества данного соединения позволили зарекомендовать его, как отличный материал для авиационной и космической техники, а также деталей для газотурбинных установок, работающих при высоких температурах. Несомненно, данные свойства NiAl привлекательны при выборе материала для матрицы ДЯТ.

В данной работе были исследованы термодинамические характеристики СВ-синтеза матрицы Ni-Al при разбавлении шихты реагентов инертной добавкой.

Для синтеза матрицы используется порошок Al марки ПАП-2 и Ni марки CAS 7440-02-0. В качестве инертной добавки в данном исследовании используется порошок NiAl. Смешивание порошков происходит в кубическом смесителе штыкового типа. Стехиометрическое соотношение алюминия и никеля 1:1, массовая доля добавки варьируется в пределах от 20% до 60%.

Реакцию, протекающую в процессе СВС можно описать уравнением (1):



где X — используемая инертная добавка.

Результаты экспериментов представлены отражены на графиках (рис.1)

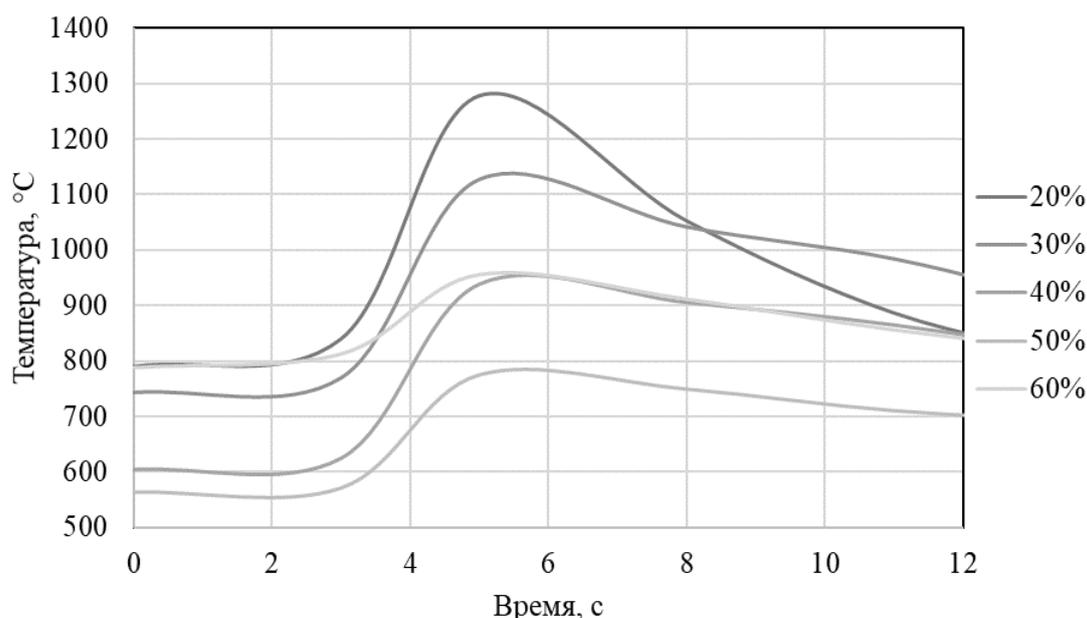


рис.1. Температурные режимы синтеза

Видно, что температура пика СВ-синтеза при массовой доле добавки 20% находится в пределах 1200-1400 °С. При увеличении содержания инертной добавки в таблетке происходит уменьшение температурного пика реакции. Данный эффект обусловлен снижением числа реагирующих частиц, а, следовательно, уменьшением суммарной выделяемой энергии при экзотермической реакции.

Однако при синтезе образца, содержащего 60% инертной добавки, наблюдается отклонения от вышесказанной зависимости. Это происходит из-за того, что в объеме таблетки слишком малое количество реагирующих элементов, в связи с чем реакция начинает протекать при увеличении температуры инициации, что ведет к увеличению температуры пика.

7 - Физика низких температур, сверхпроводимость

Кислов Евгений Витальевич, магистрант 2 года обучения

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физический

Эффект замещения селена серой в системе $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{0.4}\text{Se}_{0.6-x}\text{S}_x$

Баранов Николай Викторович, д.ф.-м.н.

е-mail: eu.kislov@gmail.com

стр. 192

Луценко Артем Витальевич, 3 курс

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.

е-mail: arluценко@yandex.ru

стр. 193

Наздрачева Татьяна Федоровна, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Сильное электрон-фононное взаимодействие как источник зарядового упорядочения в сверхпроводящих купратах

Мясникова Анна Эдуардовна, д.ф.-м.н.

е-mail: nazdracheva98@mail.ru

стр. 194

Товпеко Нина Александровна, аспирант 4 года обучения

Москва, Московский педагогический государственный университет, институт физики, технологии и информационных систем

Наблюдение поверхностного магнитного беспорядка в эпитаксиальных пленках TiN

Гольцман Григорий Наумович, д.ф.-м.н.

е-mail: mouseninka@mail.ru

стр. 196

Улитко Василий Анатольевич, м.н.с.

Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физический

Температурные фазовые диаграммы модельных ВТСП-купратов

е-mail: vasiliy.ulitko@urfu.ru

стр. 197

Ясинская Дарья Николаевна, 5 курс

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.

е-mail: daria.iasinskaia@urfu.ru

стр. 198

Эффект замещения селена серой в системе $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{0.4}\text{Se}_{0.6-x}\text{S}_x$

Кислов Евгений Витальевич

Селезнева Надежда Владимировна, Абухасва Али Сами Али

Баранов Николай Викторович

Уральский федеральный университет

Баранов Николай Викторович, д.ф.-м.н.

eu.kislov@gmail.com

Сверхпроводящие свойства халькогенидов железа на основе соединения FeSe с тетрагональной структурой существенно зависят от замещения по подрешеткам железа и селена, допирования различными элементами, а также от приложенного давления. В отличие от массивных образцов FeSe, которые переходят в сверхпроводящее состояние ниже критической температуры $T_c \sim 8$ К, в пленках FeSe, нанесенных на подложку из титаната стронция, значения критической температуры достигают ~ 100 К. Среди массивных образцов максимальной критической температурой около 15 К обладают соединения $\text{Fe}_{1.02}(\text{Se},\text{Te})$ с соотношением селена и теллура, близким к эквиаtomному.

Целью данной работы было изучение влияния замещения селена серой на фазовый состав, структуру и кинетические свойства системы $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{0.4}\text{Se}_{0.6-x}\text{S}_x$ при сохранении постоянного содержания теллура.

Соединения исследуемой системы $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{0.4}\text{Se}_{0.6-x}\text{S}_x$ ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$) были получены методом твердофазного ампульного синтеза. Рентгеноструктурная аттестация полученных образцов проводилась при помощи дифрактометра Bruker AXS D8 ADVANCE. Измерение электрических свойств проводилось 4-хконтактным методом с помощью рефрижератора замкнутого цикла CryoFree204 в интервале температур 5.5-310 К.

Согласно данным рентгеновского анализа основной фазой в образцах исследуемой системы является тетрагональная фаза с пространственной группой $P4/nmm$; помимо нее в образцах обнаружена фаза с гексагональной структурой (пространственная группа $P6_3/mmc$). Увеличение количества серы в образцах приводит к изменению параметров тетрагональной и гексагональной фаз, а также увеличению объемной доли гексагональной фазы. Установлено, что параметр c тетрагональной фазы с увеличением содержания серы ведет себя необычным образом: несмотря на меньший ионный радиус серы в сравнении с селеном наблюдается рост параметра c , характеризующего среднее межслоевое расстояние, в то время как параметр a гексагональной фазы слабо увеличивается. Параметр a тетрагональной решетки, характеризующий изменение межатомных расстояний внутри слоев Se-Fe-Se, при замещении селена серой практически не меняется, в то время как параметр a гексагональной фазы существенно уменьшается (рис. 1).

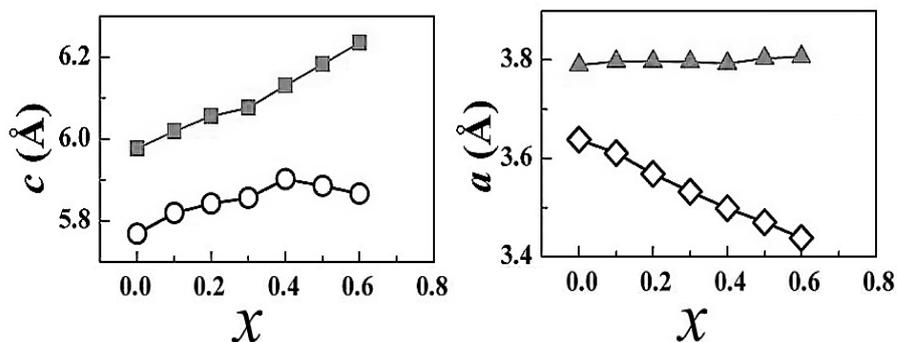


рис.1 Зависимость параметров a и c элементарных ячеек тетрагональной (заполненные символы) и гексагональной (открытые символы) фаз от номинальной концентрации серы

Установлено, что наблюдаемое поведение параметров связано с изменением объема и химического состава фаз из-за перераспределения халькогенов разного сорта между фазами. Разная растворимость теллура, селена и серы в сосуществующих фазах при увеличении содержания серы в образцах приводит к обогащению теллуrom тетрагональной фазы и увеличению содержания серы в гексагональной фазе. Кроме того, наблюдается заметное влияние замещения селена серой на электрические свойства системы $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{0.4}\text{Se}_{0.6-x}\text{S}_x$. Увеличение содержания серы приводит к росту сопротивления образцов и расширению температурного интервала, в котором температурная зависимость сопротивления имеет полупроводниковый характер, а также уменьшению критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 3.2916.2017/4.6).

Моделирование резонансного упругого рассеяния рентгеновского излучения (REXS) на зарядовом упорядочении в купратах

Луценко Артем Витальевич

Южный федеральный университет

Мясникова Анна Эдуардовна, д.ф.-м.н.

arluenko@yandex.ru

Исследуется модель [1], в которой формируется зарядовое упорядочение, подобное тому, которое наблюдается в купратных сверхпроводниках. Она включает сильное дальнедействующее электрон-фононное взаимодействие и высокую плотность коррелированных носителей, вследствие чего в основном состоянии системы имеет место высокая плотность локализованных состояний носителей – биполяронов. Кроме того, в купратах нодальное и антинодальное направления в плоскости неэквивалентны. Зарядовое упорядочение в купратах часто исследуется экспериментально с помощью REXS [2-5], поэтому стоит проверить, как полученное состояние исследуемой системы проявляет себя в таких экспериментах.

Чтобы учесть, что упорядочение зарядов в купратах характеризуется довольно малой длиной когерентности, то есть идеальный порядок наблюдается на длине около 4-5 периодов зарядового упорядочения, мы вводим сдвиги между кластерами биполяронов (рис.1б). Для моделирования мгновенного положения носителей в биполяроне мы используем трехступенчатое распределение (рис.1а). В соответствии с этим произвольно сгенерированный сдвиг каждого электрона из наиболее вероятного положения принимается каждый раз, если он попадает во внутреннюю область, которая содержит максимум вероятности. Для средней областей принимается один из двух сдвигов, а для внешней - один из четырех. Пример результирующего мгновенного положения локализованных носителей демонстрируется на рисунке (рис.1с).

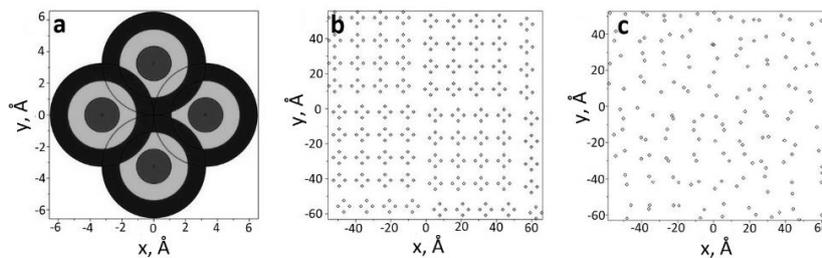


рис.1. [1] (а) Моделирование волновой функции электрона в биполяроне с использованием случайных сдвигов; (б) моделирование кластеров биполяронов (кружками отмечены наиболее вероятные положения носителей); (в) результат объединенного применения подходов (а) и (б) при высокой плотности носителей

Наконец, волна, рассеянная на полученном рисунке, рассчитывается как суперпозиция волн, рассеянных каждым носителем с соответствующей фазой [5]:

$$[1] \quad S = \sum_{m=1}^n e^{ikr_m} \quad (1)$$

Для каждого волнового вектора мы генерируем 20 структур и вычисляем усредненную по ним интенсивность рассеяния:

$$[2] \quad I = \frac{1}{20} \sum_{j=1}^{20} [(ReS_j)^2 + (ImS_j)^2] \quad (2)$$

Представим результаты расчета REXS от зарядового упорядочения, возникающего в исследуемой системе. Мы рассмотрели зависимость REXS от направления, сравнивая диагональное (нодальное) и осевое (антинодальное) направления, результат продемонстрирован на рисунке (рис.2а), это согласуется с экспериментом [4].

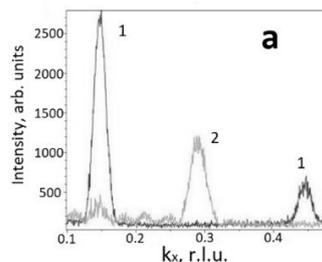


рис.2. [1] (а) REXS, рассчитанный для биполяронов высокой плотности в нодальном направлении (кривая 1) и в антинодальном направлении (кривая 2)

Можно также рассчитать ширину на половине максимума (HWHM) пика REXS вблизи осевого направления как функцию угла поворота. Интересно сравнить результаты с HWHM, экспериментально измеренным на купрате на основе Y [2] вдоль двух антинодальных направлений. Для этого мы рассмотрим систему биполярных кластеров, вытянутых вдоль осей x и y , как показано на рисунке (рис.3а). Мы рассчитываем для такой системы REXS в окрестностях $(K, 0)$ и $(0, K)$ и изображаем поперечное сечение результирующего пика на половине (рис.3б,3с). Они демонстрируют удлинение в направлении, перпендикулярном волновому вектору. После поворота на 90° модели, удлинения меняются местами и воспроизводят свои значения с высокой точностью. Это, вероятно, указывает на зависимость удлинения HWHM от формы и относительного количества «поперечных» и «продольных» кластеров. Таким образом, характер асимметрии HWHM, полученный при расчете, такой же, как и экспериментально наблюдаемый в $YBa_2Cu_3O_6 + y$ [2].

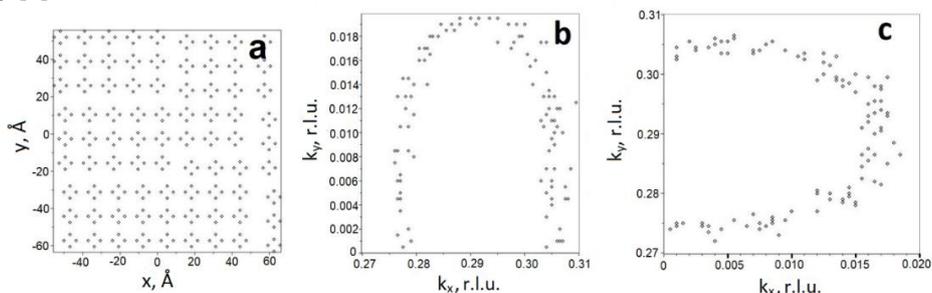


рис.3. [1] (а) Наиболее вероятные положения носителей в биполярных кластерах; (б) сечение рассчитанного пика REXS вблизи $(K, 0)$ на половине максимума; (с) сечение рассчитанного пика REXS вблизи $(0, K)$ на половине максимума.

Модель зарядового упорядочения при резонансном рассеянии упругого рентгеновского излучения (REXS), демонстрирует согласие с экспериментами на купратах как в положении пика, так и в асимметрии его поперечного сечения на половине максимума интенсивности.

Список публикаций:

- [1] A.E. Myasnikova, T. F. Nazdracheva, A. V. Lutsenko, A. V. Dmitriev, A. H. Dzhantemirov, E. A. Zhileeva, D. V. Moseykin *J. Phys.: Condens. Matter* <https://doi.org/10.1088/1361-648X/ab0d6c> (2019)
- [2] Comin R et al. *Science* 347 1335 (2015)
- [3] Da Silva Neto E H et al. *Science* 347 282 (2015)
- [4] Comin R et al. *Nature materials* 14 796 (2015)
- [5] Comin R, Damascelli A *Annual Review of Cond. Matter Physics* 7 369 (2016)

Сильное электрон-фононное взаимодействие как источник зарядового упорядочения в сверхпроводящих купратах

Наздрачева Татьяна Федоровна
Южный федеральный университет
Мясникова Анна Эдуардовна, д.ф.-м.н.
nazdracheva98@mail.ru

Недавно появились новые экспериментальные данные о свойствах зарядового упорядочения в купратах, которые показали необходимость поиска “движущей силы” этого упорядочения [1]. Нами анализируется зарядовое упорядочение, возникающее в системе с сильным дальнедействующим электрон-фононным взаимодействием при высокой концентрации носителей заряда [2]. Результаты расчета сравниваются с характеристиками зарядового упорядочения в допированных купратах, демонстрирующих высокотемпературную сверхпроводимость.

Разработан метод расчета параметров основного состояния систем с сильным электрон-фононным взаимодействием и высокой плотностью носителей заряда. В таких системах носитель заряда (электрон или дырка) взаимодействует с ионами кристаллической решетки и поляризует ее, образуется полярон. При высокой плотности носителей в системе они образуют биполярны, формирующие зарядовое упорядочение. Используя условный вариационный метод, мы получили зависимость энергии биполарона от радиуса. После чего, минимизируя энергию системы локализованных и делокализованных носителей, рассчитали размер биполарона в основном состоянии и волновой вектор зарядового упорядочения.

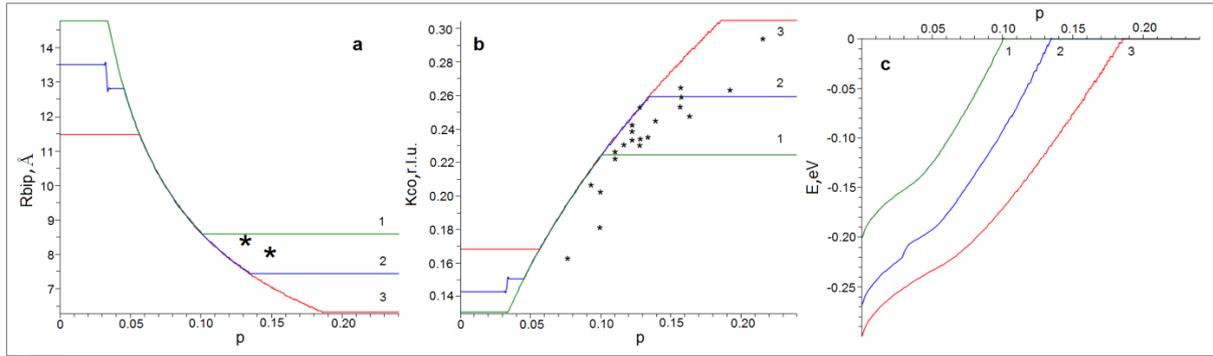


рис.1.[2] (a), (b) и (c): кривые – рассчитанные радиус биполярона, волновой вектор зарядового упорядочения и энергия биполяронов как функции уровня допирования в электронно-допированных системах при учете взаимодействия биполяронов для различных параметров среды; звездами изображены экспериментальные данные на электронно-допированных системах [3] и лантановых системах [1].

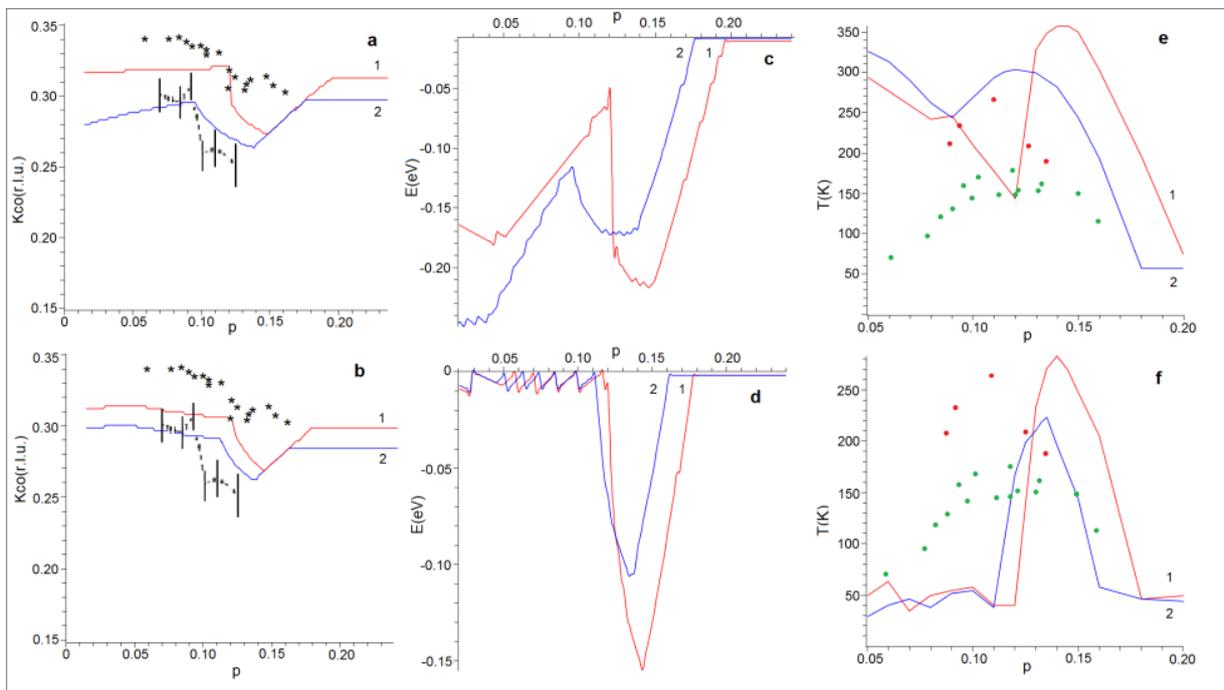


рис.2.[2] (a) и (b): кривые – рассчитанные зависимости волнового вектора зарядового упорядочения от допирования в дырочно-допированных системах при учете взаимодействия биполяронов для разных параметров среды; звездами изображены экспериментальные данные на иттриевых системах [1], вертикальными линиями - на висмутовой системе [4]; (c) и (d) – энергия дырочных биполяронов при учете взаимодействия биполяронов. (e) и (f) кривые – рассчитанная температура распада дырочных биполяронов, круги – экспериментальные данные [1] в висмутовой и в иттриевой системах.

По рис.1 и рис.2 видно, что предложенная модель позволяет хорошо описать зарядовое упорядочение, и, возможно, окажется полезной в описании других свойств купратных сверхпроводников. Понимание природы зарядового упорядочения в купратах позволит развить представление об их электронной структуре, что нужно для построения теории высокотемпературной сверхпроводимости.

Список публикаций:

- [1] R. Comin, A. Damascelli // *Annual Review of Cond. Matter Physics* 2016 7 369
 [2] A.E. Myasnikova, T.F. Nazdraacheva, A.V. Lutsenko, A.V. Dmitriev, A.H. Dzhantemirov, E.A.Zhileeva, D.V. Moseykin // *J.Phys.: Condens. Matter* 2019 <https://doi.org/10.1088/1361-648X/ab0d6c>
 [3] Da Silva Neto E H et al.// *Science* 2015 347 282
 [4] da Silva Neto E H et al.// *Science* 2014 343 393

Наблюдение поверхностного магнитного беспорядка в эпитаксиальных пленках TiN

Товпеко Нина Александровна

Н.А. Титова, Э.М. Баева, А.И. Кардакова, А.В. Семенов, В.С. Храпай, S. Saha, H. Reddy, S. Bogdanov, E. Marinero, V.M. Shalaev, Г.Н. Гольцман

Московский педагогический государственный университет

Гольцман Григорий Наумович, д.ф.-м.н.

mouseninka@mail.ru

Тонкие металлические пленки используются во многих практических областях, начиная от нанофотоники и телекоммуникаций при комнатной температуре [1, 2] и до сверхпроводящих электронных устройств при криогенных температурах [3, 4]. Улучшение качества пленки представляет сложную технологическую проблему, связанную с оптимизацией различных типов беспорядка, которые по-разному влияют на электронные свойства в нормальном и в сверхпроводящем состояниях. Классическим примером является эффект парамагнитных примесей в металлах, при котором незначительная концентрация примесей может приводить к некоторым эффектам при низкой температуре T , таким как эффект Кондо [5], подавление сверхпроводящей щели [6] и резкому усилению неупругого рассеяния [7]. В тонких пленках магнитный беспорядок, который возникает в окисле на поверхности пленки, проявляется в усилении дефазирования [8, 9], разрыве куперовских пар [10, 11] и шуме магнитного потока [12, 13].

В данной работе мы исследовали электронные и сверхпроводящие свойства эпитаксиальных пленок TiN с низким уровнем немагнитного беспорядка, $kF1 \sim 300$. При уменьшении толщины пленки d в диапазоне 200 - 3 нм, мы наблюдаем увеличение остаточного удельного сопротивления, что свидетельствует о преобладающем вкладе диффузного поверхностного рассеяния для пленок толщиной более 20 нм. В то же время наблюдается значительное зависящее от толщины снижение сверхпроводящей критической температуры, по сравнению с объемным значением в пленках TiN. В пленках, материала такого высокого качества, этот эффект может быть объяснен слабым магнитным беспорядком, находящимся в поверхностном слое с характерной плотностью магнитных дефектов 10^{12} см⁻². Наши результаты показывают, что поверхностный магнитный беспорядок обычно присутствует в слое оксида на поверхности пленок TiN.

Список публикаций:

- [1] N.A. Tovpeko, N.A. Titova, E.M. Baeva, A.V. Semenov, S. Saha, H. Reddy, S. Bogdanov, E.E. Marinero, V.M. Shalaev, A. Boltasseva, V.S. Khrapai, A.I. Kardakova, and G.N. Goltzman, *Signature of a surface magnetic disorder in epitaxial TiN films*, arXiv:1903.05009v1, 12 Mar 2019
- [2] S. A. Maiern, *Plasmonics: Fundamentals and Applications (Springer Science and Business Media, New York, 2007)*.
- [3] A. Catellani and A. Calzolari, *Physical Review B* 95, 115145 (2017).
- [4] W. Chang, S. M. Albrecht, T. S. Jespersen, F. Kueemeth, P. Krogstrup, J. Nygard, and C. M. Marcus, *Nature Nanotechnology* 10, 232 (2015), URL <https://doi.org/10.1038%2Fnnano.2014.306>.
- [5] R. Yan, G. Khalsa, S. Vishwanath, Y. Han, J. Wright, S. Rouvimov, D. S. Katzer, N. Nepal, B. P. Downey, D. A. Muller, et al., *Nature* 555, 183 (2018), URL <https://doi.org/10.1038/nature25768>.
- [6] E. Muller-Hartmann and J. Zittartz, *Phys. Rev. Lett.* 26, 428 (1971).
- [7] A. Abrikosov and L. Gorkov, *Sov. Phys. JEPT* 12, 1243 (1961).
- [8] F. Pierre, A. B. Gougam, A. Anthore, H. Pothier, D. Esteve, and N. O. Birge, *Phys. Rev. B* 68, 085413 (2003), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.68.085413>.
- [9] J. Vranken, C. Van Haesendonck, and Y. Bruynseraede, *Phys. Rev. B* 37, 8502 (1988), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.37.8502>.
- [10] F. Pierre and N. O. Birge, *Phys. Rev. Lett.* 89, 206804 (2002), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.89.206804>.
- [11] A. Rogachev, T.-C. Wei, D. Pekker, A. T. Bollinger, P. Goldbart, and A. Bezryadin, *Phys. Rev. Lett.* 97, 1 (2006).
- [12] T. Proslir, J. F. Zasadzinski, L. Cooley, C. Antoine, J. Moore, J. Norem, M. Pellin, and K. Gray, *Appl. Phys. Lett.* 92, 212505 (2008).
- [13] S. M. Anton, J. S. Birenbaum, S. R. O'Kelley, V. Bolkhovsky, D. A. Braje, G. Fitch, M. Neeley, G. C. Hilton, H.-M. Cho, K. D. Irwin, et al., *Phys. Rev. Lett.* 110, 147002 (2013), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.110.147002>.
- [14] P. Kumar, S. Sendelbach, M. A. Beck, J. W. Freeland, Z. Wang, H. Wang, C. C. Yu, R. Q. Wu, D. P. Pappas, and R. McDermott, *Phys. Rev. Applied* 6, 041001 (2016), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevApplied.6.041001>.

Температурные фазовые диаграммы модельных ВТСП-купратов

Улитко Василий Анатольевич

Чиков Александр Алексеевич, Конеv Виталий Владимирович, Ясинская Дарья Николаевна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ulitko.vasily@urfu.ru

С момента открытия ВТСП-купратов в 1986 г. было предложено большое количество разнообразных сценариев ВТСП, претендующих на качественное объяснение феномена высоких T_c и других свойств медных оксидов. Однако, несмотря на все многообразие подходов, вопрос о механизме сверхпроводимости в этих соединениях остается открытым. В работах [1,2] был предложен модельный подход для описания свойств допированных купратов типа $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ в рамках бозе-сценария. Кластер CuO_4 в данном подходе рассматривается как система со смешанной валентностью с тремя возможными устойчивыми валентными состояниями $CuO_4^{5-}, 6-, 7-}$, формирующими зарядовый триплет. Описание системы ведется в терминах псевдоспинового формализма $S = 1$, при этом каждому из состояний $CuO_4^{5-}, 6-, 7-}$ ставится в соответствие проекция псевдоспина $S_z = -1, 0, +1$ соответственно. Гамильтониан системы можно представить в виде суммы:

$$H = H_{ch} + H_{tr1} + H_{tr2} + H_{exc} \quad (1)$$

Слагаемое H_{ch} включает в себя экранированное кулоновское взаимодействие, а так же энергетический порог реакции диспропорционирования $CuO_4^{6-} - CuO_4^{6-} \rightarrow CuO_4^{5-} - CuO_4^{7-}$. H_{tr1} и H_{tr2} описывают одночастичный и двухчастичный дырочный транспорт. В H_{exc} учитывается спиновое обменное взаимодействие в форме Гейзенберга между ближайшими соседями с учетом оператора спиновой плотности.

В рамках данного подхода мы моделируем плоскость CuO_2 с помощью классического метода Монте-Карло с характерными размерами решетки до 256×256 . Моделирование проводится с помощью параллельного варианта алгоритма на видеокартах и графических ускорителях Nvidia. Ранее нами была рассмотрена статическая модель [3,4], не учитывающая слагаемые H_{tr1} и H_{tr2} в (1). Особое внимание при этом уделялось исследованию конкуренции между антиферромагнитным и зарядовым упорядочениями. В настоящей работе мы исследуем влияние транспорта на образование антиферромагнитного, зарядового и сверхпроводящего упорядочений модельной системы при различных концентрациях допированных дырок x . Показано, что учет двухчастичного транспорта приводит к появлению сверхпроводящей фазы при отклонении от $x = 0$. При этом результаты моделирования хорошо согласуются с данными, полученными квантовым алгоритмом Монте-Карло для системы локальных бозонов [5]. Дальнейший учет одночастичного транспорта привел к подавлению сверхпроводимости при некоторых значениях x и позволил качественно воспроизвести T - x фазовую диаграмму купратов.

Работа выполнена при поддержке Программы 211 Правительства Российской Федерации (соглашение 02.A03.21.0006) и проектов №2277 и №5719 Министерства Образования и Науки Российской Федерации, а также при поддержке РФФИ в рамках научного проекта No 18 – 32 – 00837\18

Список публикаций:

- [1] A. S. Moskvin, *Physical Review B* 84, 075116 (2011)
- [2] A. S. Moskvin, *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 121, 477 (2015)
- [3] Y. D. Panov, A.S. Moskvin, A.A. Chikov, K.S. Budrin, *JETP Letters*, 106 424 (2017)
- [4] Y. D. Panov et al., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 477, 162-166 (2019)
- [5] Y. D. Panov, A.S. Moskvin, E.V. Vasinovich, V.V. Konev, *Physica B*, 536, 464-468 (2018)

Критическое поведение двумерной спин-псевдоспиновой модели в случае сильного обмена

Ясинская Дарья Николаевна

Улитко Василий Анатольевич, Панов Юрий Демьянович, Москвин Александр Сергеевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Панов Юрий Демьянович

daria.iasinskaia@urfu.ru

Тема сосуществования и конкуренции зарядового, магнитного и сверхпроводящего упорядочений является одной из актуальных проблем физики высокотемпературных купратов [1]. Ранее нами была предложена [2,3] упрощенная статическая двумерная спин-псевдоспиновая модель, рассматривающая конкуренцию между зарядовым и магнитным упорядочениями. В рамках данного подхода три эффективных валентных состояния $\text{CuO}_4^{5-,6-,7-}$ рассматриваются как проекции псевдоспина $S=1$ с $S_z=-1,0,+1$ соответственно. Гамильтониан рассматриваемой системы имеет следующий вид

$$H = \Delta \sum_i S_{iz}^2 + V \sum_{\langle ij \rangle} S_{iz} S_{jz} + Js^2 \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_{iz} \sigma_{jz}, \quad (1)$$

где $\sigma_{iz} = (1 - S_{iz}^2) S_{iz} / s$ – нормированная z-компонента спина $s=1/2$, Δ и V определяют локальные и межузельные зарядовые корреляции соответственно, обменное взаимодействие. При этом плотность заряда допированных примесей в системе фиксирована: $nN = \sum_i S_{iz} = \text{const}$. Данная модель является обобщением двумерной разбавленной модели Изинга с заряженными примесями.

С помощью классического метода Монте-Карло мы исследовали статические критические свойства данной системы в случае сильного магнитного обмена ($V/J=0.1$). Нами рассчитаны значения критического индекса теплоемкости α в зависимости от параметров Δ и n . Показано, что α имеет особенность при значениях Δ , соответствующих границе между зарядовым и магнитным упорядочениями.

Работа выполнена при поддержке Программы 211 Правительства Российской Федерации, соглашение 02.А03.21.0006 и проектов №2277 и №5719 Министерства Образования и Науки Российской Федерации.

Список публикаций:

[1] J.M. Tranquada, G. Xu, I.A. Zaliznyak, *Superconductivity, antiferromagnetism, and neutron scattering*, *J. Magn. Magn. Mater.* 350 (2014) 148–160.

[2] Y.D. Panov, A.S. Moskvina, A.A. Chikov, I.L. Avvakumov, *Competition of spin and charge orders in a model cuprate*, *J. Supercond. Novel Magn.* 29 (4) (2016) 1077–1083.

[3] Y.D. Panov, A.S. Moskvina, A.A. Chikov, K.S. Budrin, *The ground-state phase diagram of 2D spinpseudospin system*, *J. Low Temp. Phys.* 187 (5–6) (2017) 646–653.

8 - Магнетизм

Антонов Георгий Игоревич, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт
Влияние магнитного поля и тока на динамику связанных магнитных вихрей в мультислойных проводящих нанопроводах малого, среднего и большого диаметров.
Екомасов Евгений Григорьевич, к.ф.-м.н.
e-mail: georgij.antonow@yandex.ru стр. 202

Бельская Надежда Алексеевна, 4 курс
Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, институт космических исследований и технологий
Раствор-расплавный синтез оксидов $Mn_{2-x}Mg_xVO_4$ со структурой варвикита, исследование структурных и магнитных свойств
Евгения Михайловна Мошкина, к.ф.-м.н.
e-mail: nat@iph.krasn.ru стр. 202

Высокова Елизавета Владимировна, 3 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики
Искажения формы колебаний доменных границ в низкочастотных магнитных полях в монокристаллах ферритов-гранатов
Памятных Лидия Алексеевна, к.ф.-м.н.
e-mail: V.Lizka007@mail.ru стр. 204

Иванов Сергей Николаевич, преподаватель
Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, отделение электроники
Магнитоэлектрическая измерительная ячейка
Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.
e-mail: Sergey.Ivanov@novsu.ru стр. 205

Курилова Анастасия Владимировна, 3 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт инженерной физики и радиоэлектроники
Магнитные свойства наночастиц 3d металлов, декорированных золотом, для медицинского применения
Соколов Алексей Эдуардович, к.ф.-м.н.
e-mail: lst.ru-00@inbox.ru стр. 207

Лебедев Николай Геннадьевич, профессор
Волгоград, Волгоградский государственный университет, Институт математики и информационных технологий
Квантовая модель для исследования магнито-механических свойств ферромагнетиков
e-mail: nikolay.lebedev@volsu.ru стр. 208

Леонтьев Виктор Сергеевич, м.н.с.
Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, отделение электроники
Прогнозирование магнитоэлектрического эффекта в области ЭМП при помощи метода номограмм
Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.
e-mail: viktorsergeevich.novsu@gmail.com стр. 209

Лобекин Вячеслав Николаевич, аспирант 2 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, институт электронных и информационных систем
Магнитоэлектрический датчик для измерения слабых магнитных биологических полей
Татаренко Александр Сергеевич, к.т.н.
e-mail: slavalobekin@gmail.com стр. 211

Назарова Зоя Игоревна, 4 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт инженерной физики и радиоэлектроники
Об эффективной радиальной магнитной анизотропии никелевых нано-микродисков
Орлов Виталий Александрович, к.ф.-м.н.
e-mail: orlhome@rambler.ru стр. 212

Некрасов Егор Сергеевич, 3 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики
Влияние полимерного покрытия на магнитные характеристики аморфного сплава на основе кобальта
Скулкина Надежда Александровна, д.ф.-м.н.
e-mail: ntesla2016@yandex.ru стр. 214

Османов Рамазан Сафетович, магистрант 1 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Высокочастотные свойства магнетика с размороженным орбитальным моментом
Бутрим Виктор Иванович, к.ф.-м.н.
e-mail: ramazan2959@gmail.com стр. 215

Петерсон Светлана Александровна, 4 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, нанотехнологии и микросистемной техники
Магнитооптика ансамбля наночастиц слабого ферромагнетика альфа-Fe₂O₃
Эдельман Ирина Самсоновна, д.ф.-м.н.
e-mail: svetik.peterson@mail.ru стр. 216

Пушкарев Илья Александрович, 4 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт естественных наук и математики
Сравнительное исследование процессов перемагничивания в сплошных и наноперфорированных пленках GdCo с перпендикулярной магнитной анизотропией
e-mail: ilya.empire@gmail.com стр. 217

Ростовцев Никита Дмитриевич, 4 курс
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 людовигитов Cu₂Mn_{1-x}GaxVO₅
Евгений Михайловна Мошкина, к.ф.-м.н.
e-mail: Nick.romero@bk.ru стр. 219

Саплев Алексей Фёдорович, аспирант 1 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, радиоэлектроники
Влияние электрического поля на ферромагнитный резонанс в мультиферроике
Петров Владимир Михайлович, д.т.н.
e-mail: nightroud1991@yandex.ru стр. 220

Селезнев Константин Андреевич, 2 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Магнитные состояния тригональных магнетиков при учете магнитных инвариантов высших порядков
Стругацкий Марк Борисович, д.ф.-м.н.
e-mail: kostya.selez@gmail.com стр. 221

Сергеев Иван Сергеевич, магистрант 1 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, отделение электроники
Магнитоэлектрический гиратор
Петров Владимир Михайлович, д.т.н.
e-mail: servanser@mail.ru стр. 222

Фещенко Анастасия Александровна, 4 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
фундаментальной и прикладной физики
Исследование влияния термообработки в присутствии паров индия на магнитные свойства пленочных образцов состава типа FINEMET

Степанова Елена Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: asynikname@mail.ru стр. 224

Фурдык Виктория Павловна, магистрант 1 года обучения
Красноярск, Сибирский федеральный университет, физики магнитных явлений
Магнитные и резонансные свойства пленок в системе Fe-Vi

Патрин Геннадий Семенович, д.ф.-м.н.
e-mail: vico4ka5@mail.ru стр. 225

Худякова Дарья Михайловна, 4 курс
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт
естественных наук и математики

Магнитные и магнитоимпедансные свойства лент модифицированного состава на основе Finemet
Степанова Елена Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: daria.khudiakova@urfu.ru стр. 226

Шерепа Анна Владимировна, аспирант 2 года обучения
Красноярск, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, физики магнитных явлений
Исследование оптических и магнитооптических свойств плазмоннорезонансных наночастиц

Соколов Алексей Эдуардович, к.ф.-м.н.
e-mail: ann12733283@ya.ru стр. 227

Шуйский Александр Александрович, магистрант 1 года обучения
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 стр. 228

Шульга Карина Вячеславовна, аспирант 1 года обучения
Красноярск, Сибирский федеральный университет, инженерно-физический
Эффект Фарадея поликристаллических тонких пленок Co-P

Соколов Алексей Эдуардович, к.ф.-м.н.
e-mail: tabakaewa-karina@mail.ru стр. 229

Ярыгина Екатерина Александровна, аспирант 1 года обучения
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 стр. 231

Влияние магнитного поля и тока на динамику связанных магнитных вихрей в мультислойных проводящих нанопроволоках малого, среднего и большого диаметров

Антонов Георгий Игоревич

Степанов Станислав Викторович

Башкирский государственный университет

Екомасов Евгений Григорьевич

georgij.antonow@yandex.ru

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, в этом плане, микроволновые спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО), которые отличаются относительно большим спектром частот осцилляций магнитных вихрей, реализуемых даже без приложения внешнего магнитного поля. 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 численного решения Обобщенного уравнения Ландау-Лифшица, проведено исследование динамики и структуры двух дипольно связанных магнитных вихрей в трехслойном наностолбике большого диаметра, 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 переключателя полярности 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 малого, среднего и большого диаметров.

Список публикаций:

[1] Звездин А.К., Звездин К.А., Хвальковский А.В. // УФН.178, 436 (2008).

[2] Locatelli N., Ekomasov A.E., Khvalkovskiy A.V. and et. el., *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] *Наша ФТТ18*

[5] *Наша ЖМММ18*

Раствор-расплавный синтез оксиборатов $Mn_{2-x}Mg_xVO_4$ со структурой варвикита, исследование структурных и магнитных свойств

Бельская Надежда Алексеевна

Н.А. Бельская, С.Н. Софронова, А.Д. Васильев, Л.Н. Безматерных, Н.В. Казак, Е.М. Мошкина.

Сибирский аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева

Мошкина Евгения Михайловна

nadejda-bels@mail.ru

Исследование оксиборатов со структурой *варвикит* «*warwickite*» представляет значительный интерес с фундаментальной точки зрения, поскольку данные объекты относятся к квази-низкоразмерным магнетикам. Общая формула варвикита $M^{2+}M^{3+}VO_4$. Металлические ионы занимают две кристаллографически неэквивалентные октаэдрические позиции 4e: M1 и M2. Четыре октаэдра, объединяясь общими ребрами, формируют ряд M2-M1-M1-M2 (*рис 1*). Ряды объединяются в ленты, распространяющиеся вдоль короткого направления (*c*-оси). В гетерометаллических соединениях ($M^{2+} \neq M^{3+} = Mg, Mn, Co, Ni, Cr, Ti, V, Fe, Sc \dots$ [1])

распределение металлических ионов по неэквивалентным позициям, как правило, носит случайный характер, поэтому данные системы являются катионно-разупорядоченными и не достигают дальнего магнитного порядка даже при самых низких температурах. Многие из них демонстрируют переход в состояние спинового стекла связанный с появлением обменного взаимодействия между лентами. В интервале промежуточных температур магнитное поведение описывается в рамках модели гейзенберговских антиферромагнитных цепочек со случайным обменом (REHAC).

На сегодняшний день получено только три гомометаллических варвикита Mn_2BO_4 , Fe_2BO_4 , V_2BO_4 , демонстрирующие дальний магнитный порядок и зарядовое упорядочение (charge ordering) [2]. Особый интерес представляет задача получения гетерометаллической системы с дальним магнитным порядком.

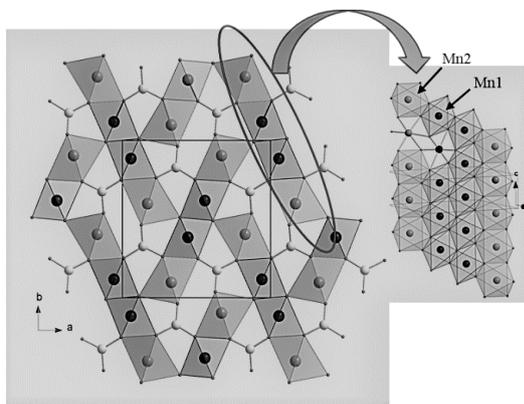


рис.1 Кристаллическая структура варвикита

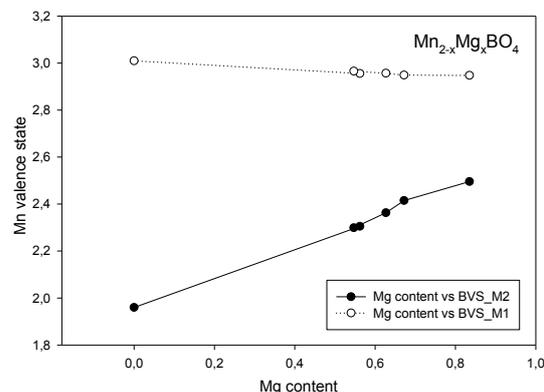
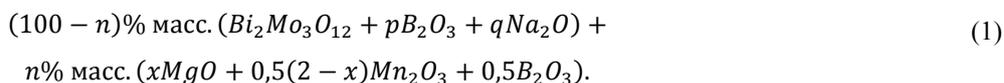


рис 2 Концентрационная зависимость валентного состояния ионов Mg в системе $Mn_{2-x}Mg_xBO_4$

Примером такой системы могут быть твердые растворы на основе $Mn^{2+}Mn^{3+}BO_4$ с изовалентным замещением в двухвалентной подсистеме с сохранением ян-теллеровских ионов Mn^{3+} в трехвалентной подсистеме. Предполагается, что такой подход позволит изменять и регулировать характеристики материала, в том числе магнитные. Появляется возможность менять силу и знак обменного взаимодействия, изменяя величину спинов и их концентрацию в цепочках.

В данной работе, с помощью раствор-расплавного метода, разработана технология получения монокристаллов оксиборатов структурного типа варвикит. Раствор-расплавная система имеет вид:



В процессе поисковых исследований были определены параметры p-q системы (p, q). После проведения этапа поисковых исследований были выращены монокристаллы оксиборатов $Mn_{2-x}Mg_xBO_4$ с концентрацией $x^*=0,91; 1,00; 1,10; 1,14; 1,20$. Раствор-расплав выдерживался в течении 3-х часов при $T=1100^\circ C$, затем температура в печи быстро понижалась до $(T_{нас} - 5)^\circ C$, и далее, медленно, со скоростью $4^\circ C/сут$. Через пять суток тигель извлекался из печи, и раствор-расплав выливался из тигля. Выросшие монокристаллы в виде черных призм, длиной до 5 мм и поперечным размером до 0.4 мм, отделялись от остатков раствор-расплава травлением в 20% растворе азотной кислоты.

Кристаллическая структура полученных образцов была исследована с помощью монокристаллической дифракции (дифрактометр SMART APEX II (MoK α , CCD детектор)). Определены параметры решетки, координаты атомов, числа заполнения неэквивалентных позиций. Обнаружено что атомы Mg вытесняют атомы Mn в кристаллографической позиции M2. Расчет валентных состояний ионов марганца, используя метод сумм валентных связей (BVS), показал, что валентное состояние ионов Mn в позиции M1 близко к 3+, а в позиции M2 – 2+ (рис.2) Таким образом, изовалентное замещение приводит к сохранению зарядового и катионного упорядочения в гетерометаллической системе.

Предварительные измерения магнитных свойств выполнены для образца S5 ($Mn_{1,17}Mg_{0,84}BO_4$) [4]. Измерения магнитной восприимчивости проведены в полях 200 Э и 10 кЭ в температурном интервале 2-300 К при двух ориентациях внешнего магнитного поля относительно кристаллографической c-оси. Проведен анализ полученных результатов. Обнаружено, что изучаемое соединение является низкотемпературным антиферромагнетиком с температурой перехода $T_N=16$ К. Плоскостью лёгкого намагничивания является ab-плоскость. Следовательно, частичное замещение марганца на магний приводит к понижению температуры магнитного порядка с сохранением магнито-кристаллической анизотропии. Определены следующие магнитные параметры: эффективный магнитный момент, парамагнитная температура Кюри, параметр изотропного

косвенного обмена. Сделаны оценки параметра магнитных фрустраций. Проведены измерения молярной теплоёмкости в температурном диапазоне от 5 до 60 К в нулевом магнитном поле. Обнаружена аномалия теплоемкости в виде лямбда пика при $T_N=16$ К, связанная с установлением дальнего магнитного порядка. Используя данные теплоемкости для немагнитного аналога, проведены оценки магнитного вклада в теплоемкость и величины магнитной энтропии.

В заключении можно сказать, что, несмотря на обширное исследование гетерометаллических варвикитов, изучение магнитных и термодинамических свойств твердых растворов $Mn_{2-x}Mg_xBO_4$ выполнено впервые. Кроме того, полученные результаты свидетельствуют о том, что соединение $Mn_{1,17}Mg_{0,84}BO_4$ является редким примером гетерометаллических систем с дальним магнитным порядком.

Список публикаций:

- [1] J. J. Capponi *Sur de Nouveaux Borates Mixtes des Mktaux de Transition Isotypes de la Warwickite* / J. J. Capponi, J. Chenavas, et J. C. Joubert // *Journal of solid state chemistry* 7, 49-54 (1973)
- [2] N. V. Kazak *Uniaxial anisotropy and low-temperature antiferromagnetism of Mn_2BO_4 single crystal* / Kazak N.V., Platonov [udp] // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 393, 316-324 (2015)
- [3] R. Norrestam, *Structural investigation of two synthetic warwickites: Undistorted orthorhombic $MgScOBO_3$ and distorted monoclinic $Mg_{0,76}Mn_{1,24}OBO_3$* // *Zeitschrift für Kristallographie* 189, 1-11 (1989).
- [4] R. M. Eremina *Magnetic properties of the warwickite $MnMgBO_4$* / R.M. Eremina, E.M. Moshkina, [udp] // *Solid state communication Volume 290, March 2019, Pages 64-66*

Искажения формы колебаний доменных границ в низкочастотных магнитных полях в монокристаллах ферритов-гранатов

Высокова Елизавета Владимировна

Мехоношин Дмитрий Сергеевич, Памятных Лидия Алексеевна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Памятных Лидия Алексеевна, к.ф.-м.н.

dmitry.mehonoshin@urfu.ru

В работе [1] был обнаружен эффект асимметричности колебаний доменных границ (ДГ) в монокристаллах ферритов-гранатов в переменном гармоническом магнитном поле, который проявлялся в искажении формы колебаний ДГ по сравнению с синусоидальной. В данной работе наблюдаемые визуально искажения формы колебаний ДГ описаны количественно с использованием анализа гармонических искажений [2].

В работе колебания ДГ исследованы в монокристаллической пластине-(111) феррита-граната $(TbErGd)_3Fe_5O_{12}$, помещённой в магнитное поле $H(t) = H_0 \sin 2\pi ft$, перпендикулярное плоскости образца. Синусоидальная форма магнитного поля контролировалась с помощью датчика Холла. Доменная структура образца выявлялась с помощью магнитооптического эффекта Фарадея с применением стробоскопической методики, что позволяло определять изменение координат отдельных ДГ с течением времени. В качестве меры отличия формы колебаний ДГ от синусоидальной использовался коэффициент гармонических искажений [2], который определялся как отношение среднеквадратичного значения всех гармоник искажённого сигнала, кроме первой, к значению амплитуды первой (основной) гармоники $K = \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} A_i^2} / A_1$.

Характерные зависимости координат $x_{ДГ}$ двух соседних ДГ одного полосового домена от времени в процессе их колебаний приведены на *рис. 1а* (сплошные линии). Пунктирными линиями на рисунке показаны результаты аппроксимации зависимостей $x_{ДГ}(t)$ синусоидой, полученные методом наименьших квадратов, видно отличие формы колебаний ДГ от синусоидальной. С помощью применения преобразования Фурье был получен спектр колебания ДГ (*рис. 1б*). Помимо основной частоты в спектре присутствуют высшие гармоники, что позволяет определить коэффициент гармонических искажений.

Зависимость рассчитанного коэффициента гармонических искажений K от частоты при постоянной амплитуде поля $H_0 = 20$ Э показана на *рис. 1в* для нескольких доменных границ. Видно, что для всех ДГ при возрастании частоты коэффициент K уменьшается, что соответствует приближению формы колебаний ДГ к синусоидальной. Представляет интерес исследование искажений формы колебаний ДГ при больших амплитудах гармонического поля, в которых наряду с колебаниями ДГ наблюдается их трансляционное движение.

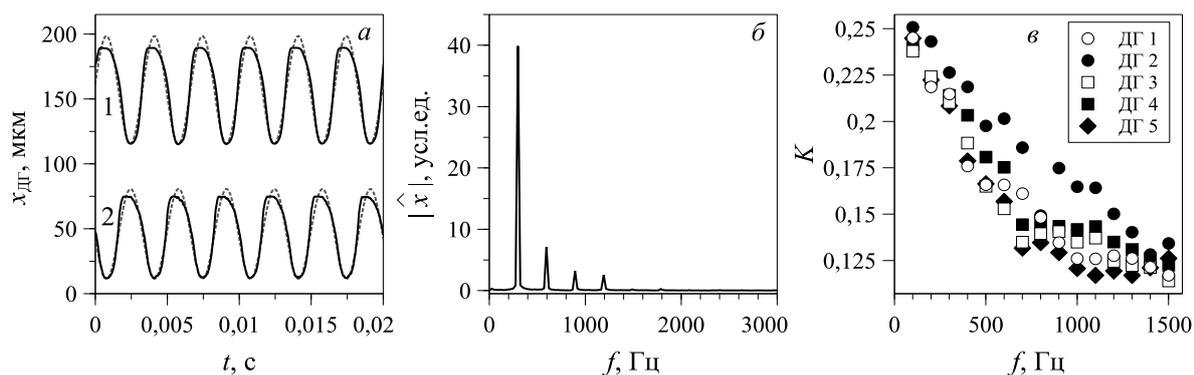


рис.1. а) Зависимости координат соседних доменных границ(1, 2) от времени в гармоническом поле частотой $f=300$ Гц и амплитудой 20 Э; б) спектр колебаний доменной границы 1; в) зависимость коэффициента гармонических искажений K колебаний доменных границ от частоты при амплитуде поля $H_0=20$ Э.

Работа выполнена в рамках базовой части госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 3.6121.2017).

Список публикаций:

[1] Асимметричность колебаний в доменных границ в гармоническом и импульсном полях кристаллах ферритов-гранатов с дрейфом полосовой доменной структуры / Л.А. Памятных, Д.С. Мехоношин, С.Е. Памятных, Л.Ю. Агафонов, М.С. Лысов, Г.А. Шматов // ФТТ. 2019. Т. 61, №3. С. 483–491.

[2] Справочник по радиоэлектронным устройствам. В 2-х т. Под ред. Д. П. Линде. Москва: Энергия, 1978.

Магнитоэлектрическая измерительная ячейка

Иванов Сергей Николаевич

Семенов Геннадий Алексеевич, Леонтьев Виктор Сергеевич

Новгородский государственный университет

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.

Sergey.Ivanov@novsu.ru

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект в композитных материалах, состоящих из магнитоэлектрической и пьезоэлектрической компонент, заключается в возникновении электрической поляризации во внешнем магнитном поле или появлении намагниченности во внешнем электрическом поле, что позволяет, например, реализовывать устройства магнитного типа с электрическим управлением [1].

Исследование МЭ эффекта в композиционных материалах в области низких частот и электромеханического резонанса (ЭМР) традиционно проводят с использованием электромагнита, блока питания и катушек Гельмгольца. Недостатками таких измерительных систем является их дороговизна, большой вес и габаритные размеры, плохая повторяемость результатов измерений и сложность в проведении исследований на воздействие внешних факторов.

Для устранения указанных недостатков предложена МЭ измерительная ячейка, состоящая из корпуса, соленоида, держателя и миниатюрных постоянных магнитов, расположенных с торцов корпуса (рис.1). Конструкция держателя позволяет в непосредственной близости от исследуемого образца разместить датчики температуры, влажности, давления и т.д. Для подключения образца и датчиков к внешней цепи в держателе предусмотрены канавки под проволочные выводы. Изменение величины постоянного магнитного поля H_0 в центре измерительной ячейки производится дискретно (путем подбора размеров и числа пар магнитов) и плавно (за счет изменения расстояния между магнитами в соответствии со шкалой отсчета). Держатель, каркас соленоида и корпус ячейки выполнены из термостойкого пластика методом трехмерной печати [2].

МЭ измерительная ячейка применяется следующим образом. Держатель с расположенным внутри исследуемым образцом фиксируется внутри соленоида, который затем размещается в корпусе измерительной ячейки. При подаче модулирующего сигнала с генератора на обмотку соленоида создается переменное магнитное поле $h(t)$, а размещенные с торцов корпуса миниатюрные постоянные магниты создают постоянное магнитное поле H_0 , при этом, направления полей $h(t)$ и H_0 совпадают. За счет МЭ эффекта на обкладках образца возникает напряжение $U_{\text{вых}}$, которое выводится на измерительное устройство. В зависимости от направления поляризации пьезоэлектрической компоненты в образце может наблюдаться как продольный, так и поперечный МЭ эффект.

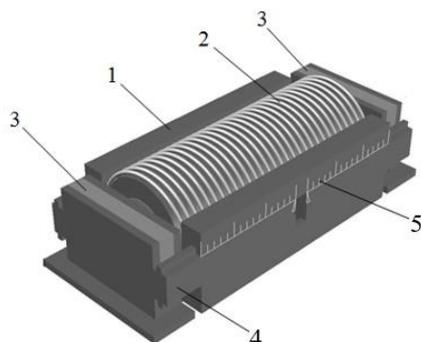


рис.1. Конструкция магнитоэлектрической измерительной ячейки: 1 - корпус, 2 - соленоид, 3 - постоянные магниты, 4 - система регулировки поля, 5 – шкала отсчета

Таким образом, МЭ измерительная ячейка может использоваться при исследовании МЭ эффекта в композиционных материалах в области низких частот и ЭМР, в том числе под воздействием внешних факторов. Предлагаемая конструкция может располагаться внутри любого испытательного оборудования (камеры тепла и холода, платформе вибростенда, барокамеры или вакуумного термостолка), при этом взаимная ориентация магнитных и электрических полей в исследуемом образце будет сохраняться.

Рассматриваемая измерительная ячейка использовалась для проведения исследований температурной зависимости МЭ эффекта в слоистой структуре метглас/ЦТС/метглас размером 10x5x1,12 мм. При изменении температуры образца в диапазоне от 263 до 363 К наблюдался линейный сдвиг резонансной частоты f_p . Величина модулирующего магнитного поля $h(t)$ составляла 1 Э. Зависимость амплитуды выходного напряжения имеет нелинейный характер (рис.2) с максимальным значением $U_{\text{вых}} = 6,4$ В при температуры 237 К, что соответствует МЭ коэффициенту по напряжению $\alpha_E = 57,1$ В/смЭ [3].

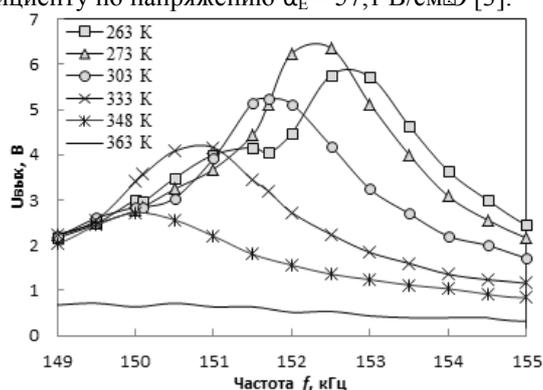


рис.2. Температурная зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ образца

Предложенная МЭ измерительная ячейка позволяет проводить исследования МЭ эффекта в композиционных материалах в области низких частот и ЭМР, точно позиционировать измеряемые образцы в области максимума магнитных полей, повысить повторяемость измерений, уменьшить размеры и вес конструкции, снизить себестоимость, проводить исследования на воздействие внешних факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания, проект № 8.11100.2018/11.12

Список публикаций:

[1] Bichurin M, Petrov V Modeling of magnetolectric effects in composites, Springer series in material science, Volume 201, 2014, pp.108.

[2] Универсальная магнитоэлектрическая измерительная ячейка: пат. 187070 Рос. Федерация. № 2018127994 заявл. 30.07.2018; опубл. 18.02.2019, Бюл. №5.

[3] Иванов С.Н., Семенов Г.А., Леонтьев В.С. Влияние температуры на магнитоэлектрический эффект в структуре метглас/ЦТС/метглас // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Технические науки. 2017. № 7 (105). С.43–47.

Магнитные свойства наночастиц 3d металлов, декорированных Au для медицинского применения

Курилова Анастасия Владимировна
Сибирский федеральный университет
Соколов Алексей Эдуардович, к.ф.-м.н.
List.ru-00@inbox.ru

Использование магнитных наночастиц в целях решения биомедицинских задач на сегодняшний день всё чаще связывают с необходимостью синтеза наночастиц, обладающих определенными физико-химическими свойствами, выбор которых обусловлен направленностью использования (МРТ, доставка лекарственных средств и т.д.) и общим воздействием на человеческий организм, будь то токсичность, либо устойчивость в среде. Один из способов получения таких функциональных наночастиц, - это синтез частиц, со структурой «ядро-оболочка». Но, так как свойства (например, магнитные характеристики, токсичность, адсорбционные свойства) частиц при добавлении оболочки или изменении методики получения могут изменяться, появляется необходимость дополнительной охарактеризации и исследовании вновь получаемых наночастиц.

Малоизученность воздействия наночастиц на организм человека в присутствии оболочек ограничивает выбор материала покрытия. Пока удалось синтезировать частицы, в которых в качестве защитной оболочки используются органические лиганды, полимеры, биомакромолекулы, неорганические материалы (такие как оксид кремния и углерод), а также металлы (золото, серебро). Полагается, что воздействие благородных металлов на организм давно изучено, и их применение является наиболее предпочтительным. Так же золото, благодаря его биосовместимости, низкой реакционной способности, а также отработанной методике функционализации поверхности серосодержащими лигандами, сегодня считается одним из самых подходящих для данных целей.

Целью данной работы является исследование магнитных, оптических и магнитооптических свойств наночастиц Fe-Au и Ni-Au, полученных методом лазерной абляции.

Наноразмерные порошки были получены методом импульсной лазерной абляции объемной мишени из золота в растворе наночастиц железа/ никеля, производства ООО «Передовые порошковые технологии» средний размер частиц железа в порошке 50-110 нм (ТУ 1791-003-36280340-2008) и дистиллированной воды (DW). Мишень помещалась в 100 мл цилиндрическую стеклянный реактор с раствором.

Возбуждение осуществлялось сфокусированным короткофокусной линзой ($F = 50$ мм) излучением Nd:YAG лазера (1064 нм, 7 нс, 180 мДж, 20 Гц). Количество произведенных наночастиц было оценено по потере массы цели; средняя скорость производства наночастиц была около 0,2 мг / мин. Таким образом, около 36 мг частиц накапливалось в дисперсии в течение одного цикла PLA. Для ускоренного осаждения магнитных частиц к стенкам реактора с внешней стороны крепились постоянные магниты. Подробно методика синтеза и схема экспериментальной установки для синтеза нанопорошков ИЛАГ при атмосферном давлении рассмотрена в работе Светличного В.А. [1]

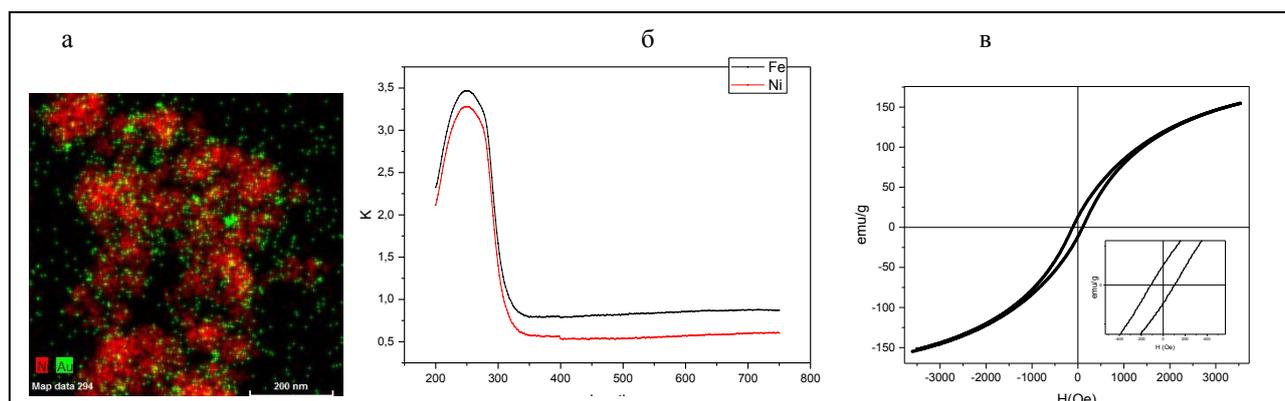


рис.1 Свойства Fe-Au и Ni-Au : а) снимок STEAM Ni-Au; б) график поглощения образцов; в) кривая намагниченности Fe-Au.

Исследования морфологии полученных наночастиц проводились на просвечивающем электронном микроскопе STEM-EDX, Hitachi TM 5500. На снимках видно (рис 1.а), что образцы не являются core-shell, а покрыты частицами золота со средним размером 16-18 нм (для образца Fe-Au, средний размер Fe около 70 нм), 7-8 нм (для Ni-Au, средний размер Ni примерно 65-75 нм).

Спектры поглощения наночастиц в силиконовой матрице в диапазоне 200-750 нм снимались на дихрографе СКД-2 МУФ, со спектральным разрешением 3 нм. Из полученных спектров следует, что у образца Fe-Au граница поглощения находится в коротковолновой области (около 300 нм), а характерный пик для частиц железа в длинноволновой области наблюдается при 644 нм, пик поглощения в районе 520 нм, характерный для частиц золота, отсутствует. У Ni-Au граница поглощения также в области 300 нм, характерный пик для частиц Ni в районе 400 нм хорошо виден на рис.1.а, пик поглощения в области 520 нм отсутствует.

Измерения намагниченности образцов проводились при комнатной температуре (рисунок 1.в) с помощью вибрационного магнитометра, разработанного в ИФ СО РАН.

Наличие петли гистерезиса указывает на то, что образцы являются ферро- или ферромагнитным, при этом максимальная намагниченность насыщения у Fe-Au наблюдается при 152 emu/g. По кривой намагниченности данного образца можно судить скорее о ферромагнитных свойствах вещества ($H_c \approx 105 \text{ Oe}$, $B_r = 12,92 \text{ Oe}$) и также по величине H_c частицы можно отнести к магнитомягким ($H_c < 126 \text{ Oe}$). Проведя сравнительный анализ графиков намагниченности наночастиц Fe аналогичных размеров [2, 3,4] с петлей гистерезиса исследуемого образца, было установлено, что H_c исследованных частиц примерно в 6 раз меньше, чем у частиц без оболочки, но имеет близкое значение для частиц железа типа ядро-оболочка, описанных в статьях [3],[4].

Для проверки возможности использования описанных выше образцов в медицине следует провести ещё ряд исследований, связанные с реакцией биологических объектов.

Список публикаций:

- [1] Svetlichnyi V. A. et al. Characterization and magnetic properties study for magnetite nanoparticles obtained by pulsed laser ablation in water // *Applied Physics A*. – 2017. – Т. 123. – №. 12. – С. 763.
 [2] Lin C. R. et al. Fe₃S₄ and Fe₃O₄ magnetic nanocrystals: magneto-optical and Mössbauer spectroscopy study // *Materials Research Express*. – 2014. – Т. 1. – №. 2. – С. 025033.
 [3] Ansari S. A. M. K. et al. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Functionalization for Biomedical Applications in the Central Nervous System // *Materials*. – 2019. – Т. 12. – №. 3. – С. 465.
 [4] Wu W. et al. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications // *Science and technology of advanced materials*. – 2015. – Т. 16. – №. 2. – С. 023501

Квантовая модель для исследования магнито-механических свойств ферромагнетиков

Лебедев Николай Геннадьевич

Игнатъев Вячеслав Константинович, Перченко Сергей Владимирович

Волгоградский государственный университет

nikolay.lebedev@volsu.ru

Микроскопический теоретический расчет намагниченности ферромагнетиков различной структуры является одним из основных направлений мировых исследований свойств магнитных материалов, в рамках которого решаются задачи исследования статических характеристик различных сред, изучение доменной структуры, расчет параметров петель гистерезиса и др. [1]. Физика магнитного гистерезиса является одной из хорошо изученных областей физики магнитоупорядоченных материалов [2], но, несмотря на свою вековую историю и многочисленные экспериментальные и теоретические достижения в этой области, до сих пор остается актуальным направлением исследования. Строгое аналитическое описание процессов перемагничивания наталкивается на существенные трудности, которые преодолеваются с помощью построения математических моделей, например, модели Стонера-Вольфарта, Джилеса-Атертона, Хаузера и др., основанных на решении нелинейных дифференциальных уравнений [3].

В работе [4] предложена квантовая модель деформированного магнитомягкого ферромагнетика на примере кристалла α -железа с тремя случайно ориентированными в каждом домене осями легкого намагничивания. Эффективный гамильтониан каждого домена строится как сумма гамильтонианов кристаллического поля, магнитно-дипольного и зеемановского взаимодействия. В рамках представления Гейзенберга и последующего перехода к микроскопической модели получено нелинейное уравнение динамики намагниченности деформированного ферромагнетика типа Ландау-Лифшица-Гильберта:

$$\frac{d\mathbf{m}}{dt} = \mu_0 \gamma [(\mathbf{H} + \mathbf{h}_k + \mathbf{h}_m) \times \mathbf{m}] \quad (1)$$

где \mathbf{m} – намагниченность домена, $\mathbf{h}_m(\mathbf{r}, \mathbf{m})$ – напряженность микроскопического поля размагничивания, $\mathbf{h}_K(\mathbf{m}, \hat{\mathbf{u}})$ – напряженность кристаллического поля, $\hat{\mathbf{u}}$ – тензор дисторсии, $\mathbf{H}(t)$ – напряженность внешнего магнитного поля, $\gamma = 2\mu_B/\hbar$ – гиромагнитное отношение электрона, μ_B – магнетон Бора.

Минимизация функционала плотности энергии кристалла варьированием намагниченности образца позволила получить выражение для равновесной намагниченности $\mathbf{m}^e(\mathbf{r})$ ферромагнетика в квадратичном по деформации приближении. Усреднение вектора микроскопической намагниченности с постоянным модулем по кристаллиту выполняется аналитически. Уравнение релаксации макроскопической намагниченности $\mathbf{m}(\mathbf{r})$ к равновесной намагниченности $\mathbf{m}^e(\mathbf{r})$ принимает классический вид уравнения Блоха-Бломбергена:

$$\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial t} = -\frac{\mathbf{m} - \mathbf{m}^e}{T_1}, \quad (2)$$

где T_1 – время продольной релаксации, являющееся свободным параметром модели.

На основе численного решения динамического уравнения Блоха методом Рунге-Кутты 4-го порядка получено решение, имеющее характерный вид петли гистерезиса, основные параметры которой зависят от величины деформации образца. Показано, что петля гистерезиса может быть получена решением динамического уравнения типа Блоха с учетом только процессов вращения векторов намагниченностей доменов и диполь-дипольного взаимодействия между доменами.

Проведено модельное и экспериментальное исследование магнитоупругого эффекта (эффекта Виллари). Численно и экспериментально изучена динамика намагниченности стержня из стали ER70S-6 при одновременном воздействии продольного переменного внешнего магнитного поля и пульсирующей деформации. Результаты численного моделирования магнитомеханического эффекта, находятся в качественном и количественном согласии с натурным экспериментом.

Экспериментально обнаружен эффект механического стирания магнитной памяти металла (МПМ) [5] при изучении магнитоэластического эффекта. Искусственно созданный механический макроскопический дефект на образце стали 09G2S проявил повышенную незатухающую намагниченность. После создания звуковых колебаний в образце ферромагнетика наблюдалась релаксация намагниченности почти до исходного значения. Построенная теоретическая модель применена для изучения описанного эффекта МПМ, полученное качественное согласование численных результатов с опытными.

Список публикаций:

- [1] Беляев Б.А., Изотов А.В., Лексиков А.А. // *Физика твердого тела*. 2010. Т. 52. Вып. 8. С. 1549.
- [2] Вонсовский С.В. *Магнетизм*. М.: Наука, 1971. 1032 с.
- [3] Cardelli E. *Advances in Magnetic Hysteresis Modeling // In Handbook of Magnetic Materials*. 2015. V. 24. P. 323.
- [4] Игнатьев В.К., Лебедев Н.Г., Никитин А.В., Орлов А.А. // *Физика металлов и металловедение*. 2019. Т. 120. № 3. С. 227.
- [5] Власов В.Т., Дубов А.А. *Физические основы метода магнитной памяти металла*. М.: Тиссо. 2004. 424 с.

Прогнозирование магнитоэлектрического эффекта в области ЭМР при помощи метода номограмм

Леонтьев Виктор Сергеевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.

Viktorsergeevich.novsu@gmail.com

Значения МЭ коэффициентов в магнитоэлектрических структурах могут быть получены на основе численно-графических методов [1, 2]. 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. Значение МЭ эффекта характеризуется МЭ коэффициентом по напряжению $\alpha_E = E/H$. Практически, для расчета МЭ коэффициентов приходится решать множество сложных аналитических уравнений. Для более эффективной оценки значений МЭ коэффициентов предлагается использовать метод номограмм. Для создания номограмм, были получены приближенные выражения для прямого МЭ эффекта в явном виде. Была проведена оценка влияния пьезоэлектрических и пьезомагнитных свойств материалов, объемной доли компонентов и ориентации магнитного поля. Номограммы также могут быть использованы для проверки значений, полученных другими методами. Основная частота в области ЭМР определяется следующим образом:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{p s_{11} + r^m s_{11}}{p s_{11}^m s_{11} (r^p \rho +^m \rho)}}, \quad (1)$$

Максимум МЭ коэффициента по напряжению на резонансной частоте определяется выражением:

$$\frac{\delta E_3}{\delta H_1} = \frac{8Q_a}{\pi^2} \frac{r^m q_{11} \frac{p d_{31}}{p \epsilon_{33}}}{(r^m s_{11} +^p s_{11})(r+1)}, \quad (2)$$

Или в одномерном приближении:

$$\frac{\alpha_E}{Q_a} = \frac{8}{\pi^2} \frac{V(1-V)^m q_{11} \frac{p d_{31}}{p \epsilon_{33}}}{[V^m s_{11} + (1-V)^p s_{11}]}, \quad (3)$$

где Q_a – добротность линии в области резонанса.

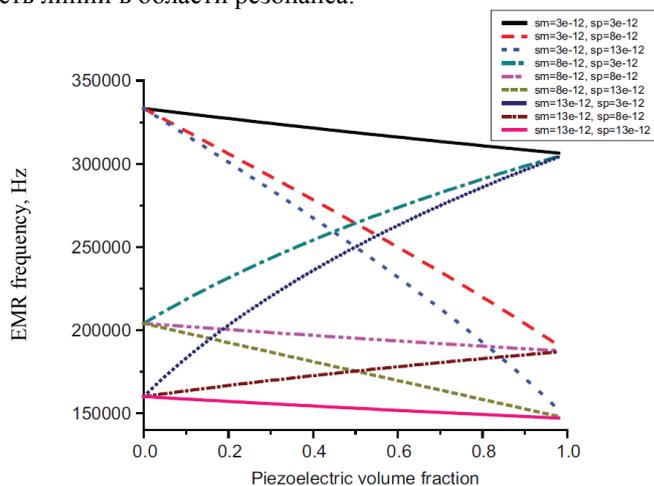


рис.1. Зависимость частоты ЭМР от объемной доли пьезоэлектрика для продольной моды, длина магнитоэлектрично-пьезоэлектрической слоистой структуры 10 мм.

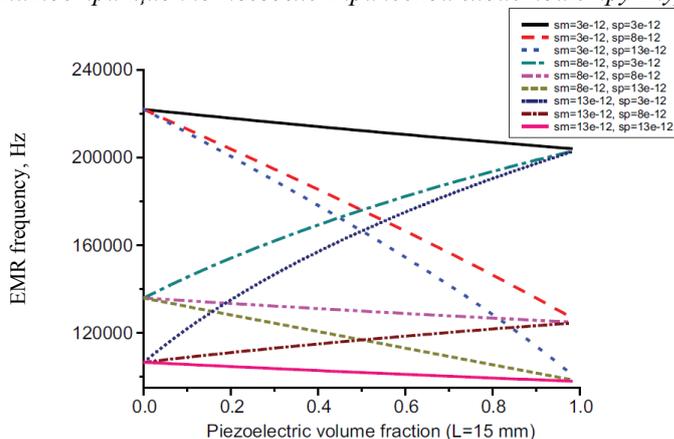


рис.2. Зависимость частоты ЭМР от объемной доли пьезоэлектрика для продольной моды, длина магнитоэлектрично-пьезоэлектрической слоистой структуры 15 мм.

Зависимость МЭ коэффициента по напряжению в области ЭМР от объемной доли пьезоэлектрика, деленного на величину Q , аналогично значению МЭ коэффициента по напряжению на низкой частоте.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00386.

Список публикаций:

- [1] M. I. Bichurin and V. M. Petrov, *Advances in Condensed Matter Physics* 2012, 798310 (2012).
- [2] M. I. Bichurin and V. M. Petrov, *Ferroelectrics* 162, 33 (1994).

Магнитоэлектрический датчик для измерения слабых магнитных биологических полей

Лобекин Вячеслав Николаевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Татаренко Александр Сергеевич, к.т.н.

slavalobekin@gmail.com

На сегодняшний день высокочувствительные датчики магнитного поля находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности, например в автомобилестроении, космических аппаратах, археологических исследованиях, робототехнике, измерительной технике, а так же в медицинской диагностике. Классические старые методы постоянно совершенствуются, в основном с использованием новых материалов и технологий, таких как, миниатюризация. Эти новые датчики приносят революционные изменения в уровне техники и в некоторых случаях демонстрируют новые возможности. Очень многообещающими являются гибриды различных эффектов, например магнитооптический, магнитоакустический или магнитоэлектрический (МЭ) эффект.

Для измерения слабых магнитных полей, генерируемых живыми организмами, необходима высокая чувствительность. Генерация слабых магнитных полей может быть вызвана постоянными токами или магнитными частицами, которые очень эффективно применяются в биомедицине, терапии и диагностики ряд тяжелых заболеваний, таких как ишемическая болезнь сердца, ишемия головного мозга, эпилепсия, что делает измерение и диагностику биологических магнитных полей очень актуальными для изучения. Для этого предлагается использовать магнитоэлектрические датчики.

Достаточно широкое распространение получили аналоги МЭ датчиков (рис.1). В свою очередь, МЭ датчики, благодаря высокой чувствительности, низкой стоимости, малым габаритам имеют огромные перспективы в медицинской технике в качестве измерителей слабых магнитных полей человека и живых существ, для измерения магнитобиологических реакций, электрических сигналов сердца, сигналов скелетных мышц, глаз, клетчатки глаза, также возможно применение МЭ датчиков для магнитной томографии [1].

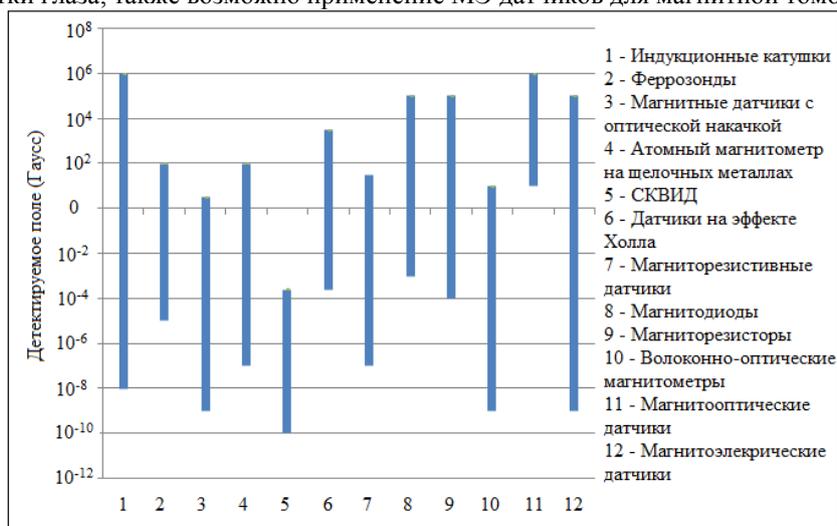


рис 1. - Сравнение магнитных датчиков.

Магнитоэлектрический эффект — это индуцирование магнитным полем электрической поляризации, либо индуцирование электрическим полем намагниченности. Использование МЭ эффекта позволяет получить ряд преимуществ перед датчиками, работающими по другим принципам [2].

На рис. 2 представлена слоистая магнитоэлектрическая структура датчика. Структура состоит из пластины пьезоэлектрика цирконат-титанат свинца (ЦТС) размерами 10 мм × 4 мм × 0,5 мм и двух магнитоэлектрических обкладок Метглас. Обкладки метгласа соединялись с ЦТС посредством клея.



рис. 2 - Магнитоэлектрическая структура датчика.

Для измерений магнитоэлектрического коэффициента использовалась установка, которая включала в себя катушки Гельмгольца для создания переменного и постоянного магнитного полей, генератор низкочастотных колебаний, двухлучевой осциллограф, источник постоянного тока, магнитометр. Датчик помещался в центр между катушками. Результаты измерений регистрировались на осциллографе. Данные измерений приведены ниже (рис. 3), магнитоэлектрический коэффициент составил 1005 мВ/см*Э на частоте 146 кГц. Полученная зависимость магнитоэлектрического коэффициента от частоты говорит о высокой чувствительности магнитоэлектрических датчиков, что в свою очередь говорит об актуальном применении таких датчиков в медицине.

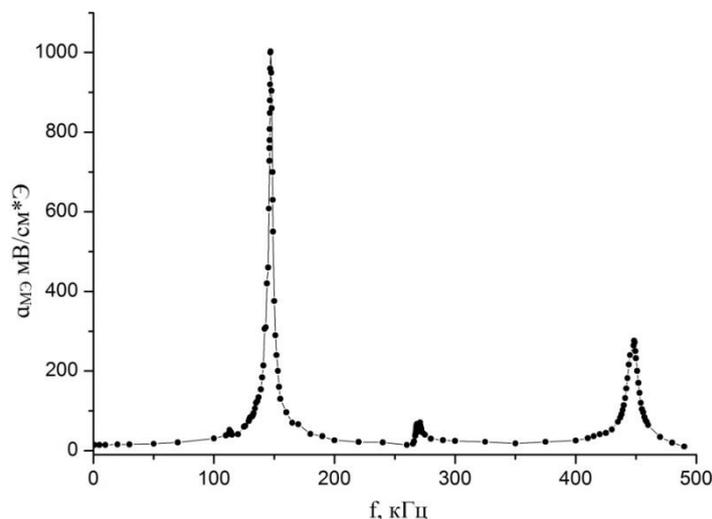


рис. 3 - Зависимость магнитоэлектрического коэффициента от частоты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-57-53001.

Список публикаций:

- [1] V.N. Lobekin, R.V. Petrov, M.I. Bichurin, A.V. Rebinok, R.A. Sulimanov «Magnetolectric sensor for measuring weak magnetic biological fields» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 441, 2018, 9 p.
 [2] Петров Р.В., Бичурин М.И., Кулиба Ю.В. Датчики электромагнитного поля // Тез. докл. 8-й Всерос. науч.-техн. конф. «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления». М.: МГИЭМ, 1996. Т.2. С.324

Об эффективной "радиальной" магнитной анизотропии никелевых нано-, микродисков

Назарова Зоя Игоревна

Назаров Александр Николаевич

Сибирский федеральный университет

Орлов Виталий Александрович

orlhome@rambler.ru

Известно, что при определенных соотношениях толщины и радиуса микро- или наноточки $\Delta = L/R$ могут реализовываться вихревая или доменная структуры намагниченности [1,2]. Такое поведение присуще магнетикам из большинства магнитомягких материалов. Образование вихревой структуры связано с конкуренцией между обменным взаимодействием и магнитостатической энергией, которая вынуждает замыкаться намагниченности у боковой поверхности круглого микропятна. При этом в центре магнетика намагниченность вынуждена выйти из плоскости и образовать так называемое ядро магнитного вихря.

В последнее время очень популярно исследование поведения именно кора вихря в статических и динамических магнитных полях, исследование взаимодействия вихревой структуры со спин-поляризованным током, межчастичное взаимодействие вихревых структур [3-9]. Но не все ферромагнетики в области Δ , где по теоретическим оценкам должна реализовываться вихревая структура, обладают ею. В частности, никель, обладая отрицательными константами магнитострикции по основным направлениям, и одновременно относительно низким значением намагниченности насыщения, не показывает наличие кора. Более того, намагниченность никелевого микропятна, располагаясь в плоскости при некоторых толщинах и высоком процентном содержании никеля, не выказывает тенденции к замыканию, а напротив, стремится расположиться перпендикулярно боковой поверхности магнетика [10] (см. рис. 1).

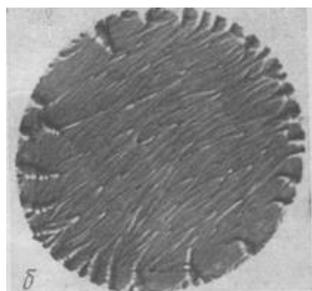


рис. 1.: Доменная структура микропятна (94% Ni, диаметр 300 мкм, толщина 0.06 мкм).

Такое поведение намагниченности мы связываем с преобладанием поля анизотропии вблизи края магнетика по сравнению с полями рассеяния. Качественно физическая картина выглядит следующим образом. Из-за малой толщины ферромагнитного пятна по его периметру наблюдается повышенное значение энергии свободной поверхности, вследствие чего возникают механические напряжения, приводящие к изменению константы анизотропии (магнитоупругий эффект) и обеспечивающие радиальное направление осей легкого намагничивания. Упругие напряжения на свободной поверхности магнетика подобны избыточному давлению Лапласа, возникающему в жидкостях из-за эффекта поверхностного натяжения.

Проведем численные оценки поправки константы анизотропии вблизи периметра магнетика, возникающей из-за магнитоупругого эффекта. Геометрическая модель микроточки показана на рисунке 2.

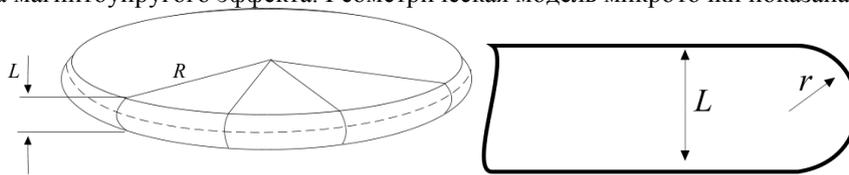


рис.2.: Модель микродиска. Боковая поверхность закруглена (слева). Боковая поверхность микродиска в срезе (справа).

Прямые углы между гранями на боковой поверхности магнетика реализоваться не могут из-за межатомного взаимодействия, приводящего к "округлению" острых краев.

Механическое напряжение, возникающее на боковой поверхности, оценим с помощью формулы Лапласа:

$$\eta = \sigma \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right). \quad (1)$$

Здесь σ - коэффициент поверхностного натяжения твердого никеля, r и R - главные радиусы кривизны боковой поверхности пятна. Радиус R показан на рисунке 2 пунктирной линией, радиус r показан на рисунке 3. В нашем случае $r \ll R$. Кроме того, положим, что $r \approx L/2$. Тогда выражение (1) принимает вид:

$$\eta = \frac{2\sigma}{L}. \quad (2)$$

Вследствие малости толщины пятна по сравнению с его радиусом можно воспользоваться одномерным приближением для оценки поправки к константе анизотропии [11, 12]. Помимо этого, магнетик является поликристаллическим с малым размером зерна (меньше ширины доменной стенки), поэтому можно абстрагироваться от различия компонент тензора магнитоупругости по разным кристаллографическим направлениям (взять среднее λ), тем более, что знак компонент одинаков и отрицателен. В результате сжатия боковой поверхности возникает эффективное легкое направление намагничивания перпендикулярно боковой поверхности с константой:

$$K_{eff} \approx \frac{3}{2} \lambda \eta = 3 \frac{\lambda \sigma}{L}. \quad (3)$$

Подстановка в выражение (3) характерных значений параметров никеля $\sigma \approx 2.0$ Дж/м², $\lambda \approx 3.5 \times 10^{-4}$ [11] для микропятна толщиной порядка 0.04 мкм получим $K_{eff} \approx 5 \times 10^3$ Дж/м³. Это значение сравнимо с величиной кристаллографических констант анизотропии недеформированного никеля, т.е. на краю микропятна эффективная анизотропия увеличивается практически в разы. Эти оценки хорошо согласуются с результатами экспериментальных измерений константы вблизи края пятна [10]. Заметим, что по мере увеличения толщины магнетика рассмотренный выше краевой эффект должен ослабевать и структура намагниченности вблизи

периметра станет более сложной, комбинируя в себе как области с замыканием намагниченности, так и участки с выходом намагниченности из поверхности пятна.

В заключение заметим, что оценки подтверждают предположение причинах возникновения заметной анизотропии радиальной симметрии, преобладающей над полями рассеяния. Показана ключевая роль упругих напряжений в образовании эффективной анизотропии, преобладающей над полями рассеяния.

Список публикаций:

- [1] B. Pigeau, G. de Loubens, O. Klein, A. Riegler, F. Lochner, G. Schmidt, L. W. Molenkamp, V. S. Tiberkevich, and A. N. Slavin, *Appl. Phys. Lett.* 96, 132506 (2010).
 [2] G. Loubens, A. Riegler, B. Pigeau, F. Lochner, F. Boust, K. Y. Guslienko, H. Hurdequint, L. W. Molekamp, G. Schmidt, A. N. Slavin, S. Tiberkevich, N. Vukadinovic, and O. Klein, *Phys. Rev. Lett.* B 102, 177602 (2009).
 [3] J. Kim and S.-B. Choe, *J. Magn.* 12, 113 (2007).
 [4] V. Novosad, F. Y. Fradin, P. E. Roy, K. S. Buchanan, K. Yu. Guslienko, and S. D. Bader, *Phys. Rev. B* 72, 024455 (2005).
 [5] П. Д. Ким, В. А. Орлов, В. С. Прокопенко, С. С. За май, В. Я. Принц, Р. Ю. Руденко, Т. В. Руденко, *ФТТ* 57, 29 (2015).
 [6] В.С. Прокопенко, Г.Г.Васильев, В.П. Иванов, В.С.Черкашин, Н.А.Дрокин, *Известия АН СССР, сер. физ., т. 36, № 6, 1972, с. 1163-1165.*
 [7] С. Тикадзуми, *Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества, Мир, М., (1983), 304 с.*
 [8] A. Kumar, S. Fahler, * H. Schlorb, K. Leistner, and L. Schultz., *Phys. Rev. B* 73, 0644212006

Влияние полимерного покрытия на магнитные характеристики аморфного сплава на основе кобальта

Некрасов Егор Сергеевич

Чекис Владимир Игоревич, Денисов Никита Денисович, Мазеева Алина Константиновна

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина

Скулкина Надежда Александровна, д.ф.-м.н.

ntesla2016@yandex.ru

Благодаря высокому уровню функциональных свойств ленты аморфных магнитомягких сплавов на основе кобальта используются в магнитном экранировании. Они обладают близкой к нулю магнитострикцией насыщения и высокими значениями максимальной магнитной проницаемости даже в закаленном состоянии при достаточно хорошей временной стабильности магнитных характеристик. Это дает возможность изготовления магнитного экрана из ленты в закаленном состоянии [1].

Изготовление магнитного экрана зачастую предполагает формирование на поверхности ленты склеивающего полимерного покрытия (ПП). В ЦНИИ КС «Прометей» разработан экран, при изготовлении которого в качестве связующего используется двустороннее полимерное покрытие (ПЭТФ-пленка), выполняющее и защитные функции. Такое покрытие является магнитоактивным, формируется в интервале температур 90 – 130 °С в присутствии прессующего давления. Вследствие усадки при охлаждении ПП индуцирует сжимающие напряжения. Прессующее давление и полимерное покрытие оказывают противоположные воздействия на свойства ленты, частично нивелирующие друг друга.

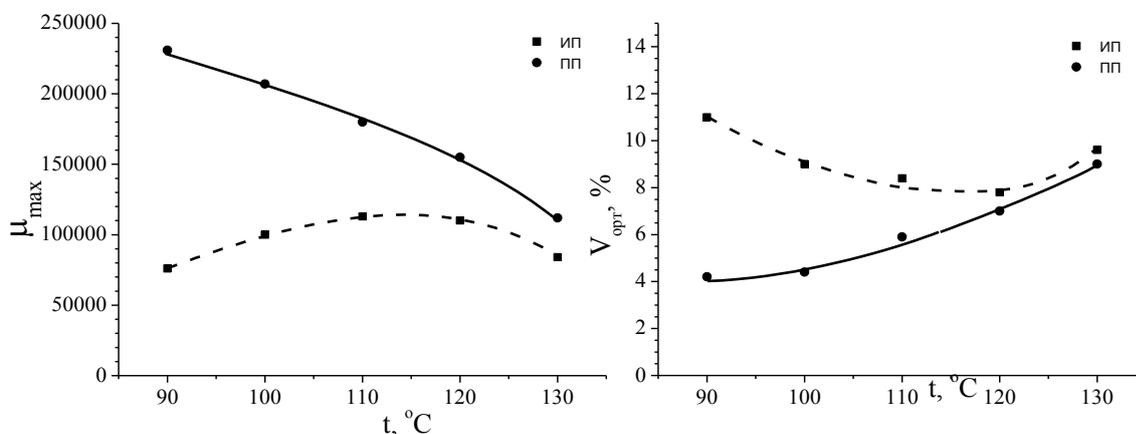


рис. 1 – Влияние полимерного покрытия (ПП) и прессующего давления (ИП) на максимальную магнитную проницаемость и объем доменов с ортогональной намагниченностью

В настоящей работе исследовали влияние ПП на максимальную магнитную проницаемость (μ_{max}) и распределение намагниченности в закаленном состоянии ленты аморфного сплава Co-Ni-Fe-Cr-Mn-Si-B. Магнитную проницаемость определяли с помощью индукционно-импульсного метода, относительный объем доменов с ортогональной намагниченностью ($V_{орт}$) – по корреляционной зависимости, полученной с помощью мессбауэровских исследований [2] с погрешностями не превышающими 3 и 5% соответственно. Влияние прессующего давления отделяли от соответствующего влияния ПП проведением имитирующей термообработки в присутствии прессующего давления (ИП). Основные результаты представлены на рис. 1. Видно, что индуцируемые покрытием плоские сжимающие напряжения приводят к переориентации намагниченности в плоскость ленты во всем температурном интервале формирования ПП, что соответствует состоянию с отрицательной магнитострикцией насыщения. Ослабление стабилизации границ доменов с планарной намагниченностью доменами с ортогональной намагниченностью способствует повышению μ_{max} при всех температурах формирования покрытия. Наиболее сильное снижение $V_{орт}$ и повышение μ_{max} наблюдается при температуре формирования 90°C.

Список публикаций:

1. <https://amet.ru>

2. Скулкина Н.А., Иванов О.А., Степанова Е.А. Изв. АН, сер. физ.-2001.-Т.65, №10.-С.1483-1486

Высокочастотные свойства магнетика с размороженным орбитальным моментом

Османов Рамазан Сафетович

Бутрим Виктор Иванович

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

Бутрим Виктор Иванович, к.ф.-м.н.

ramazan2959@gmail.com

Введение. Проблема повышения скорости работы записывающих и считывающих устройств микроэлектроники связана с поиском наиболее быстрых режимов движения магнитных моментов. Наиболее подходящими для этих целей являются антиферромагнетики, поскольку обладают более высокими собственными частотами, лежащими в терагерцовом диапазоне [1-3].

Однако в недавних работах по ферромагнетикам с размороженным орбитальным моментом показано, что столь же высокие частоты могут наблюдаться в ферромагнетиках с сильным сокращением орбитального момента.

Цель работы. Примеры связанной спин орбитальной динамики известны достаточно давно, наиболее изученным здесь является оксид кобальта. В нем наблюдались магнитные резонансные частоты в диапазоне 4-12 ТГц. Однако удовлетворительная теория, описывающая спектр частот, построена совсем недавно, в работе [4]. В работе [5] аналогичная теория построена для ферромагнетика, в которой исследовалась спин орбитальная динамика вдали от точки компенсации спинового и орбитального моментов.

В настоящей работе рассмотрена динамика углового момента простого одноэлементного ферромагнетика с последовательным учетом как спиновых, так и орбитальных степеней свободы при неполном «замораживании» орбитального момента. Особое внимание уделено эффектам компенсации при равенстве магнитного и орбитального моментов $|\langle S \rangle| \approx |\langle I \rangle|$.

Результаты исследований. Рассмотрен ферромагнетик, в котором магнитные ионы имеют орбитальный момент I , равный единице и некоторое произвольное значение спина S . Исходили из микроскопического квантового гамильтониана вида:

$$\hat{H} = \sum_n \{ \lambda \hat{S}_n \hat{I}_n - \sum_a J(a) \hat{S}_n \hat{S}_{n+a} - C \hat{I}_{n,z}^2 + B \hat{I}_{n,y}^2 - K \hat{S}_{n,z}^2 + B_1 \hat{S}_{n,x}^2 \} \quad (1)$$

В работе показано, что спектр частот такого ферромагнетика содержит три ветви различного типа. Это две связанные спин орбитальные моды поперечных колебаний спина и орбитального момента, а так же мода, описывающая продольные колебания длины вектора орбитального момента.

Показано, так же, что свойства такого ферромагнетика во многом похожи на свойства двухподрешеточного ферромагнетика, у которого спиновый и орбитальный моменты играют роль подрешеток. В частности, для него имеет место эффект компенсации, характерный для ферритов. При частичном замораживании орбитального момента эффекты компенсации наблюдаются только при конкурирующем действии кристаллического поля и магнитной анизотропии.

Список публикаций:

- [1] Кугель, К.И. Эффект Яна-Теллера и магнетизм: соединения переходных металлов / К.И. Кугель, Д.И. Хомский // УФН. 1982. - Т. 136. - № 4. - С. 621-664.
- [2] Туров Е. А. Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков / Е. А. Туров, А. В. Колчанов, В. В. Меньшенин, И. Ф. Мирсаев, В. В. Николаев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001 – 560 с.
- [3] Звездин А. К. Квантовые скачки магнитооптических эффектов и намагниченности а редкоземельных соединениях в ультрасильных магнитных полях / А.К. Звездин, А.С. Овчинников, В.И. Плис, А.И. Попов // ЖЭТФ – 1996. – Т. 109. – Вып. 5. – С.1742.
- [4] Excitation of coupled spin-orbit dynamics in cobalt oxide by femtosecond laser pulses / T. Satoh, R. Iida, T. Higuchi, Y. Fujii, A. Koreeda, H. Ueda, T. Shimura, K. Kuroda, V.I. Butrim & B.A. Ivanov // Nat. Commun. – 2017. –V. 8. – P. 638.
- [5] Частоты магнитного резонанса ферромагнетика с частично замороженным орбитальным моментом / В. И. Бутрим // ФНТ – 2014. – Т.40. - №6. – С. 656 661.

Магнитооптика ансамбля наночастиц слабого ферромагнетика α -Fe₂O₃

Петерсон Светлана Александровна

Иванцов Руслан Дмитриевич

Сибирский федеральный университет

Эдельман Ирина Самсоновна

E-mail: svetik.peterson@mail.ru

Гематит, α -Fe₂O₃, относится к наиболее изученным и широко востребованным в технике магнитным материалам. Однако, ввиду высокой оптической плотности этого соединения, его магнитооптические свойства в проходящем свете до сих пор не были изучены. В настоящей работе представлены первые измерения магнитного кругового дихроизма (МКД) и вращения Фарадея (ВФ) в наночастицах α -Fe₂O₃. МКД обусловлен различием поглощения электромагнитных волн, поляризованных по правому и левому кругу относительно направления намагниченности образца, в котором они распространяются. При изменении направления намагниченности на противоположное, знак МКД изменяется. При этом коэффициент преломления изменяется аналогичным образом, что приводит к повороту плоскости поляризации линейно поляризованной волны, то есть ВФ. Это два основных эффекта, наблюдаемых в проходящем свете.

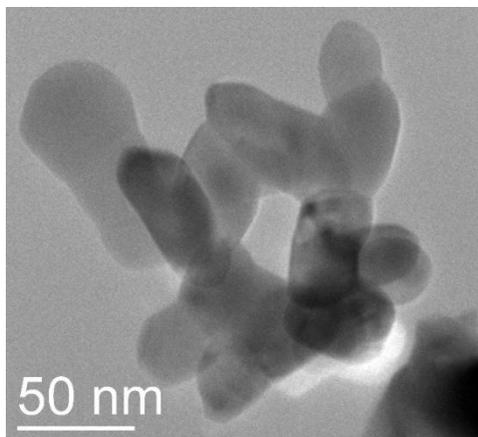


рис.1. Электронно – микроскопическое изображение нанокристаллов α -Fe₂O₃.

Данные рентгеновской дифракции и электронной микроскопии (рис. 1) показали, что наночастицы являются однофазными нанокристаллами α -Fe₂O₃ со средним размером 50 нм. Поэтому полученные результаты, приведенные ниже, можно отнести и к массивным кристаллам гематита.

Для магнитооптических измерений были изготовлены плоскопараллельные прозрачные образцы, содержащие наночастицы. ВФ и МКД измерялись с помощью установок, использующих модуляцию состояния поляризации световой волны. Пластины были помещены между полюсами электромагнита с цилиндрическими отверстиями, через которые проходил луч света, поляризованного по кругу в случае МКД и линейно в случае ВФ. Измерения были выполнены в интервале энергий 1.2-3.2 эВ в магнитном поле до 1.2 Тл при 300 К.

На рис. 2 и 3 показаны спектральные зависимости МКД и ВФ соответственно. Эти спектры содержат ряд максимумов и минимумов. При этом наблюдается соответствие положений экстремумов и точек прохождения эффектов через ноль в области энергий, меньших приблизительно 2.5 эВ, что согласуется с теорией [1]. При более высоких энергиях световой волны в спектре МКД четко выделяется широкий максимум, в то время как ВФ плавно возрастает. Это объясняется тем, что в МКД дают вклад только конкретные электронные переходы, а ВФ обусловлен перекрытием вкладов различных переходов.

При интерпретации магнитооптических спектров рассматривается несколько типов электронных переходов между основным и возбужденными состояниями магнитных ионов, в данном случае трех валентных ионов железа. Перенос электрона с иона Fe³⁺ на один из окружающих ионов O²⁻ происходит в ультрафиолетовой области и характеризуется большой интенсивностью. Длинноволновая ветвь этого перехода дает вклад в ВФ (рис. 3), но связанный с ним МКД в исследованной области спектра уже не виден. Следующие два типа переходов – перенос электрона между ионами Fe³⁺ в соседних магнитных подрешетках и переходы внутри иона Fe³⁺, так называемые d-d переходы, обуславливают наблюдаемые спектры. Последние в случае

свободных ионов Fe^{3+} запрещены правилами отбора по четности и по спину. В кристаллах они частично разрешаются за счет различных взаимодействий между магнитными ионами.

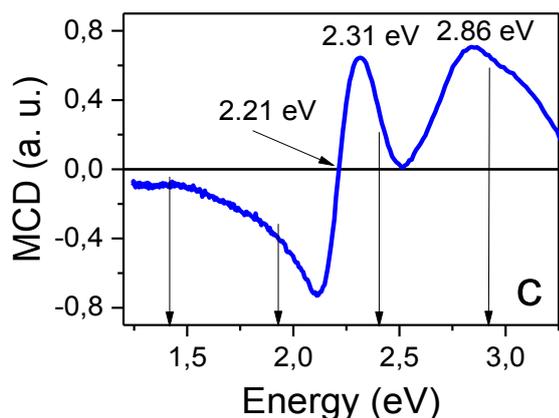


рис. 2. Спектральная зависимость МКД (MCD) ансамбля наночастиц гематита. $H = 1.2$ Тл.

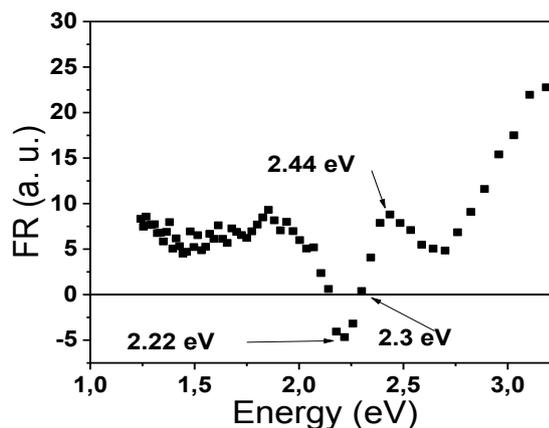


рис. 3. Спектральная зависимость ВФ (FR) ансамбля наночастиц гематита. $H = 1.2$ Тл.

В частности, многие авторы рассматривают так называемые парные переходы, когда оптическое возбуждение происходит одновременно в двух соседних ионах, связанных обменным взаимодействием [2]. Мы предполагаем, что особенности в спектрах МКД и ВФ, наблюдаемые в области 1.9-2.5 эВ, обусловлены такого типа переходом, что объясняет большую величину эффектов. В большинстве магнитных материалов амплитуды максимумов МКД резко уменьшаются при уменьшении энергии световой волны, так в ферритах-гранатах в области выше 2.5 эВ амплитуда максимума МКД достигает 700 см^{-1} , а при меньших энергиях не превышает 100 см^{-1} [3]. В случае гематита во всей исследованной спектральной области амплитуды экстремумов примерно одинаковы, что, по-видимому, связано с особенностями его магнитной структуры. Гематит имеет ромбоэдрическую структуру кристалла корунда, тип его магнитного упорядочения был определен впервые с помощью дифракции нейтронов [4]: магнитные моменты соседних ионов Fe^{3+} направлены антипараллельно и ориентированы вдоль оси c при температурах T ниже 260 К. При $T > 260 \text{ К}$ моменты переориентируются в плоскость, нормальную оси c , и между ними появляется небольшой угол, благодаря чему в этой плоскости возникает результирующий магнитный момент, то есть, возникает слабый ферромагнетизм. В работе детально обсуждается связь магнитных и магнитооптических свойств гематита.

Работа выполнена при финансовой поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках участия в Всероссийской конференции студентов-физиков (ВНКСФ-25).

Список публикаций:

- [1] Старостин Н. В., Феофилов П. П. // УФН. 1969. Т. 97. № 4. С. 621.
- [2] Lu L., Li L., Wang X., Li G. // J. Phys. Chem. B. 2005. Т. 109. С. 17151
- [3] Scott G. B., Lacklison D. E., Ralph H. I., Page J. L. // Phys. Rev. B. 1975. Т. 12. С. 2562.
- [4] Shull C.G., Strauser W.A., Wollan E.O. // Phys. Rev. 1951. Т. 83. С. 333.

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

Пушкарев Илья Александрович

Кулеш Никита Александрович, Болячкин Антон Сергеевич, Васьковский Владимир Олегович

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

Ilya.empire@gmail.com

Пленки с одноосной магнитной анизотропией, ориентированной перпендикулярно плоскости, (перпендикулярной анизотропией) представляют существенный прикладной и фундаментальный интерес благодаря широким возможностям практического применения и спектру наблюдаемых явлений. В частности, пленочные среды с сильной перпендикулярной анизотропией могут быть использованы в качестве носителя информации в элементах магнитной памяти и логики [1,2], а фундаментальный интерес связан с исследованием топологических магнитных структур типа скирмионов [3]. Было показано, что искусственно-созданные

наноразмерные дефекты оказывают значительное влияние на магнитную анизотропию тонких пленок, в том числе на одноосную анизотропию с осью, лежащей вдоль и перпендикулярно плоскости пленки [2], а также могут позволить избежать суперпарамагнитного лимита при уменьшении размера бита за счет наличия перемычек из магнитного материала. Существуют различные методы создания массива дефектов, которые включают литографию с использованием излучения в ультрафиолетовой области или электронного пучка, а также методы на основе самоупорядочения, в том числе использующих шаблоны наноразмерных полистироновых сфер и анодированного алюминия. Использование шаблонов анодированного алюминия является относительно простым и дешевым методом, позволяющим в широких пределах и с высоким уровнем воспроизводимости контролировать размеры получаемых отверстий, однако осаждаемые на него магнитные структуры имеют особенности геометрии, которые в некоторых случаях могут вносить существенные изменения в морфологию пленочной структуры. В данной работе мы рассмотрели процессы перемагничивания пленочных структур с перпендикулярной анизотропией, полученных путем осаждения пленок GdCo на шаблоны анодированного алюминия с хорошо контролируруемыми параметрами, и проанализировали возможное влияние особенностей морфологии пленки, возникающих вблизи отверстий, на их гистерезисные свойства.

Аморфные ферритмагнитные пленки сплава $Gd_{20}Co_{80}$, имеющие состав вблизи магнитной компенсации, толщиной 20 и 30 нм были получены методом магнетронного распыления в присутствии технологического магнитного поля 25 мТл, лежащего в плоскости пленки. Для защиты магнитного слоя от окисления были использованы слои Ta толщиной 5 нм, таким образом финальная структура состояла из трех слоев: Ta/GdCo/Ta. Структурированные пленки с упорядоченными в гексагональную решетку отверстиями были получены с использованием подложек анодированного алюминия [4]. Последние были синтезированы в ходе двойного анодирования в электролите на основе щавелевой кислоты. Средний диаметр отверстий составлял 40 нм, период гексагональной решетки составлял 105 нм. Магнитные свойства полученных образцов анализировались с помощью вибрационного магнетометра и магнитооптического микроскопа. Морфология поверхности образцов анализировалась с помощью атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии.

Для исследования процессов перемагничивания на всех образцах были измерены угловые зависимости гистерезисных свойств и проанализированы петли гистерезиса. Было показано, что как сплошные, так и наноперфорированные пленки являются практически изотропными в плоскости и обладают ярко выраженной перпендикулярной магнитной анизотропией. Угловые зависимости коэрцитивной силы, полученные при изменении угла приложения внешнего поля от нормали к поверхности пленки до направления параллельного плоскости пленки, были аппроксимированы в рамках модели однородного вращения вектора намагниченности (макроспина), модели Кондорского, а также смешанной модели с весовыми коэффициентами. Наилучшего согласия с экспериментом удалось добиться при использовании смешанной модели, причем наличие наноразмерных отверстий привело к увеличению весового коэффициента однородного вращения намагниченности. Для более подробного исследования процессов перемагничивания на локальном уровне, были привлечены результаты микромагнитного моделирования, выполненного в программном пакете OOMMF. Нами были рассмотрены несколько вариантов перфорированной пленочной структуры, в том числе плоская однородная пленка с отверстиями, плоская пленка с наклоном оси магнитной анизотропии вблизи пор и пленка, содержащая проникающие в поры протяженные цилиндрические области. В результате было показано, что последняя модель позволяет добиться наилучшего согласования с экспериментом и позволяет получить наиболее реалистичную форму петли гистерезиса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК-1891.2018.2

Список публикаций:

- [1] Ostwal V., Debashis P. et al., *Sci. Rep.* 8, 16689 (2018).
- [2] Unal A.A., Valencia S., et al. *Phys. Rev. Appl.* 5. 064007 (2016).
- [3] Nagaosa N., Tokura Y. *Nat. Nanotech.* 8, 899 (2013)
- [4] Kulesh N., Vazquez M., et al. *Nanotechnology* 29(6), 065301 (2018)

Раствор-расплавный синтез оксиборатов $\text{Cu}_2\text{Mn}^{3+}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_5$ со структурой людвигита. Исследование структурных и магнитных свойств

Ростовцев Никита Дмитриевич

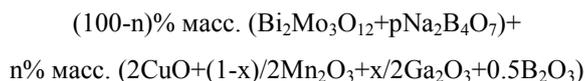
Е.М. Мошкина, А.Ф. Бовина, Е.В. Ерёмин, Л.Н. Безматерных

Сибирский государственный университет им. М.Ф. Решетнева

Nick.romero@bk.ru

Оксибораты со структурой людвигита привлекают значительный за счет своих интересных магнитных и структурных свойств. Изучение таких соединений играет важную роль в фундаментальном аспекте [1]. Эти соединения являются объектами исследований многих ученых по всему миру благодаря ряду интересных свойств: вследствие большого количества магнитных атомов в элементарной ячейке (12), в данных соединениях реализуются сложные магнитные структуры, наличие треугольных групп приводит к появлению фрустраций. Сравнительно недавно, впервые, был синтезирован людвигит Cu_2MnVO_5 , ставший первым гетерометаллическим людвигитом, магнитная структура которого была изучена экспериментально – с помощью метода нейтронной дифракции [1]. Было показано, что магнитная структура этого людвигита не является тривиальной – направление магнитных моментов не совпадает с главными кристаллографическими осями; они попарно антиколлинеарны и их пары расположены под углом 60° по отношению друг к другу. Данный людвигит обладает сильным моноклинным искажением структуры, вследствие присутствия двух Ян-Теллеровских катионов Cu^{2+} и Mn^{3+} , обладает относительно высокой температурой ферромагнитного упорядочения и высоким магнитным моментом [2].

Данная работа посвящена синтезу и исследованию структурных и магнитных свойств людвигитов $\text{Cu}_2\text{Mn}^{3+}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_5$, где часть марганца замещалась немагнитными катионами галлия. Были получены образцы оксиборатов Mn-Ga-Cu людвигитов с разной концентрацией Ga в составе. Для синтеза монокристаллических образцов использовался раствор-расплавный метод. Исследуемая раствор-расплавная система имеет вид:



Концентрация n подбирали по принципу, чтобы температура насыщения раствора-расплава не превышала $940\div 960^\circ\text{C}$, при этом, на стадии растворения и гомогенизации ограничиваемся температурой $1000\div 1050^\circ\text{C}$, что исключает неконтролируемые изменения состава раствора-расплава из-за селективного испарения компонентов. Сплавление осуществлялось в последовательности $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Mn}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-CuO}$. После завершения стадии гомогенизации в раствор-расплав погружался кристаллодержатель, и температура понижалась со скоростью $100\div 120^\circ\text{C}/\text{час}$ до температуры на $5\text{-}7$ градусов ниже температуры насыщения и далее по программе со скоростями $2^\circ\text{C}/\text{сут}$. Через $5\div 7$ суток кристаллодержатель поднимался над раствором-расплавом, и выросшие на нем монокристаллы охлаждались со скоростью $80\div 100^\circ\text{C}/\text{час}$. От остатков раствора-расплава выросшие монокристаллы освобождались травлением в 20% водном растворе азотной кислоты при комнатной температуре.

В результате синтеза получены монокристаллы с концентрациями $x^*=0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3, 0,45$ и 1. Проведены исследования кристаллической структуры синтезированных монокристаллов с помощью порошковой рентгеновской дифракции, определены пространственная группа и параметры решетки.

Были проведены измерения магнитной восприимчивости в полях 500 Э, 1 кЭ и 5 кЭ в температурном интервале 2-300 К трех образцов с $x=0, 0,05, 0,1$. Измерения выполнены при двух ориентациях внешнего магнитного поля относительно кристаллографической a -оси. Проведен анализ полученных результатов. Измерения намагниченности выполнялись в режимах FC (охлаждение в ненулевом магнитном поле) и FH (разогрев образца в ненулевом магнитном поле после охлаждения в поле с таким же значением) при $H=200$ Ое ($H\parallel a$). Можно заметить, как при разной концентрации Ga в составе, фазовый переход происходит при разной температуре, обе кривые соответствуют резкому росту намагниченности, соответствующему фазовому переходу из парамагнитного в магнитоупорядоченное состояние. Вблизи температуры фазового перехода, можно наблюдать, как смещается гистерезис зависимостей FC и FH, причем, чем меньше концентрация Ga, тем петля шире и переход происходит при более высокой температуре. Так же, что при добавлении Ga в состав, его намагниченность описывается иной петлей гистерезиса, чтобы перемагнитить образец, требуется магнитное поле большей силы и само значение намагниченности меньше на четверть. В следствии, при добавлении галлия, образец становится более магнитоужестким.

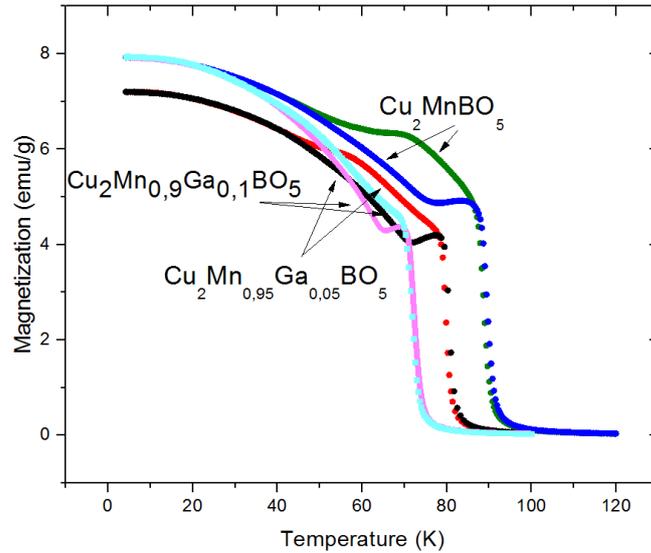


рис.1. Зависимости $M(T)$ при разных концентрациях Ga в составе в поле 200 Oe

Список публикаций:

[1] Evgeniya Moshkina, Clemens Ritter, Evgeniy Eremin, Svetlana Sofronova, Andrey Kartashev, Andrey Dubrovskiy, Leonard Bezmaternykh. Magnetic structure of Cu_2MnBO_5 ludwigite: thermodynamic, magnetic properties and neutron diffraction study // *J. Phys.: Condens. Matter.* - 2017. - V. 29. - P. 245801

[2] S. Sofronova, E. Moshkina, I. Nazarenko, Yu. Seryotkin, S.A. Nepijko, V. Ksenofontov, K. Medjanik, A. Veligzhanin, L. Bezmaternykh. Crystal growth, structure, magnetic properties and theoretical exchange interaction calculations of Cu_2MnBO_5 // *JMMM.* - 2016. - V. 420. - P. 309-316.

Влияние электрического поля на ферромагнитный резонанс в мультиферроике

Саплев Алексей Фёдорович

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

Петров Владимир Михайлович, д.т.н.

Nightroud1991@yandex.ru

Целью данной работы является исследование влияния электрического поля на спектр ферромагнитного резонанса в мультиферроике, состоящем из слоев феррита и пьезоэлектрика. В работе показано, что в несимметричных структурах внешнее электрическое поле может вызывать сдвиг и уширение линий ФМР. В симметричных слоистых структурах наблюдается сдвиг линий без изменения ширины линий.

Воздействие постоянного электрического поля на слой пьезоэлектрика слоистой структуры приводит к возникновению деформации образца, являющейся в общем случае суперпозицией аксиальной и изгибной деформаций. Деформации приводят к появлению неоднородной по толщине магнитной анизотропии в слое феррита и, как следствие, к сдвигу и уширению линий ФМР [1].

Для расчёта изменения магнитной восприимчивости ферритового слоя при приложении внешнего электрического поля необходимо решить уравнение движения намагниченности.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\gamma[M, H_{eff}], \quad (1)$$

где M – намагниченность ферритового слоя.

Эффективное поле H_{eff} определяется соотношением

$$H_{eff} = -\frac{\partial^m W}{\partial M} \quad (2)$$

Плотность свободной энергии феррита ${}^m W$, фигурирующая в выражении (2), включает энергию магнитной анизотропии формы, энергию магнитной кристаллографической анизотропии, а также магнитоупругую энергию, вызываемую упругими напряжениями. Компоненты механических напряжений,

которые входят в выражение для магнитоупругой энергии, создаются внешним электрическим полем. Для нахождения компонентов механических напряжений необходимо использовать уравнения упругости для слоев феррит-пьезоэлектрической структуры. Для учета изгибных деформаций образца слоистой структуры будем считать продольную деформацию слоя i зависящей от вертикальной координаты. Будем считать, что эта

зависимость описывается линейной функцией:
$${}^i S_1 = {}^i S_{10} + \frac{z_i}{R}, \quad (3)$$

где ${}^i S_{10}$ – осевая деформация слоя i в направлении длины образца R радиус кривизны изгиба структуры, вертикальная координата z_i отсчитывается от срединной плоскости слоя [2, 3].

Сдвиг линий ФМР при приложении электрического поля к пьезоэлектрической компоненте определяется средним значением механических напряжений в ферритовом слое. При этом индуцирование изгибных деформаций приводит к уширению линий ФМР.

При рассмотрении трехслойной структуры пьезоэлектрик-феррит-пьезоэлектрик с одинаковыми направлениями поляризации в пьезоэлектрических компонентах следует учесть, что приложение равных по величине и направлению электрических полей к слоям пьезоэлектрика перпендикулярно плоскости слоев приводит к продольным деформациям, при этом изгиб образца отсутствует. В результате наблюдается сдвиг резонансных линий, и уширение линий отсутствует.

Приложение к слоям пьезоэлектрика равных по величине и направлению электрических полей для трехслойной структуры пьезоэлектрик-феррит-пьезоэлектрик с противоположными направлениями поляризации приводит к чистому изгибу образца, при этом продольные деформации срединных линий слоев отсутствуют. В этом случае наблюдается только неоднородное уширение резонансных линий.

В качестве примера, рассмотрено влияние внешнего электрического поля на параметры линии однородной прецессии для слоистой структур состава цирконат-титанат свинца (ЦТС)-ЖИГ-ЦТС с одинаковыми и противоположными направлениями поляризации слоев ЦТС. Результаты расчётов показали, что для структуры с параллельными направлениями поляризации слоев ЦТС приложение электрического поля приводит к сдвигу линии ФМР при отсутствии уширения резонансной линии. Для структуры ЦТС-ЖИГ-ЦТС с противоположными направлениями поляризации слоев ЦТС внешнее электрическое поле приводит только к уширению линии ФМР при отсутствии сдвига резонансной линии, при этом наибольшее уширение линии ФМР наблюдается при отношении толщины ЖИГ к толщине ЦТС, равном 1.5.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании частотно-избирательных устройств СВЧ с электрическим управлением частотой и полосой пропускания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 16-12-10158).

Список публикаций:

- [1] V. Petrov, M. Bichurin, A. Saplev, A. Tatarenko, V. Lobekin., *J. Appl. Phys.* 121, 224103 (2017).
- [2] M.I. Bichurin and V.M. Petrov, *Modeling of Magnetoelectric Effects in Composites. Springer Series in Materials Science, Book 201*(2014).
- [3] M.I. Bichurin, V.M. Petrov, and T.A. Galkina, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 45, 30801 (2009).

Магнитные состояния тригональных магнетиков при учете магнитных инвариантов высших порядков

Селезнев Константин Андреевич

Стругацкий Марк Борисович, Селезнева Кира Андреевна

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Стругацкий М.Б., д.ф.-м.н.

kostya.selez@gmail.com

Целью настоящей работы является определение магнитных состояний тригональных магнетиков при учете инвариантов четвертого порядка в выражении для энергии одноосной магнитокристаллической анизотропии. Рассмотрим такой двухподрешеточный антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом на примере магнитной структуры бората железа FeBO_3 [1]. В этом случае энергия имеет вид:

$$F = \frac{1}{2} E m^2 + D(l_x m_y - l_y m_x) + \frac{1}{2} a l_z^2 + \frac{1}{2} b l_z^4, \quad (1)$$

где E и D – константы обмена и Дзялошинского, a и b – константы одноосной анизотропии второго и четвертого порядка, m и l – приведенные ферромагнитный и антиферромагнитный вектора (векторная сумма и разность подрешеточных намагниченностей, соответственно).

Минимизируя выражение (1) по компонентам вектора m при фиксированном l и представляя последний в сферических координатах, для анизотропной части энергии нетрудно получить:

$$F_{\text{aniso}} = \frac{1}{2} a_{\text{eff}} \cos^2 J + \frac{1}{2} b \cos^4 J, \quad (2)$$

где J – полярный угол вектора l , $a_{\text{eff}} = a + D^2/E$ – эффективная константа одноосной анизотропии.

Найдем ориентацию вектора l в состоянии устойчивого равновесия, соответствующую минимуму выражения (2). Равенство нулю первой производной по углу J дает три критические точки:

- i. $J = 0$ – легкоосный антиферромагнетик – антиферромагнитный вектор лежит по оси третьего порядка, а слабый ферромагнетизм отсутствует.
- ii. $J = \frac{\pi}{2}$ – легкоплоскостной антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом – антиферромагнитный и ферромагнитный вектора лежат в базисной плоскости.
- iii. $J = \arccos\left(\sqrt{-\frac{a_{\text{eff}}}{2b}}\right)$ – антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом – антиферромагнитный и ферромагнитный векторы лежат под углом к базисной плоскости и в ней, соответственно.

В результате анализа знака второй производной в критических точках при различных знаках констант a_{eff} и b , получено:

- при $a_{\text{eff}} > 0$ и $b > 0$ – реализуется состояние (ii)
- при $a_{\text{eff}} < 0$ и $b < 0$ – реализуется состояние (i)
- при $a_{\text{eff}} > 0$ и $b < 0$ – реализуется состояние (i) при $a_{\text{eff}} < -b$, или же состояние (ii) при $a_{\text{eff}} > -b$. Переход из одного в другое происходит как фазовый переход первого рода.
- при $a_{\text{eff}} < 0$ и $b > 0$ – реализуется состояние (i) при $a_{\text{eff}} < -2b$ или же состояние (iii) при $a_{\text{eff}} > -2b$. Переход между этими состояниями реализуется в виде фазового перехода второго рода.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-3200210 «мол_а»).

Список публикаций:

[1] Diehl R., Jantz W., Nolang B.I., Wettling W. // *Current Topics in Materials Science*. 1984. V. 11. P. 241.

Магнитоэлектрический гиратор

Сергеев Иван Сергеевич

Петров Владимир Михайлович

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Владимир Михайлович, д.т.н.

servanser@mail.ru

Магнитоэлектрическая (МЭ) слоистая структура, обладающая гираторными свойствами, имеет преимущества перед схематическим исполнением гиратора, в частности, эта структура может быть использована как отдельный электрический элемент, являющийся недиссипативным преобразователем тока в напряжение в области электромеханического резонанса.

В ходе работы проведены экспериментальные исследования гираторных свойств слоистых структур на основе пьезоэлектрической керамики и магнитострикционных материалов.

Для проведения эксперимента изготавливались лабораторные образцы состава пьезоэлектрическая керамика из цирконата-титаната свинца (ЦТС) - магнитострикционный сплав Метглас, а также образцы состава никель-цинковый феррит-пьезоэлектрик ЦТС - магнитострикционный сплав Метглас.

Для контроля качества изготовленных образцов, была измерена амплитудно-частотная характеристика образцов при помещении его в намагничивающую катушку, подключенную к генератору сигналов. К электродам пьезоэлектрика подключался осциллограф. С помощью магнита создавалось постоянное магнитное поле. На экране осциллографа наблюдалась амплитудно-частотная характеристика гиратора. Полученные данные представлены на рисунке 1.

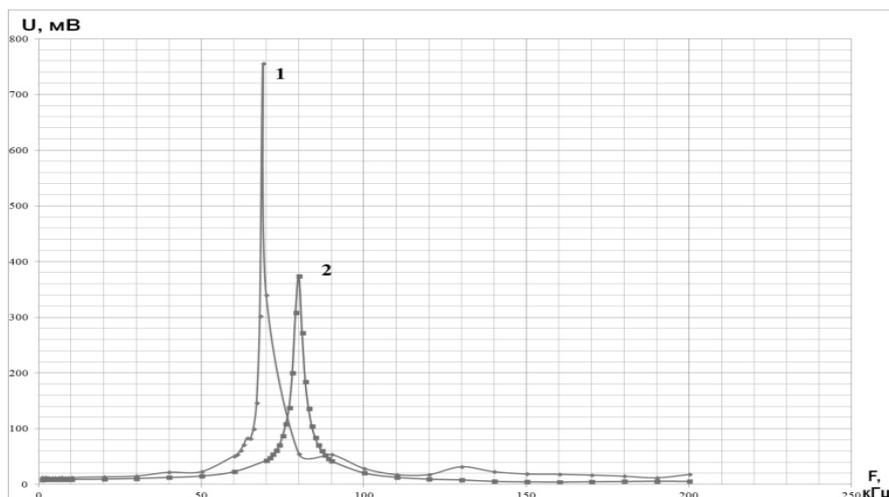


рис.1 Частотная зависимость индуцированного напряжения для слоистой структуры на основе цирконата-титаната свинца и метгласа (1) и для структуры состава никельцинковый феррит- ЦТС-метглас (2)

Рис. 1 позывает, что МЭ эффект существенно возрастает в области ЭМР, при этом максимальное значение индуцированного напряжения амплитудой 1 В и 0.5 В наблюдается на частоте 70 и 80 кГц. Таким образом, изготовленный образец обладает хорошими МЭ свойствами. Ширина резонансной линии равна приблизительно 2 Гц. Для уменьшения погрешности измерений перед каждым измерением на частоте ЭМР находилось резонансное значение выходного напряжения.

Результаты эксперимента по исследованию гираторных свойств слоистых структур представлены на рисунке 2. Гираторные свойства образцов используются для управления входной индуктивностью образца при помощи емкости на выходе.

Для получения пьезомагнитных свойств магнитного слоя используется внешнее подмагничивающее поле. Однако внутреннее постоянное магнитное поле может быть создано путем применения дополнительного слоя ферромагнитного материала. Соответствующий выбор параметров дополнительного магнитного слоя позволяет создавать магнитное поле внутри образца, необходимое для получения максимального пьезомагнитного коэффициента. В таком случае нет необходимости в подмагничивании образца. В данной работе использовалась дополнительная ферритовая компонента, чтобы получить внутреннее подмагничивающее поле в отсутствие внешнего магнитного поля.

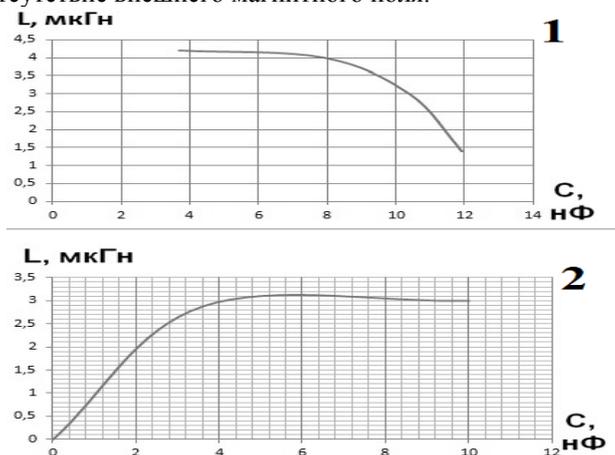


рис.2 Зависимость индуктивности от ёмкости для слоистой структуры на основе цирконата-титаната свинца и метгласа (1) и для структуры состава никельцинковый феррит- ЦТС-метглас (2)

В результате следует отметить, что экспериментальные исследования продемонстрировали гираторные свойства образца, при этом изменение емкости на выходе приводит к изменению значения входной индуктивности. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования управляемых индуктивных элементов на основе МЭ эффекта.

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] Dong S., Zhai J., Li J. F., Viehland D. and Bichurin M. I. // Appl. Phys. Lett, 2006. V. 89, P. 243512.

Исследование влияния термообработки в присутствии паров индия на магнитные свойства пленочных образцов состава типа FINEMET

Фещенко Анастасия Александровна

Степанова Елена Александровна, Михалицына Евгения Александровна

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

Степанова Елена Александровна, к.ф.-м.н.

asynickname@mail.ru

Развитие устройств микроэлектроники и тенденция к их миниатюризации требуют разработки новых функциональных материалов. Среди прочих, тонкие пленки магнитомягких сплавов являются перспективной средой для сенсорных устройств [1]. С целью изменения магнитных свойств пленок проводятся различные термообработки (далее ТО), в том числе ТО в химически активной среде [2-4]. Ранее нами проводились исследования магнитных свойств быстрозакаленных лент аморфного магнитомягкого сплава, прошедших ТО в присутствии паров индия. Данный металл обладает сравнительно низким значением температуры плавления, равным 156,6 С, что позволяет наиболее оптимально подобрать режим ТО без изменения структурного состояния сплава. В предыдущей работе [5] было показано, что для быстрозакаленных лент, прошедших ТО с индием и без него, наблюдаются различия в магнитных свойствах образцов.

Для сравнительного анализа влияния паров индия на магнитные свойства сплава и использования других методов измерения магнитных характеристик, аналогичные термообработки были проведены на образцах двух пленок сплава типа Finemet размерами 4x6 мм² и толщинами 70 и 1000 нм, полученных методом высокочастотного ионно-плазменного напыления. Все образцы были запаяны в стеклянные термостойкие трубки с кусочком индия или без него. Отжиг проводили при температуре 350 °С, скорость нагрева составляла 10 °С/мин, время изотермической выдержки – 240 минут. Как показывают исследования, после ТО все образцы остались в аморфном состоянии. Изучение поверхности пленок методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) показало, что индий не покрывает всю поверхность образца, а распределен по ней хаотичным образом в виде капель.

На вибрационном магнитометре были измерены петли гистерезиса образцов, прошедших ТО. Получено, что присутствие паров индия в процессе ТО большого влияние на объемные магнитные характеристики образцов не оказало.

С помощью магнитооптического микроскопа на основе эффекта Керра были получены магнитооптические петли гистерезиса (показаны на рис. 1) и магнитная доменная структура пленок. В ходе измерения магнитное поле прикладывалось вдоль и перпендикулярно оси легкого намагничивания (далее ОЛН). Тенденция изменения магнитных свойств пленок различной толщины после ТО носит схожий характер. Как видно из рис. 1, отжиг образцов привел к уменьшению наведенной магнитной анизотропии пленок. Наблюдаемое исчезновение магнитной анизотропии может быть связано с особенностями осаждения индия на поверхность пленок в процессе ТО и с внесением дополнительных напряжений.

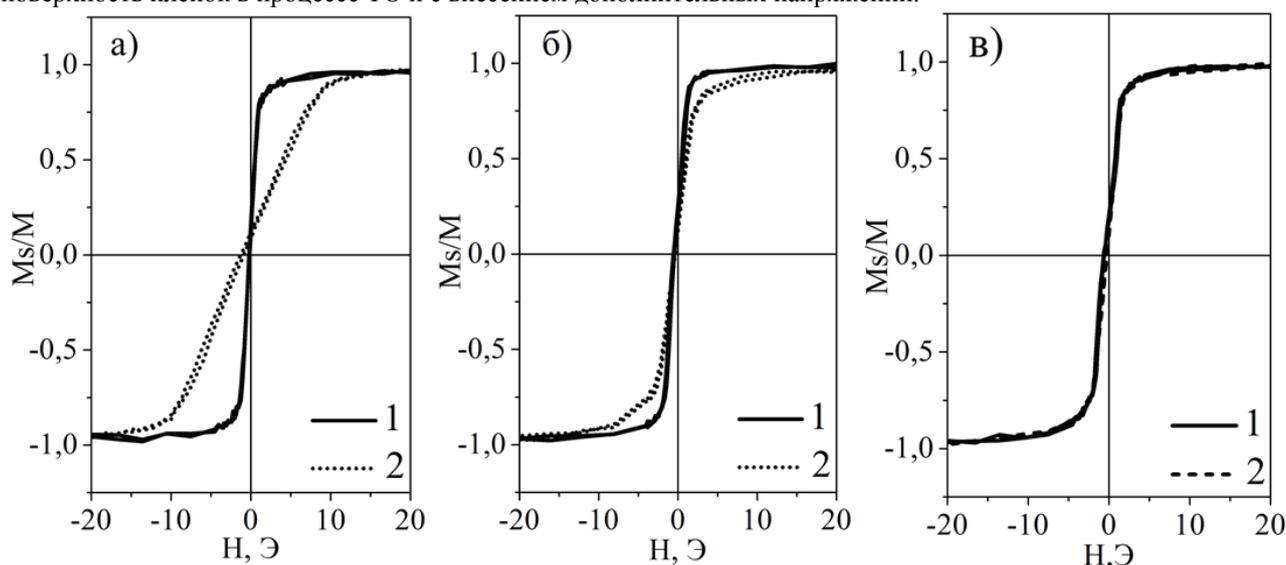


рис 1. Магнитооптические петли гистерезиса образцов толщиной 1000 нм, измеренные при приложении магнитного поля вдоль ОЛН (1) и перпендикулярно ОЛН (2): а) – исходное состояние, б) – образец после ТО, в) – образец после ТО в присутствии индия

Таким образом, в результате проделанной работы можно заключить, что на образцах в виде пленок по сравнению с образцами быстрозакаленных лент возможно проводить более детальное исследование доменной структуры, гистерезисных свойств и топографии поверхности. Также показано, что присутствие индия при ТО приводит к изменению поверхностных магнитных свойств пленочных образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-72-10044

Список публикаций:

- [1] J. Moulin, I. Shahosseini, F. Alves and F. Mazaleyrat, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 21 №7, 074010 (2011)
- [2] I.-L. Velicu, M. Kowalczyk, M. Neagu, V. Ti-ron, H. Chiriac and J. Ferenc, *Materials Science and Engineering*. 178 №19, 1329 (2013)
- [3] A.K. Orlov, O.O. Zhabynska, I.A. Vladymyrskiy, S.M. Voloshko, S.I. Sidorenko, K. Kato, T. Ishikawa. *Thin Solid Films*. 658, 12 (2018)
- [4] T.M. Kuru, A.E. Ozmetin, A. Ozmetin, O. Sahin. *Ceramics International*. 43, 3893 (2017)
- [5] A.A. Feshchenko, E.A. Mikhailitsyna, N.A. Kulesh, E.A. Stepanova, D.S. Neznakhin. *Сборник тезисов докладов конференции РТИ-2019 (в печати)*

Магнитные и резонансные свойства пленок в системе Fe-Bi

Фурдык Виктория Павловна

Сибирский федеральный университет

Патрин Геннадий Семенович

vico4ka@mail.ru

Магнитные наноразмерные слоистые структуры с полуметаллической прослойкой являются слабо изученными объектами и представляют значительный интерес для физики конденсированного состояния. В этом направлении продолжаются работы, как в плане разработки технологии, так и в плане изучения фундаментальных свойств, в частности, влияние интерфейса на магнитные и транспортные свойства.

Были синтезированы пленки Fe/Bi, Bi/Fe, Fe/Bi/Fe и реперная пленка Fe. Толщина железного слоя t_{Fe} составляла около 10 нм. В случае Fe/Bi/Fe пленки были с различной толщиной висмутовой прослойки. При магнитостатических измерениях в двухслойных пленках обнаружена зависимость коэрцитивной силы от очередности нанесения слоев висмута и железа. Спектр магнитного резонанса также зависит от порядка нанесения магнитного и немагнитного слоев и отличается от спектра для реперной пленки номинально чистого железа. Эти результаты связываются с появлением дополнительной магнитной анизотропии на интерфейсе Fe-Bi.

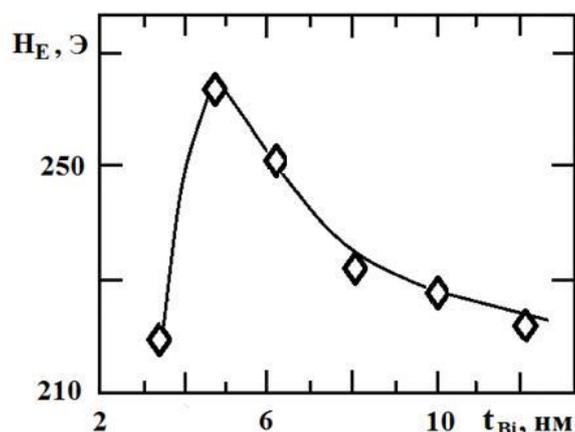


рис. 1 Зависимость обменного смещения H_E от толщины немагнитной прослойки Fe/Bi/Fe при $T=4.2$

В случае трехслойных пленок Fe/Bi/Fe обнаружены зависимость коэрцитивной силы от толщины висмута и эффект обменного смещения, также зависящий от толщины немагнитной прослойки (рис. 1). Температурные зависимости намагниченности, снятые в разных полях также показывают необычное поведение. При охлаждении в слабом магнитном поле и дальнейшем измерении в поле возникает наведенная отрицательная намагниченность. Этот эффект связывается с образованием на интерфейсе сильно анизотропного подслоя, антиферромагнитно связанного со слоем железа и разделенного слоем висмута.

Магнитные и магнитоимпедансные свойства лент модифицированного состава на основе Finemet

Худякова Дарья Михайловна

Волчков Станислав Олегович, Лукшина Вера Анатольевна, Курляндская Галина Владимировна,
Степанова Елена Александровна

Уральский федеральный университет, институт естественных наук и математики

Степанова Елена Александровна, к.ф.-м.н.

Daria.khudiakova@urfu.ru

Сплавы быстрозакалённых аморфных лент на основе Finemet обладают уникальным сочетанием великолепных гистерезисных магнитных свойств с высоким значением индукции насыщения. Они находят широкое применение в областях традиционных для магнитомягких материалов, например, в качестве сердечников малогабаритных трансформаторов и магнитных экранов [1-3]. Известны статьи об исследованиях сплавов различных составов на основе Finemet [4]. Актуальность данной работы заключается в комплексном сравнении квазистатических магнитных характеристик и магнитоимпедансных свойств при модифицировании составов классического Finemet.

В работе проводится исследование модифицированных лент Finemet на основе FeSiBNbCu с одинаковой плотностью $7,7 \text{ г/см}^3$ и температурой кристаллизации ($T_{кр}$) $530 \text{ }^\circ\text{C}$, четырех различных составов:

- Классический – $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ – далее FM
- с замещением части Fe на Ni – $Fe_{63,5}Ni_{10}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ – далее Ni
- с замещением части Fe на Mn – $Fe_{63,5}Mn_{10}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ – далее Mn
- с замещением части Fe на Co – $Fe_{63,5}Co_{10}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ – далее Co

В ходе исследования были измерены кривые намагничивания и петли гистерезиса индукционно-импульсным методом с погрешностью, не превышающей 3%. Частотные и полевые зависимости магнитного импеданса измерялись на анализаторе импеданса Agilent HP e4991A, систематическая погрешность которого не превышает 0,8%. Данные проведенных измерений представлены в таблице и на рисунках 1-2.

Таблица 1 – Значение магнитных характеристик образцов легированных сплавов, определенных по петле гистерезиса

	B_{1000} , Тл	B_r , Тл	H_c , А/м	μ_{max}
FM	1,05	0,6	12,6	41900
Co	1,12	0,28	5,5	17800
Ni	1,06	0,52	5,5	103900
Mn	0,55	0,3	2,4	82100

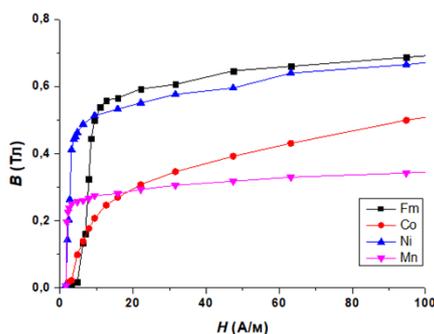


рис. 1 – Кривые намагничивания лент разного состава

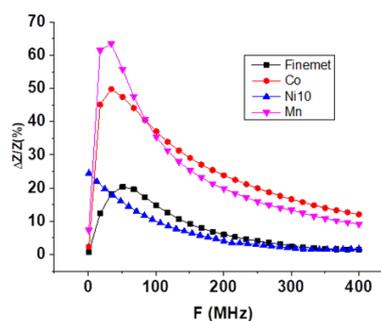


рис. 2 – Частотная зависимость максимального значения относительного изменения импеданса для различных составов лент

Замена 10% железа кобальтом в сплаве FeSiBNbCu приводит к увеличению индукции B в поле $H = 1000$ А/м и уменьшению коэрцитивной силы H_c (табл.1), в то же время наблюдается увеличение значения магнитного импеданса $\Delta Z/Z$ (рис.2). Замена 10% железа никелем приводит к значительному увеличению максимальной магнитной проницаемости μ_{max} , но к уменьшению коэрцитивной силы H_c почти в два раза. Так как у сплава, легированного никелем, очень большое электросопротивление, то явление магнитного импеданса на нем не наблюдается. Вариация состава сплава FeSiBNbCu 10% марганца приводит к существенному снижению значений магнитных характеристик (H_c , B_{1000} и B_r), но к увеличению максимальной магнитной проницаемости в сравнении со сплавом классического состава Finemet, а так же к наибольшему значению магнитного импеданса в сравнении с другими модификациями.

Таким образом, проведен комплекс исследований квазистатических характеристик и магнитоимпедансных свойств. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что наибольший интерес для дальнейших исследований представляют ленты сплава состава $Fe_{63.5}Mn_{10}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$.

Список публикаций:

- [1] N.A. Skulkina, O.A. Ivanov, A.K. Mazeeva, P.A. Kuznetsov, E.A. Stepanova, O.V. Blinova, and E.A. Mikhailitsyna. *Magnetization Processes in Ribbons of Soft Magnetic Amorphous Alloys*, 106, No. 2, 127 (2017)
- [2] J. Petzold. *Applications of nanocrystalline softmagnetic materials for modern electronic devices*, 48, 895 (2003)
- [3] G.V. Kurlyandskaya, N.V. Dmitrieva, A.P. Potapov, V.A. Lukshina, L.M. Voronova, I.V. Gervas'eva, and N.G. Bebenin. *Stress-Anneal-Induced Magnetic Anisotropy in an Amorphous Alloy $Fe_3Co_{67}Cr_3Si_{15}B_{12}$* , 83, No. 5, 487 (1997)
- [4] S. O. Volchkov, E.I. Dukhan, V.V. Gubernatorov, A.P. Potapov, V.A. Lukshina, M.A. Cerdeira, And G.V. Kurlyandskaya. *Magnetic Properties and Giant Magnetic Impedance of Amorphous Ribbons of an FeCoCrSiB Alloy after Small Plastic Deformation*, 106, No. 4, 357 (2008)

Исследование оптических и магнитооптических свойств плазмоннорезонансных наночастиц

Шерпа Анна Владимировна

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Соколов Алексей Эдуардович, к.ф.-м.н.

ann12733283@ya.ru

Интерес в области изучения наноматериалов растет с каждым годом, как с прикладной, так и с фундаментальной точки зрения. Плазмонные наноматериалы на основе серебра и золота представляют собой дисперсии наночастиц, либо твердые пленки металлов с неоднородностью поверхности на нанометровом масштабе. Такие материалы обладают уникальными оптическими свойствами, обусловленными эффектом поверхностного плазмонного резонанса (ППР).

Морфометрические и физико-химические параметры наночастиц благородных металлов сложным образом зависят от большого количества трудно контролируемых параметров. Необходимость управляемого синтеза наночастиц с заданными свойствами обусловлена сильным влиянием размеров, форм и структуры металлических наночастиц и их агрегатов на оптические свойства образуемых ими систем. Многие тонкости технологии синтеза наночастиц носят эмпирический характер, и только некоторые процессы могут быть строго алгоритмизированы.

В работе исследовались оптические и магнитооптические свойства коллоидных растворов золота и серебра, со средним размером наночастиц около 6 нм, полученных химическим синтезом. Спектры поглощения снимались на дихрографе СКД-2МУФ с оптическим разрешением 3 нм. Спектры магнитного кругового дихроизма (МКД) измерялись на установке для спектрополяриметрических исследований, разработанной в институте физике им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН. В спектрах поглощения коллоидных растворов наблюдаются пики в районе 400 нм для Ag и в районе 520 нм для Au, что в литературе сопоставляется с поверхностным плазмоном в наночастицах.

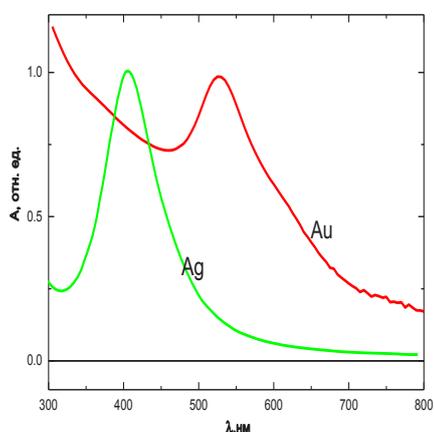


рис. 1. Нормализованные спектры поглощения Ag и Au.

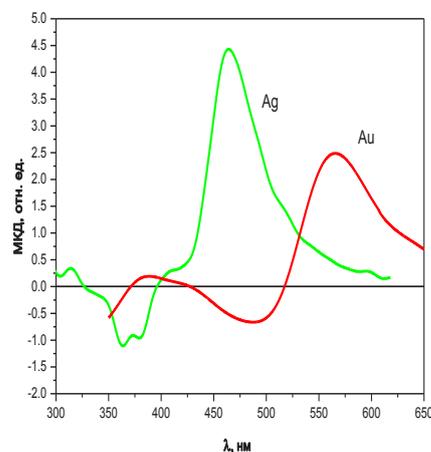


рис. 2. Спектры МКД коллоидных растворов Ag и Au.

На спектрах МКД для обоих материалов наблюдается S-образная зависимость спектра, а не симметричность ее говорит о выраженной парамагнитной зависимости. Точка перехода S-образной кривой фактически совпадает с положением поверхностного плазмонного резонанса. Механизм возникновения магнетизма в плазмоннорезонансных наночастицах в настоящее время до конца не объяснен и требует дальнейшего изучения.

Применение интегро-дифференциальных уравнений к моделированию электромагнитного поля вихревых токов

Шуйский Александр Александрович

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

Филиппов Дмитрий Максимович, к.т.н.

a.a.shuiskii@gmail.com

Целью настоящей работы является разработка математической модели в рамках метода вторичных источников для расчета электромагнитного поля вблизи поверхности объекта контроля (ОК), содержащего дефект, для задач магнитооптической (МО) вихретоковой (ВТ) дефектоскопии [1]. В работе [2] было показано, что применение метода коллокаций (МК), стандартного метода решения интегральных уравнений, для случая образца с дефектом некорректно. В связи с вышесказанным, в настоящей работе была разработана новая численная модель, обладающая высокой вычислительной эффективностью по сравнению с МК.

Рассмотрим проводящее неферромагнитное тело в форме параллелепипеда с проводимостью γ , содержащее дефект в виде области нулевой проводимости, расположенное во внешнем переменном электромагнитном поле. Предложенная в настоящей работе численная модель имеет вид [2]:

$$\sigma_{k,i}^{(s)} - \frac{1}{2\pi\Delta S_k} \sum_{m=1}^{N_S} \sigma_{m,i}^{(s)} \int_{\Delta S_k} \int_{\Delta S_m} \frac{(\vec{r}_{PQ}, \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^3} dS_P dS_Q = -\frac{\varepsilon_0 \mu_0}{2\pi\Delta S_k} \sum_{m=1}^{N_V} \frac{\partial \vec{\delta}_{m,i}^{(s-1)}}{\partial t} \int_{\Delta S_k} \int_{\Delta V_m} \frac{\vec{n}_Q dV_N dS_Q}{r_{QN}} -$$

$$-\frac{2\varepsilon_0}{\Delta S_k} \int_{\Delta S_k} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{A}_0(Q, t_i), \vec{n}_Q) dS_Q, \quad k=1, 2, \dots, N_S-1, \quad i=1, 2, \dots, N_T, \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{N_S} \sigma_{k,i}^{(s)} \Delta S_k = q(t_i), \quad i=1, 2, \dots, N_T; \quad (2)$$

$$\vec{\delta}_{k,i}^{(s)} = -\frac{\gamma \mu_0}{4\pi} \sum_{m=1}^{N_V} \frac{\partial \vec{\delta}_{m,i}^{(s-1)}}{\partial t} \int_{\Delta V_m} \frac{dV_N}{r_{MN}} + \frac{\gamma}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{m=1}^{N_S} \sigma_{m,i}^{(s)} \int_{\Delta S_m} \frac{\vec{r}_{PM}}{r_{PM}^3} dS_P -$$

$$-\gamma \partial \vec{A}_0(M_k, t_i) / \partial t, \quad k=1, 2, \dots, N_V, \quad i=1, 2, \dots, N_T. \quad (3)$$

где $\vec{\delta}(M, t)$ – мгновенное значение вектора плотности вихревых токов в точке M объема V проводника; $\sigma(Q, t)$ – мгновенное значение плотности заряда в точке Q поверхности S проводника; ε_0 – электрическая постоянная; μ_0 – магнитная постоянная; \vec{r} – радиус-вектор между двумя указанными точками; \vec{n}_Q – единичная внешняя нормаль в точке $Q \in S$; \vec{A}_0 – векторный потенциал свободных источников; N_V ; N_S ; N_T – число разбиений объема V , поверхности S , временного периода тока индуктора T ; индекс s в скобках означает номер итерации в методе последовательных приближений.

Система уравнений (1) – (3) получена из граничного условия, записанного в интегральной форме, что позволяет выполнить граничное условие на каждом элементе разбиения в среднем. В качестве примера моделирования приведем график распределения напряженности магнитного поля над дефектом вида сквозной щели толщиной 40 мкм между двумя проводниками (рис.1).

Представленное выше распределение поля (рис.1), а также распределения поля для других моментов времени согласуются с экспериментальными данными [3]. Метод коллокаций при сколь угодно большой степени разбиения расчетной сетки не дает подобного совпадения с экспериментом.

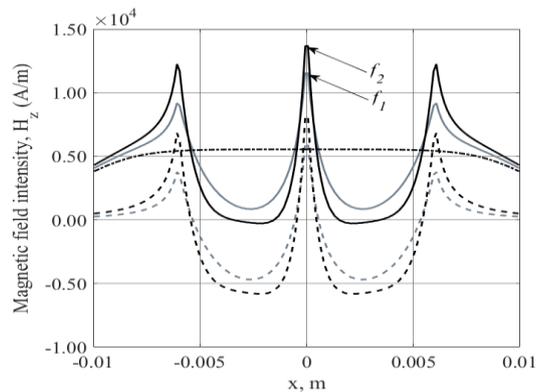


рис.1. Распределение z -компоненты напряженности магнитного поля над поверхностью ОК в момент времени $t = -T/4$ ($f_1 = 20$ кГц, $f_2 = 60$ кГц). Здесь: пунктир с точкой – поле индуктора; пунктир – поле вихревых токов; сплошная линия – результирующее поле.

Выводы. В данной работе разработана математическая модель для расчета электромагнитного поля вблизи поверхности ОК применительно к задачам МО ВТ дефектоскопии. Применение полученной теоретической модели позволяет на основании строго математического аппарата обосновать метод вихревой дефектоскопии и оптимизировать методику обнаружения дефектов.

Исследование выполнено в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта №ВГ11/2018».

Список публикаций:

- [1] Berzhansky V.N. Investigation of welds by the method of magneto-optical eddy current flaw detection / V.N. Berzhansky, N.V. Lugovskoy, D.M. Filippov, A.R. Prokopov, A.A. Shuyskiy // EPJ Web of Conferences 185, 02014 (2018).
- [2] Dmitriy M. Filippov and Alexandr A. Shuyskiy, "Improving Efficiency of the Secondary Sources Method for Modeling of the Three-Dimensional Electromagnetic Field", Progress In Electromagnetics Research M, 78, 19–27, (2019).
- [3] Филиппов Д.М. Математическое моделирование магнитных полей рассеяния на дефектах в проводниках / Д.М. Филиппов, В.Н. Бержанский, А.А. Шуйский, Н.В. Луговской // Материалы: XXVI Международная конференция «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)», 735–751, (2018).

Эффект Фарадея поликристаллических тонких пленок Со-Р

Шульга Карина Вячеславовна

Сибирский федеральный университет

Соколов Алексей Эдуардович

tabakaewa-karina@mail.ru

В современном мире возрастает интерес к наномангнитным материалам, в том числе и к тонким магнитным пленкам Со-Р. Данные пленки применяются для магнитной [1] и термомагнитной записи [2], на их основе разрабатываются конструкции разных управляемых устройств в диапазоне сверхвысоких частот.

В современных жестких дисках процесс записи и считывания информации основывается на взаимодействии магнитных головок с пластинами, на поверхности которых имеется магнитоактивный слой. В качестве такого магнитоактивного слоя могут служить покрытия, полученные путем осаждения кобальта на металлических и каталитически неактивных материалах.

Добавка фосфора различной концентрации приводит к кардинальному изменению структурных состояний сплава Со-Р от поликристаллического до аморфного. Это позволяет управлять магнитными свойствами сплава и создавать на его основе многослойные структуры с магнитными слоями, значительно отличающимися величиной коэрцитивной силы. Многослойные пленки являются базовыми элементами в спин-вентильных структурах [3], в которых имеется поляризующий слой с большой коэрцитивной силой и управляющий – с малой ее величиной.

В настоящее время представляются интересными пленки толщиной в несколько нанометров или в несколько ангстрем (Å). Особенности магнитооптических и оптических свойств поликристаллических пленок Со-Р толщиной в несколько нанометров в значительной степени определяются толщиной, что указывает на то, что магнитооптическая активность регулируется различными механизмами [4,5].

Электрические и оптические свойства металлических стекол Co-P подробно изучены [6], также как и Эффект Керра [7]. В связи с чем представляется интересным изучение Эффекта Фарадея (ЭФ) поликристаллических тонких пленок Co-P.

Спектральные кривые поликристаллических образцов пленок Co-P (рис.1) для 4, 5, 8 образцов имеют идентичную форму, а также для них наблюдается максимальная величина эффекта в относительных единицах в области энергий около 4 эВ. По форме спектров, в данном случае, сложно предположить какой вклад в эффект является преобладающим.

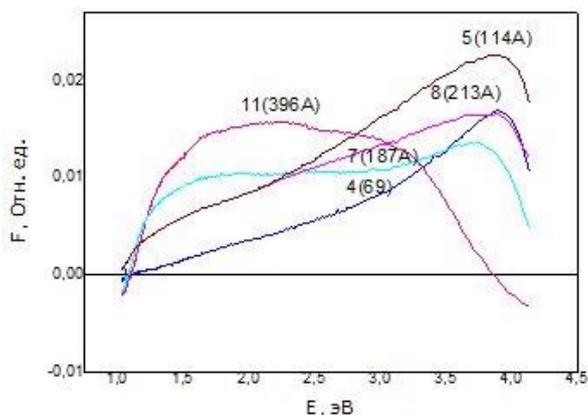


рис. 1 - Спектры ЭФ поликристаллических пленок Co-P при комнатной температуре в поле 13 кЭ

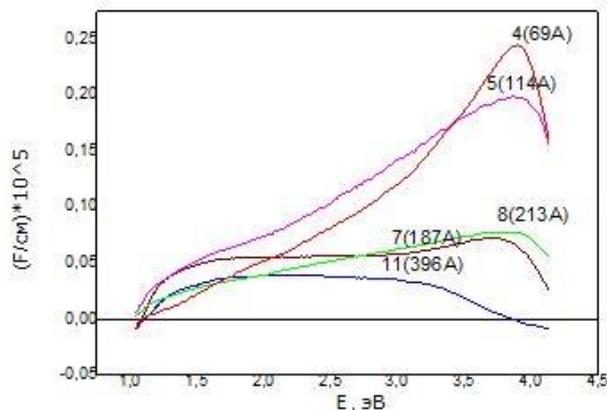


рис. 2 - Спектры ЭФ приведенные к толщинам поликристаллических пленок Co-P при комнатной температуре в поле 13 кЭ

Таким образом, можно сделать вывод о том, что величина эффекта Фарадея в относительных единицах возрастает с увеличением толщины пленки приблизительно до 200 Å, существует предположение, что выше данной толщины наступает магнитооптическое насыщение.

Список публикаций:

- [1] Подгорная, Е. А. *Современные методы магнитной записи сигналов: учебное пособие* / Е. А. Подгорная ; Санкт – Петербургский государственный университет – Санкт – Петербург, 2010. – 64 с.
- [2] Рандошкин В. В., Червоненкис А. Я. *Прикладная магнитооптика* // Энергоиздат, Москва. 1990. С. 16-19.
- [3] Ким, П. Д. *Исследование процессов перемагничивания магнитомягких и магнито жестких слоев в спин-вентильных структурах* / П. Д. Ким, Г. С. Патрин, Д. А. Маруценко, Т. В. Руденко // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Математика и физика». – 2012. – Т. 5. – №. 2. – С. 196-204.
- [4] Буркова Л.В., Чжан А.В., Соколов А.Э., Косырев Н.Н., Табакаева К.В., Патрин Г.С. *Магнитооптические и оптические свойства поликристаллических пленок CO-P в области нанотолщин.* // Известия РАН. Серия физическая – 2016. – Т.80(11). – С.1480 – 1482
- [5] Л.В. Буркова, А.В. Чжан, А.Э. Соколов, Н.Н. Косырев, К.В. Табакаева, Г.С. Патрин, *Магнитооптические и оптические свойства поликристаллических пленок Co-P в области нанотолщин.* // Восемнадцатый междисциплинарный, международный симпозиум "Упорядочение в минералах и сплавах (ОМА -18)", 10-15 сентября 2015 г. Ростов-на-Дону – п. Южный, с. 279-281
- [6] Rivory, J. *Electrical and optical properties of CoP metallic glasses* / J. Rivory, B. Bouchet // Journal of Physics F: Metal Physics. – 1979. – Т. 9, №. 2. – С. 327–335.
- [7] Чжан, А. В. *Магнитные и магнитооптические свойства поликристаллических пленок Co-P в области нанотолщин.* / А. В. Чжан, Г. С. Патрин, С. Я. Кипарисов, В. А. Середкин // Известия РАН. серия физическая. – 2012. – Т. 76, № 2. – С. 205–207.

Влияние биквадратичного обменного взаимодействия на фазовые состояния сильно анизотропного антиферромагнетика

Ярыгина Екатерина Александровна

Клевец Филипп Николаевич, Матюнина Яна Юрьевна, Фридман Юрий Анатольевич

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

Клевец Филипп Николаевич, д.ф.-м.н.

yarigina.kate@yandex.ru

В общем случае изотропное обменное взаимодействие для магнетика со спином $S > 1/2$ не ограничивается билинейным обменным взаимодействием, а может включать высшие инварианты типа $(\vec{S}_1, \vec{S}_2)^n$ со значениями n до $2S$, где S – величина спина магнитного иона. Влияние биквадратичного взаимодействия приводит к реализации спиновых структур тензорного типа, называемых спиновые нематики. В таких фазах наблюдаются особенности основного состояния и спектральных свойств системы, и их изучение представляет фундаментальный интерес в физике магнетизма.

Целью данной работы является исследование фазовых состояний и динамических свойств легкоплоскостного сильно анизотропного негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона $S = 1$, предполагающего возможность разбиения на две подрешетки.

Было установлено, что в системе в зависимости от соотношения материальных параметров реализуются четыре стабильные фазы: ферромагнитная (FM), антиферромагнитная (AFM), нематическая (N) и ортогонально-нематическая (ON). Учет влияния легкоплоскостной одноионной анизотропии на фазовые переходы в двухподрешеточном магнетике приводит к «снятию вырождения» фазовых переходов первого рода, т.е. в системе реализуются четыре фазовых перехода первого рода с областями сосуществования фаз, вместо четырех «вырожденных» фазовых переходов первого рода [1]. Были найдены соотношения между материальными параметрами системы, при которых происходят фазовые переходы, и построена фазовая диаграмма рассмотренной системы (рис. 1).

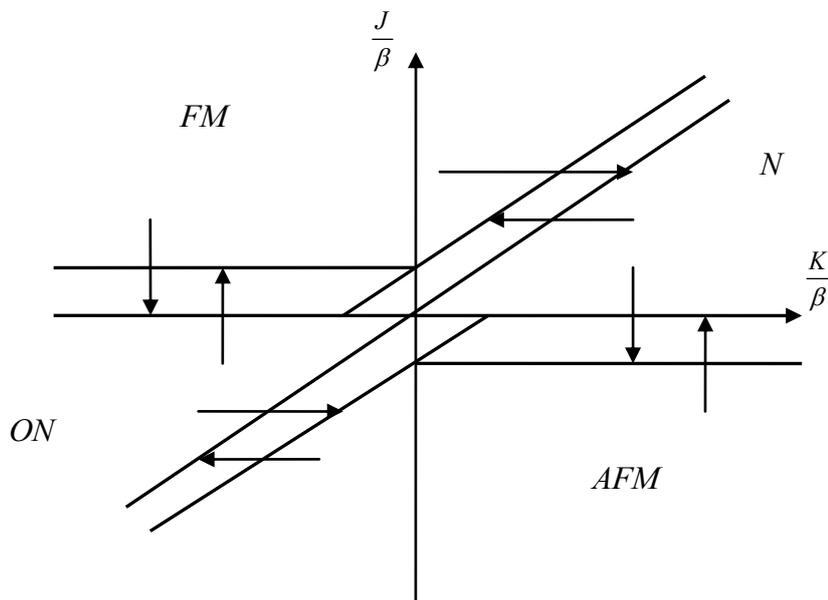


рис.1 Фазовая диаграмма системы при малых значениях одноионной анизотропии.

Учет большой одноионной анизотропии (сравнимой или превосходящей константы обменных взаимодействий) приводит к реализации дополнительного, пятого, фазового состояния – квадрупольной фазы.

Список публикаций:

[1] Fridman Yu.A., Kosmachev O.A., and Klevets Ph.N. // JMMM. 2013. Vol. 325. P. 125.

9 - Оптика и спектроскопия

Акимова Яна Евгеньевна, аспирант 1 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, физико-технический институт
Измерение амплитуд и фаз в массивах сингулярных пучков с помощью моментов интенсивности
Воляр Александр Владимирович, д.ф.-м.н.
e-mail: yana_akimova_1994@mail.ru стр. 236

Алиева Селиме Сейрановна, магистрант 1 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Распространение оптических вихрей в кольцевых волоконных резонаторах
Алексеев Константин Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: selime_alieva@bk.ru стр. 237

Бочарникова Елена Николаевна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Экспериментальное и теоретическое исследование Кристаллического Фиолетового
Чайковская Ольга Николаевна, д.ф.-м.н.
e-mail: bocharnkova.2010@mail.ru стр. 238

Брецько Михаил Владимирович, аспирант 1 года обучения
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 стр. 239

Веселый Иван Андреевич, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий
Повышение эффективности возбуждения CuVg лазера за счет модификации разрядного контура
Тригуб Максим Викторович, к.т.н.
e-mail: ivanveselij@ya.ru *Тезисы не публикуются по причине нарушения правил конференции*

Викулин Дмитрий Вячеславович, магистрант 2 года обучения
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: vikulindmitriy@mail.ru стр. 241

Дудник Дмитрий Игоревич, магистрант 1 года обучения
Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, радиотехнический
Голографическое формирование многослойных неоднородных дифракционных структур в ФПМ в условиях фотоиндуцированного изменения поглощения
Шарангович Сергей Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: drinza10@gmail.com стр. 242

Зеневич Сергей Геннадьевич, аспирант 2 года обучения
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 стр. 243

Короткова Мария Анатольевна, 5 курс
Волгоград, Волгоградский государственный университет, математики и информационных технологий
Исследование растворов аскорбиновой кислоты методом лазерной поляриметрии
Куценко Светлана Анатольевна, к.ф.-м.н.
e-mail: MariyaKorotkovaSTUDENT2014@yandex.ru стр. 244

Костиков Денис Андреевич, 3 курс
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 стр. 245

Лобова Ирина Александровна, магистрант
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Объективные линзы для рентгеновского микроскопа с энергией фотонов 15 – 35 кэВ
Резникова Елена Федоровна, к.х.н.
e-mail: irina.lobova.ff@mail.ru стр. 247

Мещеринов Вячеслав Вячеславович, аспирант 2 года обучения
Москва, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), проблем физики и энергетики
Разработка гетеродинного спектрометра среднего ИК-диапазона для исследования планетных атмосфер HISPAR
Родин Александр Вячеславович, к.ф.-м.н.
e-mail: meshcherinov@phystech.edu стр. 248

Неустроева Арина Андреевна, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Моделирование хода лучей синхротронного излучения при тестировании рентгеновских преломляющих линз
Резникова Елена Федоровна, к.х.н.
e-mail: chizario@gmail.com стр. 250

Петрова Ольга Викторовна, м.н.с.
Сыктывкар, Федеральный исследовательский центр `Коми научный центр`, физико-математический институт
Расчет степени линейной поляризации синхротронного излучения на выходе канала RGLB BESSY II
e-mail: teiou@mail.ru стр. 251

Самойлова Мария Алексеевна, м.н.с.
Екатеринбург, Институт металлургии УрО РАН, лаборатория физической химии
Электронные спектры ионов Er(III) и Tm(III) в боратах
Хохряков Александр Александрович, д.х.н.
e-mail: el.ens.2017@yandex.ru стр. 252

Суржикова Дарья Павловна, 4 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, нанотехнологии и микросистемная техника
Метод синхронного сканирования в диагностике флуоресцирующих состояний протолитических форм флуоресцина
Слюсарева Евгения Алексеевна, д.ф.-м.н.
e-mail: darya19578@yandex.ru стр. 254

Титова Татьяна Юрьевна, доцент
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Флуоресценция лаурдана в водно-мицеллярных растворах
e-mail: tatyana.yu.titova@gmail.com стр. 255

Усольцев Олег Андреевич, аспирант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный научный центр РАН, МИЦ `Интеллектуальные материалы`
Применение машинного обучения в operando XANES спектроскопии на примере нанокатализаторов Pd
Бугаев Арам Лусегенович, к.ф.-м.н.
e-mail: oleg-usol@yandex.ru стр. 257

Чжан Фанцэ , аспирант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ИШФВП
Исследование Фурье-спектра высокого разрешения молекулы H₂S в районе второй гексады
Улеников Олег Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: 1946529618@qq.com стр. 258

Щербакова Виктория Александровна, магистрант 1 года обучения
Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, физический
Разработка термочувствительного волоконно-оптического рассеивателя излучения для фотодинамической терапии
Вольхин Игорь Львович, к.ф.-м.н.
e-mail: scherbackova.vict@mail.ru стр. 260

Якимова Ксения Валерьевна, 4 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, физический
Создание базы рамановских спектров различных типов пластиков.
Мосунов Андрей Алексеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: yakimova.kseniya1997@gmail.com стр. 261

Ярошенко Виталий Витальевич, аспирант 1 года обучения
Санкт-Петербург, Университет информационных технологий, механики и оптики, физико-технический
Микроволновая антенна для когерентного управления ансамбля NV-центров в алмазе
e-mail: v.yaroshenko@metalab.ifmo.ru стр. 263

Измерение амплитуд и фаз в массивах сингулярных пучков с помощью моментов интенсивности

Акимова Яна Евгеньевна
Брецько Михаил Владимирович

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
 Воляр Александр Владимирович
[yana_akimova_1994@mail.ru](mailto: yana_akimova_1994@mail.ru)

Среди множества первостепенных проблем современной сингулярной оптики ключевым направлением исследований является формирование сложных сингулярных пучков, их разделение на парциальные вихревые пучки, измерение орбитального углового момента (ОУМ) и спектра оптических вихрей [1]. Эти исследования находят отражение в ряде прикладных задач, например, в системах уплотненной передачи информации через многомодовые оптические волокна [2].

Целью работы является экспериментальное измерение основных характеристик (квадрата амплитуд и начальной фазы) комбинированного сингулярного пучка, формирующегося с помощью голографической амплитудной решётки [3].

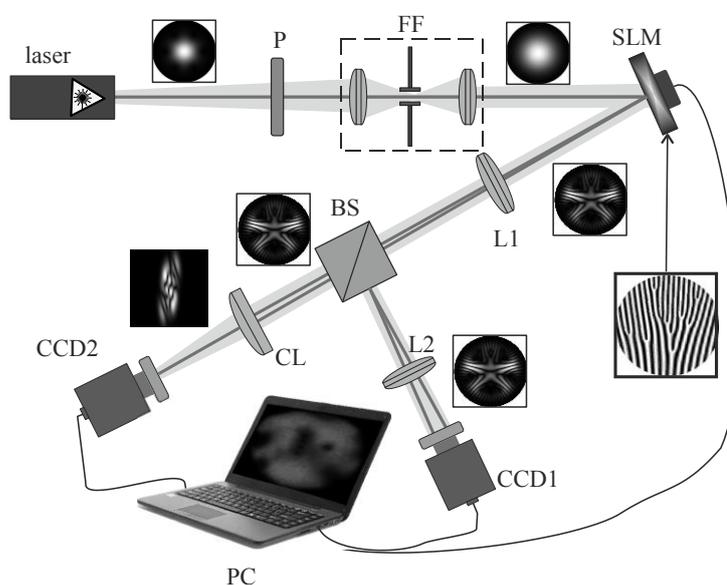


рис. 1. Экспериментальная установка для измерения спектра вихрей и ОУМ массива сингулярных пучков. *P* – поляризатор, *FF* – пространственный фильтр, *SLM* – пространственный модулятор пучка, *L1*, *L2* – сферические линзы с фокальным расстоянием, *BS* – делительная призма, *CL* – цилиндрическая линза с фокальным расстоянием, *CCD1,2* – CCD камеры

Представленный новый метод измерения спектра оптических вихрей основывается на регистрации моментов интенсивности высших порядков светового пучка в целом без разрушения его внутренней структуры. За основу комбинированного пучка с массивом оптических вихрей выбрана модель лазерного пучка Лагерра-Гаусса ($LG_{n=0}^m$) в плоскости перетяжки $z = 0$. Комплексная амплитуда данного пучка в некоторой плоскости, перпендикулярной оптической оси z , описывается выражением

$$\Psi(r, \varphi, z = 0) = \sum_{m=-N}^N C_m LG_{n=0}^m = \sum_{m=-N}^N \frac{C_m r^{|m|} \exp(im\varphi + \beta_m) G(r)}{N_m}, \quad (1)$$

где $G = \exp(-r^2)$ – функция Гаусса, φ – азимутальный угол, $r = \sqrt{x^2 + y^2} / w_0$ – нормированная радиальная координата, $N_m = \sqrt{2^{-m-1} m! \pi}$ – нормировочный множитель, C_m и β_m – амплитуды и начальные фазы парциальных пучков.

Для оценки погрешности измерений использовалась функция корреляции между исходным распределением интенсивности $\mathfrak{I}_{th}(x, y)$ и экспериментальными значениями $\mathfrak{I}_{ex}(x, y)$. Полученные результаты степени корреляции располагаются в интервале $\eta = 0.83 \div 0.91$, что указывает на хорошее согласование теории и эксперимента.

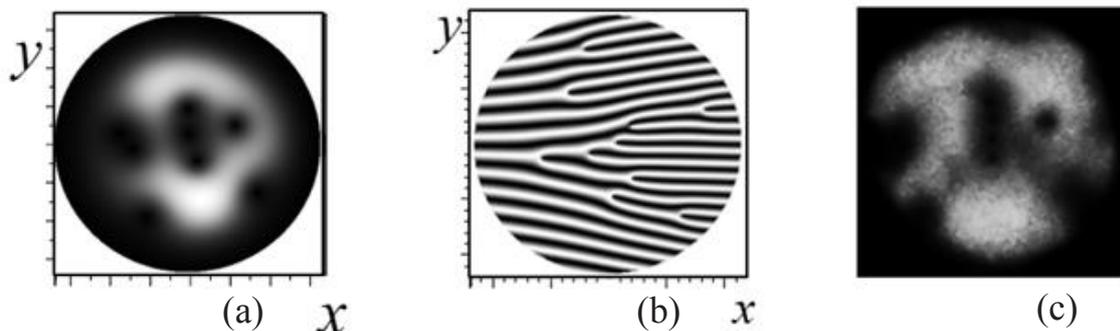


рис.2. Типичное теоретическое (a) и экспериментальное (c) распределение интенсивности $\mathfrak{I}(r, \varphi)$ на входном окне CCD1 камеры для массива из $N=10$ пучков и (b) соответствующая голографическая решетка на SLM модуляторе

Таким образом, мы разработали основы метода измерения спектрального состава вихрей в сложных невырожденных комбинированных сингулярных пучках, который основан на регистрации моментов интенсивности $J_{p,q}$ в плоскости перетяжки. При этом световой пучок не подвергается каким-либо преобразованиям, разрушающим структуру волнового фронта

Список публикаций:

[1]. G.J. Gbur. *Singular optics*. CRC Press, New York, 2017.

[2]. *Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements*, Soifer, V.A., Ed., New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

[3]. *Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition* Jan Flusser, Tomáš Suk and Barbara Zitová, A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, 2009

Распространение оптических вихрей в кольцевых волоконных резонаторах

Алиева Селиме Сейрановна

Алексеев Константин Николаевич

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Алексеев Константин Николаевич д.ф.-м.н.

selime_alieva@bk.ru

Введение. В настоящее время отмечается всплеск интереса к проблемам, связанным с распространением ОВ в оптических волокнах. Это обусловлено применением ОВ в информационных технологиях в качестве носителей информации, закодированной на ОУМ[1]. При передаче информации необходимы волоконные устройства для управления параметрами оптических вихрей.

В качестве таких устройств могут использоваться всевозможные оптические резонаторы. Одним из таких типов оптических резонаторов является кольцевой волоконный резонатор.

Было установлено, что кольцевые резонаторы обладают многими полезными свойствами. Их главное применение связано с областью телекоммуникаций в оптических линиях задержки. Кольцевые резонаторы широко используются в нанотехнологиях[2]. Они являются важным элементом многих интегрированных оптических схем. Микрокольцевые резонаторы могут применяться при детектировании оптических вихрей. На микрокольцевых резонаторах могут основываться частотные фильтры.

Однако, все эти исследования были ограничены изучением распространения фундаментальной моды. При этом вопрос о распространении волоконных мод высших порядков в таких системах не поднимался. Естественно исследовать распространение мод высших порядков в кольцевом резонаторе.

Цель. Изучить распространение оптических вихрей и других мод высшего порядка в кольцевом оптическом резонаторе на многомодовых оптических волокнах.

Результаты исследований. Рассмотрено распространение электромагнитного поля в волоконном кольцевом резонаторе на базе многомодовых волокон. Изучено прохождение оптических вихрей через кольцевой волоконный резонатор. Был продемонстрирован эффект инверсии знака топологического заряда оптических вихрей при изменении параметров резонатора[3]. Подобный эффект обладает сверхвысокой чувствительностью к изменению параметров резонатора и может быть использован при проектировании

волоконно-оптических датчиков, основанных на детектировании топологического заряда поля. Продемонстрировано управление ТЗ ОВ в КР посредством изменения его параметров. Также была доказана возможность генерирования ОВ из регулярных пучков в КР.

Список публикаций:

[1] Bozinovic N. Terabit-scale orbital angular momentum mode division multiplexing in fibers / N. Bozinovic, Y. Yue, Y. Ren, M. Tur, P. Kristensen, H. Huang, A. E. Willner, S. Ramachandran // *Science*. – 2013. – V. 340. – P. 1545-1548.

[2] Sumetsky M. Delay of light in an optical Bottle resonator with nanoscale radius variation: dispersionless, broadband, and low loss / M. Sumetsky // *Phys. Rev. Lett.* – 2013. – V. 111. – P. 163901.

[3] Alexeyev C.N. Inversion of the topological charge of optical vortices in a coil fiber resonator / C.N. Alexeyev, A.V. Milodan, M. C. Alexeyeva, and M. A. Yavorsky // *Opt. Lett.* – 2016. – V. 41. – P. 1526-1529.

Экспериментальное и теоретическое исследование Кристаллического Фиолетового

Бочарникова Елена Николаевна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Чайковская Ольга Николаевна

bocharnikova.2010@mail.ru

Кристаллический фиолетовый (CV или Crystal Violet) – это основной цитохимический краситель (в медицинском сообществе он является активным ингредиентом окраски Грэма и используется в качестве бактериостатического агента); широко используется в бумажной, текстильной, пищевой и фармацевтической промышленности. Около 40000–50000 тонн в год красителей постоянно попадают в водные системы из-за неправильных методов обработки и окрашивания в этих отраслях. Цветовые стоки, сбрасываемые из отраслей по производству красителей, представляют собой серьезную проблему, так как цветовые стоки не только ухудшают эстетическую ценность водных объектов, но и мешают проникновению света в воду, что приводит к нарушениям в водной экосистеме. Красители трудно обесцвечивать из-за их сложной структуры, так как содержат ароматические кольца, которые делают их мутагенными и канцерогенными. Таким образом, удаление цвета из сточных вод является важной проблемой для экологов и исследователей. CV используется в качестве наружного дезинфицирующего средства для кожи человека и животных. Он широко используется в качестве пурпурного красителя для текстиля, такого как хлопок и шелк, а также в красках и типографской краске.

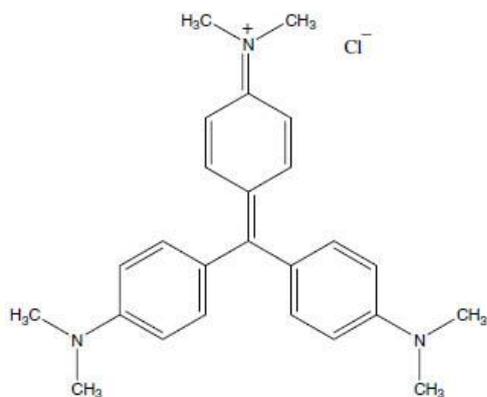


рис. 1. Структурная формула CV

Целью данной работы стало экспериментальное и теоретическое исследование кристаллического фиолетового. Структурная формула молекулы приведена на рис.1. Особенностью строения CV является наличие в структуре трех атомов азота, что приводит к многообразию фотофизических и фотохимических процессов, протекающих в молекуле при возбуждении электромагнитным полем.

В работе построена схема электронно-возбужденных состояний, рассмотрены каналы деградации энергии возбуждения и распределение электронной плотности в молекуле CV в основном и возбужденных состояниях. Экспериментальные исследования спектрально-люминесцентных характеристик проводились на спектрофлуориметре СМ-2203 (ЗАО «СОЛАР», Беларусь) при комнатной температуре. Теоретические исследования

выполнены при помощи пакета программ, основанного на полумпирическом методе ЧПДП/С.

Результаты квантово-химических расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными: положение и интенсивность полос поглощения, значения дипольных моментов. Дезактивация энергии возбуждения происходит по каналам внутренней и интеркомбинационной конверсий ($S_3^* \rightarrow T_7^* \rightarrow T_6^* \rightarrow T_5^* \rightarrow T_4^* \rightarrow T_3^* \rightarrow T_2^* \rightarrow T_1^*$). Результатом этих процессов является низкий квантовый выход флуоресценции CV. Исследуемая молекула плохо растворяется в гексане. Насыщенный раствор CV в гексане имеет две полосы поглощения с максимумами 230 и 325 нм (рис. 2, кривая 2), а также слабую флуоресценцию в области 360 нм. При переходе к полярным растворителям в спектре поглощения CV появляется интенсивная несимметричная полоса в области 600 нм и полоса флуоресценции (при возбуждении в 300 нм) с низкой интенсивностью в области 425 нм (квантовый выход флуоресценции меньше, чем 10^{-3}).

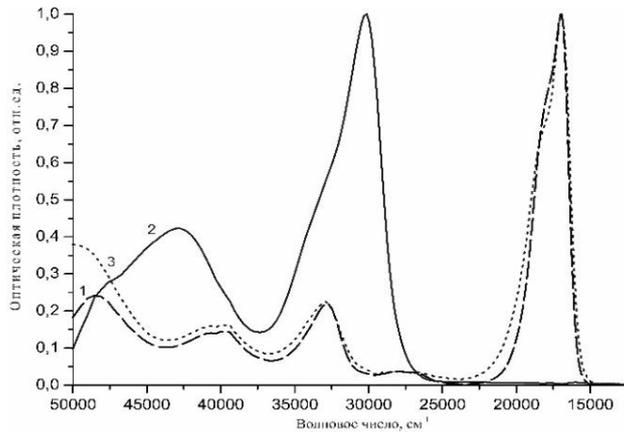


рис. 2. Спектры поглощения CV в этаноле (1), в гексане (2), в воде (3) при концентрации $C=10^{-5}$

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 4.6027.2017/8.9 и при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

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

Брецько Михаил Владимирович

Акимова Яна Евгеньевна

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Воляр Александр Владимирович

mihailbretcko4@gmail.com

На данный момент существует множество способов измерения вихревого состава параксиальных пучков [1]. Основное внимание уделяется измерению орбитального углового момента (ОУМ), который напрямую связан со спектром оптических вихрей. Если комплексную амплитуду $\Psi(x, y, z)$ сложного пучка представить в виде суперпозиции комплексных амплитуд $\Psi_m(x, y, z)$ вихревых мод в виде, то возможно такое равенство

$$\Psi(x, y, z) = \sum_{m=-N}^N C_m \Psi_m(x, y, z) \quad (1)$$

где $2N$ – полное число мод в пучке, а C_m – амплитуды мод и $\sum_{m=-N}^N C_m^2 = 1$, то ОУМ на фотон ℓ_z вдоль направления распространения z задается простой формулой [2]

$$\ell_z = \sum_{m=-N}^N m |C_m|^2 \quad (2)$$

Основой нашего исследования явилось измерение квадратов амплитуд мод C_m^2 без разрушения структуры сингулярного пучка с помощью анализа моментов интенсивности

$$J_{p,q} = \iint_S M_{p,q}(x, y) \mathfrak{I}(x, y) dx dy / \iint_S \mathfrak{I}(x, y) dx dy, \quad (3)$$

где $\mathfrak{I}(x, y)$ – распределение интенсивности поля (3) в плоскости $z=0$, $M_{p,q}(x, y)$ – функция момента интенсивности [3], $p, q=0, 1, 2, \dots$

Как отмечалось в работе [4], моменты интенсивности $J_{p,q}$ вырождены относительно знака топологического заряда оптических вихрей m с случае осевой симметрии мод в выражении (3). Чтобы снять вырождение моментов интенсивности, требуется изменить симметрию пучка без разрушения его сингулярной структуры таким образом, чтобы моды с противоположными знаками топологических зарядов имели выделенные геометрические характеристики. Этому требованию отвечает астигматичное преобразование пучка Лагерра-Гаусса цилиндрической линзой, подробно рассмотренное в работе [5] (общую теорию астигматичных преобразований параксиальных можно найти в работе [6]).

Составляя систему линейных уравнений можно найти значения квадратов амплитуд $C_{\pm m}^2$ по измеряемым значениям моментов интенсивностей $J_{p,q}^{\pm}$. Каждое уравнение содержит $2N$ членов для амплитуд $C_{\pm n}^2$ и $N-3$ перекрестных членов. Полное число уравнений равно $4N-6$. Систему уравнений легко решить и найти амплитуды модовых пучков в реальном масштабе времени с помощью современного компьютерного обеспечения.

Для решения системы линейных уравнений относительно амплитуд C_n^2 требуется измерить моменты интенсивности J_{pq} высших порядков [4,5]. Для этого использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис.1. Измерение квадратов амплитуд C_b^2 проводилось следующим образом. Сначала на CCD1 камере регистрировалось распределение интенсивности $\mathfrak{I}(x,y)$, а массив данных заносился в память компьютера. Результаты компьютерной обработки информации подставлялись в левую часть уравнений (3). Решение уравнений выводилось на монитор в виде спектра вихрей $C_m^2(m)$ (рис.2), и по формуле (2) рассчитывалось значение дробного ОУМ ℓ_z .

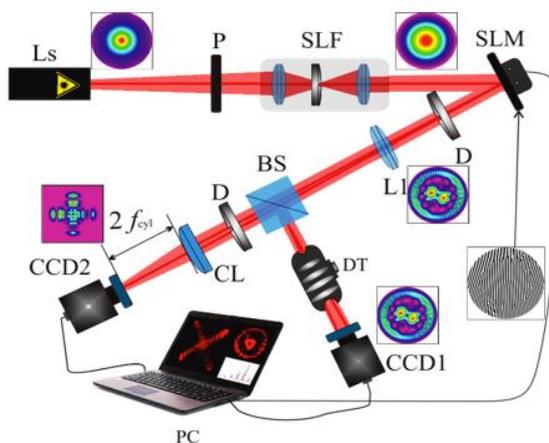


рис.1. Схема экспериментальной установки. Ls – He-Ne лазер, P – поляризатор, SLF – пространственный фильтр пучка, SLM – пространственный модулятор пучка, $L1$ – сферическая линза, BS – делительный кубик, CL – цилиндрическая линза, DT – диоптрийная трубка, $CCD1$, $CCD2$ – CCD камеры

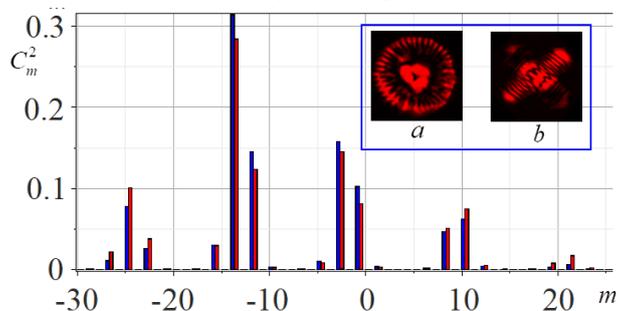


рис.2. Рассчитанный (синий цвет) и измеренный (красный цвет) спектры вихрей $|C_m^2|^2$.

На выноске: распределения интенсивности $\mathfrak{I}(x,y)$ (а) в фокальной плоскости сферической линзы, (б) цилиндрической линзы в плоскости $z = 2f$.

Список публикаций:

- [1] Soifer, V. *Laser beam mode selection by computer-generated holograms* // V. Soifer, M. Golub. – Boca Raton: CRC Press, 1994. – 224 p.
- [2] M.V. Berry. *Paraxial beams of spinning light. Singular optics*, SPIE 3487, 6-11 (1998).
- [3] Jan Flusser, Tomáš Suk and Barbara Zitová. *Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition*. 09 John Wiley Sons, Ltd.
- [4] A. Volyar, M. Bretsko, Ya. Akimova and Yu. Egorov. *Measurement of the vortex spectrum in a vortex-beam array without cuts and gluing of the wavefront*. *Opt. Lett.* 43(22), 5635-5638 (2018).
- [5] V. V. Kotlyar, A. A. Kovalev, A. P. Porfirev. *Astigmatic transforms of an optical vortex for measurement of its topological charge*. *App. Optics*, 2017, 56, 4095-4104
- [6] Abramochkin, E. Razuева, V. Volosnikov. *General astigmatic transform of Hermite-Laguerre-Gaussian beams*. *J. Opt. Soc. Ammer. A*, 2010, 27, 2506-2513

Управляемая акустической поляризацией генерация оптических вихрей

Викулин Дмитрий Вячеславович

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

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

vikulindmitriy@mail.ru

Известно, что взаимодействие между световой и акустической волнами, известное как акустооптическое взаимодействие (АОВ), широко используется в различных устройствах для динамического управления светом, таких как модуляторы интенсивности, преобразователи частоты, фильтрах и т.д. Значительные усилия приложены к исследованию АОВ в оптических волокнах, поскольку в них обеспечиваются уникальные условия для высокоэффективного взаимодействия между световыми и акустическими лучами.

Как показано в работах [1-2], АОВ индуцированное фундаментальной линейно-поляризованной акустической волной может быть использовано для эффективной генерации пучков с геликоидальным волновым фронтом, известных как оптические вихри (ОВ). Благодаря ряду свойств, в частности наличию орбитального углового момента (ОУМ), ОВ могут быть использованы для захвата и манипулирования микрочастицами, увеличения пропускной способности линий связи и т.д. Поэтому представляется актуальным исследование взаимодействия различных типов акустических волн с оптическими модами в оптических волокнах, в частности исследование взаимодействия фундаментальной циркулярно-поляризованной акустической волны с оптическим излучением в волокне. В настоящей работе мы сообщаем о новой управляемой акустической поляризацией генерации ОВ в циркулярных оптических волокнах с АОВ, индуцированным акустической волной с круговой поляризацией. Диэлектрическая проницаемость волокна с АОВ представлена выражением (1):

$$\bar{\varepsilon}(r, \varphi, z, t) = \varepsilon_0(r) + 2\Delta\varepsilon_{co}u_0f_r \cos(\sigma_a\varphi + \Phi) + \varepsilon_{co}^2 pKu_0 \begin{pmatrix} 0 & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 0 & \sigma_a \cos\Phi \\ \sin\Phi & \sigma_a \cos\Phi & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Здесь $\varepsilon_0(r) = \varepsilon_{co}[1 - 2\Delta f(r)]$ - проницаемость невозмущенного циркулярного волокна, $\Delta = (\varepsilon_{co} - \varepsilon_{cl})/2\varepsilon_{co}$ - значение профиля показателя преломления, ε_{co} и ε_{cl} - значения диэлектрических проницаемостей сердцевины и оболочки волокна соответственно, функция $f(r)$ определяет распределение диэлектрической проницаемости в волокне. Во втором слагаемом $f_r = df/dr$ и $u_0, \Phi = Kz - \Omega t, K, \Omega, \sigma_a$ - амплитуда, фаза, волновой вектор, частота и направление циркулярной поляризации акустической волны соответственно. В последнем слагаемом для кварца при длине волны $\lambda = 0.63$ мкм коэффициент фотоупругости $p = -0.075$. Использована цилиндрическая система координат.

Пусть на входной торец волокна с АОВ падает циркулярно-поляризованная фундаментальная волна на основной частоте ω . При выполнении определенных условий падающий пучок полностью трансформируется в ОВ на пониженной частоте $\omega - \Omega$ следующим образом (2):

$$|CP_0^\pm\rangle e^{-i\omega t} \Rightarrow |CV_{-\sigma_a}^\pm\rangle e^{-i(\omega - \Omega)t} \quad (2)$$

Это преобразование описывает новую, эффективную и устойчивую модовую конверсию в волоконной акустооптике. Ключевая особенность состоит в возможности динамического управления как знаком топологического заряда генерируемого ОВ изменением направления поляризации акустической волны, так и эффективностью трансформации падающего поля. Описанный эффект может быть использован для создания новых устройств на основе АОВ, в частности оптических пинцетов, и моделирования квантовых вычислений

Список публикаций:

[1] Yavorsky M.A. // *Optics Letters*. 2013. Vol. 38. № 16. P. 3151.

[2] Zhang W., Huang L., Wei K., Li P., Jiang B., Mao D., Gao F., Mei Ting, Zhang G. and Zhao J. // *Optics Letters*. 2016. Vol. 41, № 21, P. 5062.

Голографическое формирование многослойных неоднородных дифракционных структур в ФПМ в условиях фотоиндуцированного изменения поглощения

Дудник Дмитрий Игоревич

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Шарангович Сергей Николаевич

drinza10@gmail.com

В настоящее время, широкое применение находят оптические элементы на основе систем дифракционных решеток и волноводных каналов. В связи с этим поиск новых материалов, перспективных с точки зрения формирования в них подобных структур и управления их оптическими свойствами, представляется весьма актуальным. Всё более широкое применение находят фотополимеризующиеся материалы (ФПМ).

Многослойные структуры представляют собой несколько объемных решеток, разделенных оптически однородными промежуточными слоями. Такие структуры характеризуются особыми свойствами, обусловленными интерференцией волн, восстановленных из каждой решетки, и предоставляют возможность управления видом селективного отклика. Многослойные голографические структуры имеют перспективу найти широкое применение в качестве элементов спектральных фильтров, сенсоров, межсоединений, мультиплексоров/демультиплексоров в оптических линиях связи [1,2]. На данный момент, влияние фотоиндуцированного изменения поглощения (ФИП) на процесс формирования многослойных неоднородных структур является недостаточно изученным [3,4].

Целью данной работы является теоретическое исследование процесса формирования многослойных неоднородных голографических структур в ФПМ с учетом ФИП материала.

В работе [5] многослойные голографические структуры представлены в виде набора слоев из неоднородных голограмм, каждая из которых имеет амплитудный профиль решетки, подобный ослаблению интенсивности света по экспоненциальному закону, а в работе [3,4] показано, что в следствии ФИП будет происходить трансформация амплитудных профилей в каждом из них. Под действием светового излучения в ФПМ молекула красителя, поглощает квант светового излучения и взаимодействует в возбужденном состоянии с инициатором с образованием радикала красителя и первичного радикала инициатора. Далее происходит процесс фотополимеризации. Радикал красителя в дальнейших химических реакциях не участвует, таким образом, во время записи голографической решетки происходит уменьшение концентрации красителя, что обуславливает фотоиндуцированное уменьшение оптического поглощения [4].

Как показано в [3,4], в следствии ФИП, в каждом слое будут формироваться дифракционные структуры, различающиеся как по амплитуде, так и по виду пространственного профиля. Это связано с тем, что в каждой пространственной точке неоднородной голографической структуры, в различные моменты времени процесс формирования будет протекать по-разному. Характерное время полимеризации связано с интенсивностью засветки. Изменение характерного времени полимеризации приводит к изменению соотношения характерных времен полимеризационного и диффузионного процессов. Отношение скорости полимеризационного процесса к диффузионному процессу показывает изменение оптических свойств ФПМ в сформированной структуре. Именно изменение этого параметра во время процесса записи влияет на вид пространственного профиля показателя преломления формируемой структуры.

В данной работе, на основании развития модели представленных в [3,6], получены аналитические решения описывающие пространственные профили амплитуды первой гармоники в каждом слое. Данные профили могут существенно трансформироваться в процессе записи (рис. 1). На основании численного моделирования установлено, что путем подбора концентрации красителя при определенном времени формирования могут быть получены пространственные профили близкие к однородным, в каждом слое неоднородной многослойной структуры.

На (рис.1) приведены кинетики пространственных профилей первой гармоники с учетом ФИП по глубине решетки для трех первых слоев многослойной неоднородной голографической структуры, при поперечной координате $x=0$. Представленные профили рассчитаны для следующих параметров: $C_n = \delta n_p / \delta n_p = 0.01$, $s = 1$, $2\theta = 20^\circ$ в воздухе, $b = 0.25$, $d = 85$ мкм, $\delta n_p = 0.004$, $\alpha_{sub} = 10^{-4}$ Нп/мкм, $\alpha_1 = 0,016$ Нп/мкм.

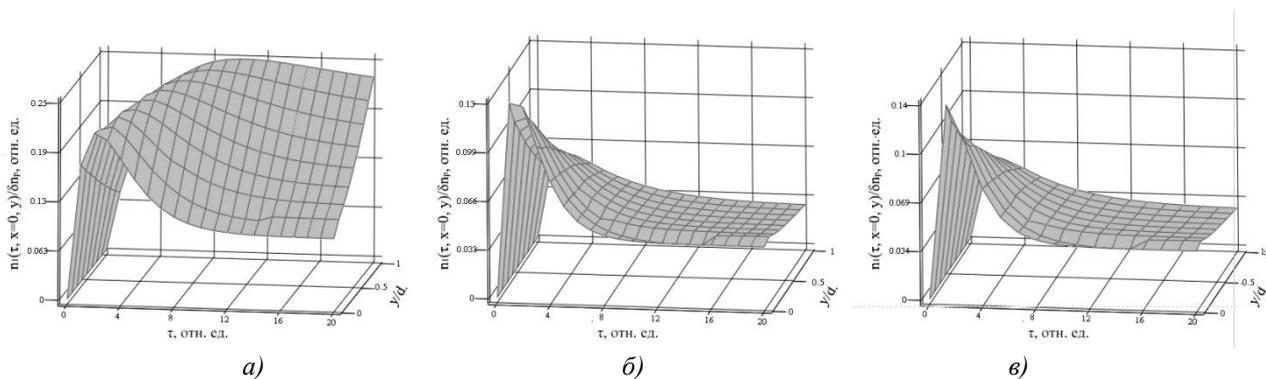


рис. 1. Кинетики пространственных профилей первой гармоники с учетом ФИП. а – первый, б – второй, в – третий слой.

Таким образом, было проведено теоретическое исследование процесса формирования многослойных неоднородных голографических структур в ФПМ с учетом ФИП материала. В результате численного моделирования показано, что пространственная неоднородность профилей может быть существенно уменьшена, что приведет к улучшению дифракционных характеристик.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения проектной части Госзадания №3.1110.2017/4.6.

Список публикаций:

- [1] Nordin G.P., Tanguay A.R. // *Optics Letters*. 1992. V. 17. N.23. pp. 1709-1711.
- [2] Aimin Y., Liren L. // *JOSA A*. 2009. V. 26. N. 1. pp. 135-141.
- [3] Довольнов Е.А., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // *Известия вузов. Физика*. 2006. Т.49. № 10. С.81-89.
- [4] Malallah R., Li H., Qi Y., Cassidy D., Muniraj I., Al-Attar N., Sheridan J.T., Cassidy. // *JOSA A*. 2019. V. 36. N. 3. pp. 320-334.
- [5] Пен Е.Ф., Родионов М.Ю.. // *Квантовая электроника*. 2010 Т. 40. № 10. С. 919–924.
- [6] Семкин А.О., Шарангович С.Н. // *Известия вузов. Физика*. 2018. Т.61. №1. С. 51-58.

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

Зеневич Сергей Геннадьевич

Газизов Искандер Шамильевич, Чурбанов Дмитрий Владимирович, Спиридонов Максим Владимирович

Московский физико-технический институт

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

znevich09@mail.ru

Развитие климатических моделей и основанные на их результатах практические методики оценки естественного и антропогенного воздействия на климатическую систему требует применения все более точных инструментов для определения химического состава атмосферы. В частности, для оценки интенсивности эмиссии парниковых газов (ПГ), таких как CO₂, CH₄, N₂O и NO, требуется измерение их содержания в атмосфере с субпроцентной точностью.

В 2004 году по инициативе США для валидации спутниковых данных была основана сеть глобальных мониторинговых станций TCCON [1] на основе Фурье-спектрометров Bruker-125HR. Эти станции способны восстанавливать вертикальное распределение основных парниковых газов с высокой точностью, однако имеющиеся 30 станций обладают недостаточным измерительным покрытием поверхности Земли, даже если включить в этот же список действующие спутниковые миссии.

Отсюда следует необходимость создания более дешевых, компактных и не уступающих по своим измерительным характеристикам приборов. Это подтверждается активной разработкой портативных спектрометров за последнее десятилетие, например, портативный Фурье-спектрометр [2] и портативный гетеродинный спектрометр [3].

Мы представляем компактный гетеродинный спектрометр ближнего ИК диапазона для прецизионных измерений контура линии поглощения CO₂ в столбе атмосферы. Основой спектрометра является перестраиваемый диодный лазер ($\lambda=1,605$ мкм) с распределенной обратной связью. Оптический тракт спектрометра – кварцевое одномодовое оптическое волокно, в котором смешивается солнечное и лазерное излучения. Стабилизация частоты лазера реализована с помощью оптической кюветы типа (Integrated Cavity

Output Spectroscopy) ICOS [4]. Оптический сигнал регистрируется в узкой полосе 10 МГц и обрабатывается системой на основе ПЛИС Altera Cyclone IV. Впервые, описание спектрометра было опубликовано в 2014 году [5]. В представляемой конфигурации мы значительно переработали некоторые подсистемы спектрометра, что привело к повышению стабильности лазера, увеличению отношения сигнал/шум (SNR).

Также в работе будут представлены результаты полевых измерений спектров пропускания атмосферы в области 1,605 мкм и результаты моделирования по восстановлению вертикального профиля концентрации CO₂ и высотного профиля скорости ветра вплоть до верхней границы стратосферы. Эксперимент проводился в г. Долгопрудном, на крыше корпуса прикладной математики МФТИ. Результаты решения обратной задачи восстановления вертикального профиля ветра качественно соответствуют данным аэрологического зондирования и результатам реанализа модели ERA-Interim [6]

Список публикаций:

- [1] Toon G.C., Blavier J.-F.L., Washenfelder R.A., Wunch D., Keppel-Aleks G., Wennberg P.O., Connor B.J., Sherlock V., Griffith D.W.T., Deutscher N.M., and Notholt J.// *Total Column Carbon Observing Network (TCCON), in Fourier Transform Spectroscopy. Opt. Soc. of America. 2009. pp. 4-7.*
- [2] Gisi M., Hase F., Dohe S., Blumenstock T., Simon A., Keen A.// *XCO₂-measurements with a tabletop FTS using solar absorption spectroscopy. Atmos. Meas. Tech. 2012. V. 5. pp. 2969-2980.*
- [3] Willson E.L., McLinden V.L., Miller J.H., Allan G.R., Ott L.E., Melroy H.R., Clarke G.B.// *Miniaturized laser heterodyne radiometer for measurements of CO₂ in the atmospheric column. Appl. Phys. B. 2014. V. 114. pp. 385-393.*
- [4] Moyer, E., Sayres, D., Engel, G. et al.// *Design considerations in high-sensitivity off-axis integrated cavity output spectroscopy. Appl. Phys. B 2008. V.92. pp. 467.*
- [5] Rodin A., Klimchuk A., Nadezhdinskiy A., Churbanov D., Spiridonov M.// *High resolution heterodyne spectroscopy of the atmosphere methane NIR absorption. Opt. Expr. 2014. V.22. pp. 13825-13834.*
- [6] Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen I., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N. and Vitart F.// *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. J. R. Met. Soc. 2011. V. 137. pp. 553-597.*

Исследование растворов аскорбиновой кислоты методом лазерной поляриметрии

Короткова Мария Анатольевна

Волгоградский государственный университет

Куценко Светлана Анатольевна, к.ф.-м.н.

MariyaKorotkovaSTUDENT2014@yandex.ru

В современных исследованиях широко используются методы поляриметрии, основанные на измерении степени поляризации излучения, в том числе и лазерного, и угла поворота плоскости поляризации при прохождении его через оптически активные вещества. Так как угол поворота в растворах зависит от их концентрации, то поляриметрия широко применяется для измерения концентрации оптически активных веществ, для выявления структуры молекулы, типа изомера и количественного содержания вещества в препарате. Использование лазеров существенно упрощает проведение экспериментов и повышает их точность. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки методов бесконтактного исследования веществ, в том числе и аскорбиновой кислоты, широко применяемых в фармакологии и медицине. Ранее были определены углы поворота плоскости поляризации только излучения D-линии натрия ($\lambda=589$ нм) в водных растворах аскорбиновой кислоты [1]. Данная работа посвящена исследованию их оптической активности методами лазерной поляриметрии.

Исследованы водные растворы аскорбиновой кислоты различных концентраций с добавлением гидрокарбоната натрия NaHCO₃. Измерения проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.1. В качестве источников излучения использовались лазеры с длинами волн $\lambda=650, 532$ и 408 нм.

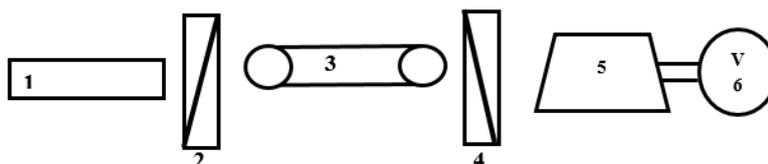


рис.1. Блок схема экспериментальной установки: 1-лазер, 2-призма Глана, 3-кювета с исследуемым веществом, 4-дихроичный поляризатор, 5 – фотоприёмное устройство, 6 – цифровой мультиметр в режиме измерения напряжения.

Определены спектральные и концентрационные характеристики оптической активности растворов аскорбиновой кислоты. Показано, что углы поворота плоскости поляризации увеличиваются с уменьшением длины волны и увеличением концентрации растворов; удельное и молярное вращение плоскости поляризации уменьшается с ростом длины волны и практически не меняется при увеличении концентрации растворов и длины оптического пути. Полученные результаты согласуются с классической моделью вращения плоскости поляризации, приведенной в [2].

Исследовано изменение оптической активности в растворах аскорбиновой кислоты при добавлении гидрокарбоната натрия.

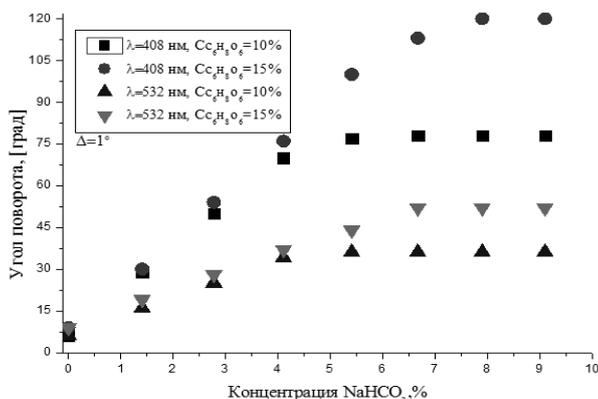
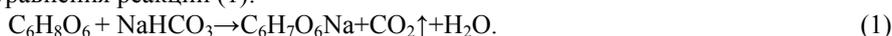


рис.2. Зависимости углов поворота плоскости поляризации от концентрации гидрокарбоната натрия в растворах для излучения с длинами волн $\lambda=408$ нм и 532 нм.

При определённой концентрации NaHCO₃ в растворе наступает насыщение зависимости, характеризующееся максимально достижимым углом, которое соответствует полному протеканию реакции. Экспериментально полученные соотношения масс веществ, при которых полностью протекает реакция хорошо согласуются с рассчитанными из уравнения реакции (1):



Вычисленные данные приведены в таблице:

λ , нм	$C_{C_6H_8O_6}$, %	Массы веществ, соответствующих протеканию реакции, г (%)	
		Экспериментальные	Рассчитанные
408	10	20 (~5,4%)	17 (4,6%)
	15	26 (~7%)	25 (6,7%)
532	10	16,7 (~4,56%)	16,7 (4,56%)
	15	25 (~6,7%)	25 (6,7%)

Таким образом, по установившемуся значению максимума угла поворота плоскости поляризации в растворах аскорбиновой кислоты и гидрокарбоната натрия можно определить массы полностью прореагировавших веществ и контролировать протекание реакции в режиме реального времени.

Список публикаций:

[1] Шитунов Б. П., Тимирязев А. В., Кондратова Е. В., Стась И. Е. // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – Т. 1. -№3. С. 189-191.

[2] Пентин Ю. А., Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. 683 с

Электрооптический отклик холестерического жидкого кристалла с планарно-коническими граничными условиями

Костиков Денис Андреевич

Сибирский федеральный университет

Крахалев Михаил Николаевич, к.ф.-м.н.

deniskostikov13@gmail.com

Жидкие кристаллы (ЖК), обладая свойствами как жидкостей, так и кристаллов, имеют большое практическое применение в современной технике. Они обладают ориентационной структурой, которая обычно задается граничными условиями. Они позволяют определенным образом сориентировать директор ЖК (единичный вектор, направленный вдоль преимущественной ориентации длинных осей молекул жидкого кристалла) непосредственно на самих подложках ЖК-ячейки. В объеме же директор непрерывно меняется от одной подложки к другой. Благодаря ориентационной структуре ЖК, например, с легкостью создается изображение на экранах телевизоров, телефонов и т. д., достаточно лишь воздействия электрического поля. При

прикладывании внешнего электрического поля ориентационная структура ЖК меняется (переход Фредерикса) [1]. Изменение структуры под действием электрического поля приводит к изменению оптических свойств системы, что позволяет уже при малых напряжениях с легкостью регулировать световой поток, а с наличием светофильтров и вовсе получать излучение нужной частоты с нужной интенсивностью. В данной работе исследовались холестерические жидкие кристаллы (ХЖК). ХЖК имеют закрученную структуру директора, которая характеризуется шагом спирали P_0 – расстояние, на котором директор поворачивается на 2π . Как следствие, дополнительным параметром, помимо граничных условий, определяющим ориентационную структуру холестерика является отношение толщины ЖК-ячейки (d) к шагу спирали (P_0).

Исследования проводились с ХЖК-ячейками на основе нематической смеси ЛН-396, допированной холестерилацетатом. В данной работе исследования проводились с тремя ячейками, имеющими толщины $d_1=13,1$ мкм, $d_2=22,2$ мкм, $d_3=41,1$ мкм. Отношение d/P_0 для всех трех ячеек было одинаковым и равнялось 0,6. В ячейках задавались различные граничные условия на подложках. На одной из них (нижней) ориентация задавалась натертой пленкой ПВС (планарные граничные условия), тем самым молекулы имели близкий к нулевому угол преднаклона, то есть зенитный угол (угол между директором и нормалью к подложке) равнялся 90° . На противоположной подложке ориентация задавалась пленкой полиизобутил метакрилата, которая задает конические граничные условия для используемого ЖК с зенитным углом 40° [2]. Диэлектрическая анизотропия использованного ХЖК положительна ($\Delta\epsilon > 0$), то есть при прикладывании внешнего электрического поля директор стремится сориентироваться вдоль него (переход Фредерикса).

ЖК обладают оптической анизотропией, то есть характеризуются двойным лучепреломлением, их $\Delta n \neq 0$, где $\Delta n = n_e - n_o$ (где n_e и n_o показатели преломления необыкновенного и обыкновенного лучей соответственно). При прохождении света через закрученную структуру ХЖК, обыкновенный и необыкновенный лучи, являясь одновременно ортогональными и когерентными, при сложении дают, в общем случае, эллиптическую поляризацию. В данной работе направление линейной поляризации излучения было параллельно директору на входе, то есть на нижней подложке с ориентирующей пленкой ПВС. Если шаг спирали ХЖК значительно превышает длину волны света, т. е. $\Delta n \cdot P_0 \gg \lambda_0$, то можно говорить о волноводном режиме Могена [1]. Это значит, что направление линейной поляризации света, вращаясь в пространстве, следует за спиральной структурой директора. Были проведены исследования электрооптического отклика ХЖК-ячеек. В исходном состоянии наблюдалась закрученная бездефектная структура, при этом прошедший через структуру свет остается линейно-поляризованным с направлением поляризации, близким к директору на входе (рис. 1).

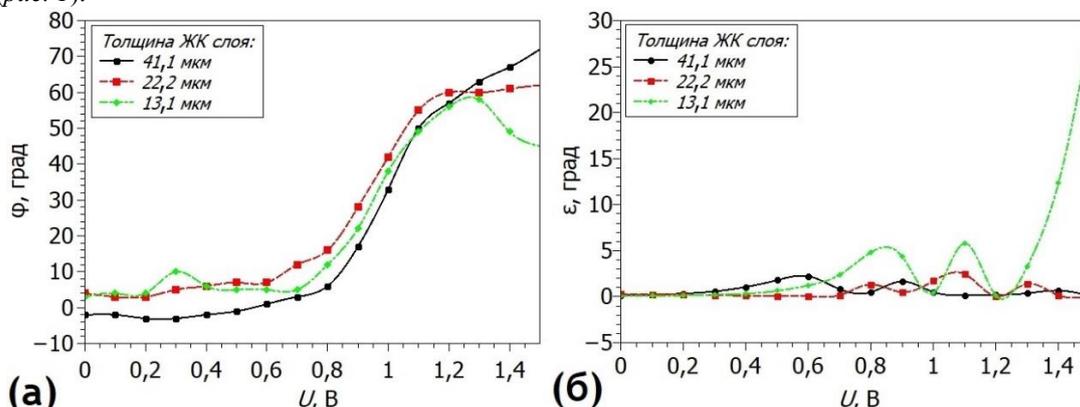


рис. 1. Зависимость от U угла ϕ между направлением директора на входе и плоскостью минимума излучения на выходе (а) и угла эллиптичности ϵ прошедшего поляризованного излучения (б)

Изменение направления поляризации начинается с напряжения $U = 0.6$ В. Максимальное изменение угла поворота направления поляризации света слабо зависит от толщины ячеек и составляет примерно $60^\circ \div 70^\circ$ при напряжении U в диапазон 1.2 – 1.4 В (рис. 1а). При изменении направления поляризации излучения в образцах толщиной 22.2 мкм и 41.1 мкм угол эллиптичности ϵ изменяется незначительно. Таким образом, можно утверждать, что изменение направления поляризации связано с изменением угла закрутки директора при прикладывании внешнего электрического поля. Немонотонное изменение угла эллиптичности поляризации света в тонкой ячейке на выходе объясняется тем, что при прикладывании электрического поля изменяется n_e (как следствие и Δn), что приводит к нарушению режима Могена [3].

На рис. 2 показаны фотографии ячеек при различных напряжениях, сделанные в поляризованном свете. Видно, что положение анализатора, соответствующее минимуму пропускания, изменяется. При этом, при наблюдении в белом свете цвет образца не зависит от напряжения (выполняется режим Могена) в диапазоне до 1.5 В для образца толщиной 41.1 мкм, и напряжения 1.2 В для образца толщиной 22.2 мкм. Увеличение напряжения приводит к нарушению режима Могена и, как следствие, появлению цвета образца при

наблюдении в геометрии скрещенных поляризаторов. Таким образом, исследованы ХЖК-ячейки с тангенциальными граничными условиями на одной подложке и коническим сцеплением на второй. Показано, что под действием электрического поля перпендикулярно подложкам происходит поворот директора в плоскости образца на второй подложке. Такие изменения приводят к зависимости от напряжения угла поворота плоскости поляризации света, прошедшего через образец.

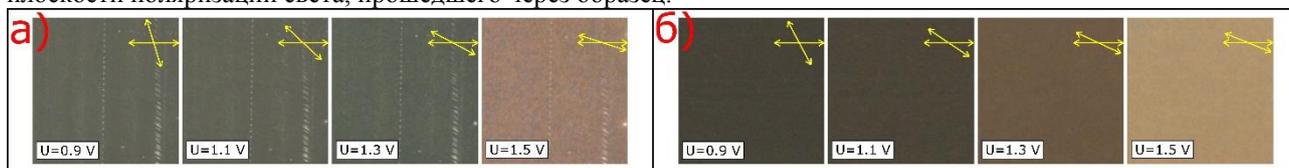


рис. 2. Фотография ЖК-ячеек с $d=41.1$ мкм при напряжениях, соответствующих сильному росту поворота плоскости поляризации излучения (а); с $d=22.2$ мкм при напряжениях, соответствующих началу нарушения режима Могена (б);

Список публикаций:

- [1] Блинов Л.В. Жидкие кристаллы: Структура и свойства. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. - 480 с.; цв. вкл.
 [2] Krakhalev M.N., et al. // *Liquid Crystals*. 2017. Vol. 44, №2. P. 355-363.
 [3] Hooch C.H., Tarry H.A. // *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. 8, 1975. P. 1575

Объективные линзы для рентгеновского микроскопа с энергией фотонов 15 – 35 кэВ

Лобова Ирина Александровна

Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН

Резникова Елена Федоровна, к.х.н.

irina.lobova.ff@mail.ru

С 1996 года использовались различные методы и материалы для изготовления рентгеновских преломляющих линз [1]. Скрещенные линейные параболические линзы, изготавливаемые рентгеновской литографией, наиболее перспективны для применения в рентгеновском микроскопе в качестве объектива и конденсора, так как позволяют точно воспроизводить трехмерную геометрию преломляющего профиля [2]. Наклонная рентгеновская литография требует сложного оборудования, поэтому в данной работе использовались радиационно-устойчивый многокомпонентный негативный фоторезист SU-8 и ультра-глубокая светодиодная фотолитография.

Полимер SU-8 характеризуется малым декрементом δ показателя преломления жесткого рентгеновского излучения: $n = 1 - \delta - i\beta$, где β – мнимая часть показателя, связанная с коэффициентом поглощения. Для расчета декремента показателя преломления и оптических характеристик был исследован элементный состав SU-8 методом рентгено-флуоресцентного анализа при помощи энерго-дисперсионной приставки INCA X-act, Oxford Instruments к электронному микроскопу HITACHI S3400NtпII. Измерен процентный состав: C(39,55%), H(45,20%), O(15,24%), Cl, Sb, F(<0,1%), количество водорода определено из известного для мономера данного полимера соотношения между углеродом и водородом. Декремент показателя преломления рассчитан по формулам (1, 2) с использованием табличных значений f_{i1} и f_{i2} , характеризующих интенсивность рассеяния на одном атоме вещества.

$$n = 1 - \frac{r_e \lambda^2}{2\pi} \sum n_i (f_{i1} + i f_{i2}), \quad (1)$$

$$\delta = \frac{r_e \lambda^2}{2\pi} \sum n_i f_{i1}, \quad (2)$$

где r_e – классический радиус электрона, λ – длина волны, n_i – число атомов типа i в единице объема. Ультра-глубокая светодиодная фотолитография позволяет изготавливать линзы длиной L (до 100 мм) с большим числом двояковогнутых элементов N , с микронным радиусом кривизны R , который воспроизводится с микронной точностью.

Были изготовлены и характеризованы объективные линзы с радиусом кривизны 9,5 и 5,1 мкм, числом элементов 154 и 107, апертурой 90 и 60 мкм, длиной 81 и 46 мм на подложках из латуни. Расчетные фокусные расстояния F [3] (3) при энергии 25 кэВ составили 59 и 33 мм.

$$F = \frac{R}{2\delta N} + \frac{L}{6}. \quad (3)$$

Склеивание двух латунных подложек с микронным зазором и их разделение после фотолитографии позволяет изготавливать микроструктуры линз в непосредственной близости (10 – 100 мкм) от края. Краевые микроструктуры использованы для изготовления трехмерных ортогональных скрещенных линз.

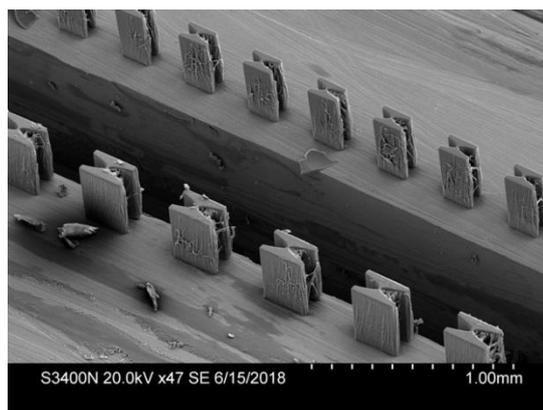


рис.1. Объективные линзы, сформированные на торцах латунных подложек вблизи края

Качество фотолитографических микроструктур обусловлено наличием точечного светодиодного источника, излучающего на длине волны 400 нм и сфокусированного в параллельный пучок на подложку с SU-8, имеющую оптическую отражающую поверхность. Предполагается тестирование изготовленных линз на экспериментальной станции ВЭПП-3 «Томографии и микроскопии».

Список публикаций:

- [1] A. Snigirev, V. Kohn, I. Snigireva and B. Lengeler. A compound refractive lens for focusing high energy X-rays. *Nature* 384, 49-51 (1996).
- [2] E. Reznikova, T. Weitkamp, V. Nazmov, A. Last, M. Simon, V. Saile. Investigation of phase contrast hard X-ray microscopy using planar sets of refractive crossed linear parabolic lenses made from SU-8 polymer. *Phys. Stat. Sol. 204 (a)* 2811–2816 (2007).
- [3] Кон В. Г. К теории рентгеновской преломляющей оптики. Точное решение для параболической среды // Российский научный центр "Курчатовский институт". —М.:2002.

Разработка гетеродинного спектрометра среднего ИК-диапазона для исследования планетных атмосфер HISPAR

Мещеринов Вячеслав Вячеславович

Бендеров Олег Владимирович, Малашевич Светлана Владимировна

Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет)

Родин Александр Вячеславович

meshcherinov@phystech.edu

К настоящему времени нашей группой разработан инструмент HISPAR (Heterodyne Infrared Spectrometer for Planetary Atmospheres Research) — гетеродинный спектрометр для исследования планетных атмосфер на основе квантово-каскадных лазеров (ККЛ) [1] с распределенной обратной связью, работающий в средней инфракрасной области спектра. Прибор может быть установлен на инфракрасных телескопах метрового класса для наблюдения атмосфер планет.

Нами были спроектированы и изготовлены вакуумированные охлаждаемые корпуса квантово-каскадных лазеров (ККЛ) с распределенной обратной связью, используемых в качестве источников опорного сигнала. Были изучены рабочие характеристики ККЛ. Оптическая схема прибора была перенесена на передвижной оптический стол для возможности испытаний разрабатываемого спектрометра в условиях реальных астрономических наблюдений. С целью лабораторной отработки автоматического цикла наблюдения в схему был добавлен канал имитации сигнала от астрономического объекта. Реализован канал, содержащий кювету с реперным газом и КРТ-фотодетектором, который необходим для прецизионной стабилизации частоты лазерного излучения. Текущие характеристики разрабатываемого прибора представлены в таблице:

Спектральный диапазон	5.4 мкм, 10.4 мкм
Полоса пропускания детектора	~3 ГГц (НЕВ), 850 МГц (CdHgTe)
Анализатор спектра	Цифровой FFT-спектрометр (разрешение - 76 кГц, полоса приема до 5 ГГц)
Сигнал/шум	~10 дробовых пределов ККЛ (CdHgTe) ~2 дробовых предела ККЛ (НЕВ)

Была разработана новая версия управляющего инструментом программного обеспечения (ПО), построенная на модульном принципе, что позволило ускорить работу ПО на длительных временах накопления сигнала. При помощи данного ПО на базе платформы LabView осуществляется управление отдельными элементами инструмента, оцифровка принимаемых сигналов и их последующая обработка. Это позволит проводить реальные астрономические наблюдения в автоматическом режиме.

Был продемонстрирован эффект гетеродинирования при смешении излучения АЧТ и лазерного излучения. При этом уровень гетеродинного сигнала составлял около 10% от дробовых шумов излучения лазера. Получены результаты по наблюдению линии поглощения в гетеродинном режиме детектирования, что является имитацией наблюдения линии поглощения в непрерывном эмиссионном спектре.

Теоретическим пределом чувствительности гетеродинного спектрометра является квантовый предел, определяющийся дробовыми шумами локального осциллятора. Были экспериментально определены шумовые характеристики системы в терминах шумовой температуры. В случае использования CdHgTe-фотодетектора шумовая температура составила $T_{\text{noise}} \approx 10^4$ К (при квантовом пределе 1845 К). Данный результат определяется высоким уровнем шумов быстродействующих CdHgTe-фотодетекторов с термоэлектрическим охлаждением и сопоставим с результатами, полученными другими группами [2]. Шумовая температура единственного на сегодня применяемого в астрономических наблюдениях гетеродинного спектрометра составляет 3000 К [3].

Стоит отметить, что одной из основных проблем, связанных с дальнейшим совершенствованием разрабатываемого гетеродинного спектрометра, является недостаточная чувствительность и высокий уровень собственных шумов используемого полупроводникового фотодетектора на основе соединения CdHgTe (КРТ-фотодетектора) компании VIGO Systems. Поскольку на сегодняшний день на рынке не существует КРТ-детекторов, обладающих низкими собственными шумами, широкой полосой приема >500 МГц и высокой чувствительностью, наша группа планирует продолжить изучение характеристик фотодетекторов среднего ИК-диапазона, работающих на иных принципах. Среди перспективных примеров нами были выделены болометры, работающие на эффекте разрушения сверхпроводящего состояния, а также фотодетекторы на основе графена и его соединений.

Нашей группой ведется изучение характеристик крио-охлаждаемых фотоэлектронных болометров на основе эффекта электронного разогрева, совмещенных со спиральными микроантеннами, настроенными на длину волны 10 мкм для повышения квантовой эффективности. Уровень шумов таких детекторов приближен к теоретическому минимуму, а полоса пропускания достигает ~5 ГГц.

Также планируется изучение свойств образцов фотодетектирующих элементов на основе графена. Поскольку графен обладает очень высокой подвижностью электронов, временем отклика подобных устройств будет порядка пикосекунд. К тому же физическими свойствами фотодетектора на основе графена можно управлять с помощью напряжения на затворе, что позволяет создавать детекторы излучения, работающие в широком диапазоне частот [4-6]. Основываясь на уже полученных результатах коллег [7-9] в терагерцовом диапазоне, ожидается, что детектирование принимаемого излучения в средней ИК-области будет производиться в широкой полосе с большей частотой регистрации и чувствительностью, а также меньшими шумами в сравнении с используемыми в настоящий момент КРТ-фотодетекторами.

Список публикаций:

- [1] Faist J. [et al.] *Quantum cascade laser* // *Science*. – 1994. – Т. 264. – №. 5158. – С. 553-556.
- [2] Weidmann D. [et al.] *Hollow waveguide photomixing for quantum cascade laser heterodyne spectro-radiometry* // *Optics express*. – 2011. – Т. 19. – №. 10. – С. 9074-9085.
- [3] Nakagawa H. [et al.] *IR heterodyne spectrometer MILAH for continuous monitoring observatory of Martian and Venusian atmospheres at Mt. Haleakalā, Hawaii* // *Planetary and Space Science*. – 2016. – Т. 126. – С. 34-48.
- [4] Gabor N. M. et al. *Hot carrier-assisted intrinsic photoresponse in graphene* // *Science*. – 2011. – Т. 334. – №. 6056. – С. 648-652.
- [5] Yan J. et al. *Dual-gated bilayer graphene hot-electron bolometer* // *Nature nanotechnology*. – 2012. – Т. 7. – №. 7. – С. 472.
- [6] Cai X. et al. *Sensitive room-temperature terahertz detection via the photothermoelectric effect in graphene* // *Nature nanotechnology*. – 2014. – Т. 9. – №. 10. – С. 814.
- [7] Ryzhii V. et al. *TERAHERTZ AND INFRARED PHOTODETECTORS BASED ON VERTICAL GRAPHENE VAN DER WAALS HETEROSTRUCTURES: CONCEPTS, FEATURES OF OPERATION AND CHARACTERISTICS* // *Physics, Chemistry And Application Of Nanostructures: Reviews And Short Notes To Nanomeeting-2017*. – 2017. – С. 159-167.
- [8] Ryzhii V. et al. *Infrared photodetectors based on graphene van der Waals heterostructures* // *Infrared Physics & Technology*. – 2017. – Т. 84. – С. 72-81.
- [9] Bylinkin A. et al. *Experimental study of graphene-based plasmonic crystals in a strong-coupling regime* // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2018. – Т. 1092. – №. 1. – С. 012017.

Моделирование хода лучей синхротронного излучения при тестировании рентгеновских преломляющих линз

Неустроева Арина Андреевна

Новосибирский государственный университет

Резникова Елена Федоровна, к.х.н.

chizario@gmail.com

Одним из наиболее многообещающих направлений в современной оптике является создание нового микроскопа на основе рентгеновских преломляющих параболических длинных многоэлементных линз, которое позволит проводить наблюдения с нанометровым пространственным разрешением *in vivo* и *in situ* в диапазоне энергий фотонов 15-35 кэВ [1].

Существует точная аналитическая теория формирования изображения с помощью оптической системы, состоящей из преломляющих рентгеновских линз с круглой апертурой и параболическим профилем, в приближении плоского фронта параллельного пучка монохроматического синхротронного излучения высокой степени пространственной когерентности [2].

Задачей настоящего исследования является моделирование хода лучей синхротронного излучения от объемного источника с преломлением в системе из N ортогонально-скрещенных линейных двояковыгнутых элементов линз с заданными параметрами параболического профиля (рис. 1, 2).

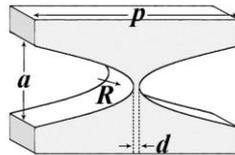


рис. 1. Параметры отдельного элемента линзы. R – радиус кривизны параболического профиля, a – апертура, d – размер перемычки, p – длина элемента линзы.

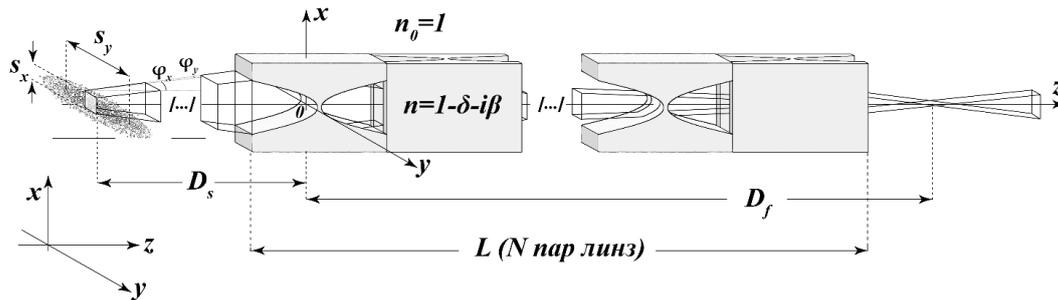


рис. 2. Схема прохождения пучка от объемного источника жесткого рентгеновского излучения с размерами распределения интенсивности синхротронного излучения на половине максимума s_x и s_y и угловой расходимостью φ_x и φ_y в преломляющей системе из N ортогонально-скрещенных линейных двояковыгнутых элементов линз. Начало координат задано в вершине первой параболической границы симметрично границам апертуры линзы. D_s и D_f – расстояния от источника синхротронного излучения и от фокусной перетяжки до начала координат, соответственно, L – общая длина системы из N пар ортогонально-скрещенных элементов линз. Показатель преломления заданного материала элементов линз $n = 1 - \delta - i\beta < 1$, где δ и β – действительная и мнимая части декремента показателя преломления, показатель преломления воздуха $n_0 = 1$.

На данном этапе работы была создана программа, использующая векторное представление для определения координат лучей с заданной расходимостью и размерами источника синхротронного излучения четвертого поворотного магнита ускорительного комплекса ВЭПП-4 в ИЯФ СО РАН. Программа позволяет варьировать параметры элементов и системы рентгеновских линз, их геометрическое расположение для анализа параметров фокусировки синхротронного излучения. Разработаны и продолжают разрабатываться дополнения программы, расширяющие ее функционал для работы с системой источников синхротронного излучения, которыми являются ондуляторы и вигглеры ВЭПП-3 и ВЭПП-4, а также для учета возможных aberrаций квазипараболического профиля элементов линз. Обсуждается введение фазового формализма для сравнения с аналитической теорией.

Список публикаций:

[1] E. Reznikova, T. Weitkamp, V. Nazmov, M. Simon, A. Last, V. Saile. Transmission hard X-ray microscope with increased view field using planar refractive objectives and condensers made of SU-8 polymer. *J. Phys.: Conf. Series* 186 (2009) 012070/1-3. DOI:10.1088/1742-6596/186/1/012070.

[2] В. Г. Кон. К теории рентгеновской преломляющей оптики. Точное решение для параболической среды // Российский научный центр «Курчатовский институт». —М.: 2002.

Расчет степени линейной поляризации синхротронного излучения на выходе канала RGBL BESSY II

Петрова Ольга Викторовна

Федеральный исследовательский центр

Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук

teiou@mail.ru

Важной и востребованной характеристикой синхротронного излучения (СИ), при проведении исследований методами ультрамягкой рентгеновской спектроскопии поглощения (энергия падающих фотонов $E=10\text{--}200\text{ эВ}$) [1], является степень его линейной поляризации. В общем случае СИ обладает эллиптической поляризацией, состоящей из двух компонент вектора электрического поля E , лежащих параллельно E_{\parallel} и перпендикулярно E_{\perp} плоскости орбиты вращения электронов. При переходе через плоскость орбиты вращения электронов знак эллиптической поляризации меняется, а при наблюдении в направлении близком к плоскости орбиты вращения, излучение почти полностью поляризовано линейно. Теоретические и экспериментальные данные показали, что характерное угловое распределение компоненты с E_{\parallel} имеет максимум, а компоненты с E_{\perp} минимум в плоскости орбиты (рис.1.а) [2]. Высокая степень линейной поляризации СИ до 98% может быть достигнута путем уменьшения размера входной щели канала выхода излучения по вертикали и выделения излучения в плоскости орбиты, при этом, изменение размера щели по горизонтали не влияет на степень поляризации проходящего СИ. Однако, при проведении спектральных исследований с использованием мягкого рентгеновского излучения, уменьшение вертикального размера входной щели, приводит к значительному уменьшению интенсивности мягкой составляющей рентгеновского излучения и увеличению вклада жесткой составляющей, и как следствие, возрастанию интенсивности фонового излучения кратных порядков дифракции в падающем пучке, при использовании в качестве диспергирующего элемента дифракционной решетки.

В работе проводится расчет степени линейной поляризации синхротронного рентгеновского излучения на выходе Русско-Немецкого дипольного канала (Russian-Germany dipole beamline, RGBL) синхротрона BESSY II (г. Берлин, Германия) [3]. В системе выхода и монохроматизации канала LGBL входная щель отсутствует, в ее качестве используется тороидальное зеркало длиной 750мм и шириной 60мм, расположенное под углом $87,5^\circ$ относительно падающего пучка, перед монохроматором. Это фокусирующее зеркало обеспечивает прием излучения от источника в горизонтальном и вертикальном углах (от плоскости орбиты) $\psi_w = 3$ мрад и $\psi_h = 2,5$ мрад, соответственно.

Степень линейной поляризации синхротронного излучения $P(\lambda, \psi_h)$ зависящая от длины волны падающих квантов λ (или энергии ϵ) и вертикального угла ψ_h между направлением излучения и плоскостью орбиты может быть рассчитана, согласно выражению [4]:

$$P(\lambda, \psi_h) = \frac{E_{\parallel}^2}{E_{\parallel}^2 + E_{\perp}^2} = \frac{K_{2/3}^2(\xi)}{K_{2/3}^2(\xi) + \frac{(\gamma\psi)^2}{1+(\gamma\psi)^2}} K_{1/3}^2(\xi), \quad \xi = \frac{\lambda_c}{2\lambda} [1 + (\gamma\psi)^2]^{3/2}, \quad (1)$$

где $K_{2/3}(\xi)$ и $K_{1/3}(\xi)$ – функции Бесселя второго рода, $\lambda_c = \frac{4\pi R}{3\gamma^3} = \frac{0.559R}{E^3}$ – критическая длина волны, зависящая от энергии электронов E , движущихся по орбите синхротронного кольца, его радиуса R и релятивистского фактора $\gamma = \frac{E}{m_0 c^2}$.

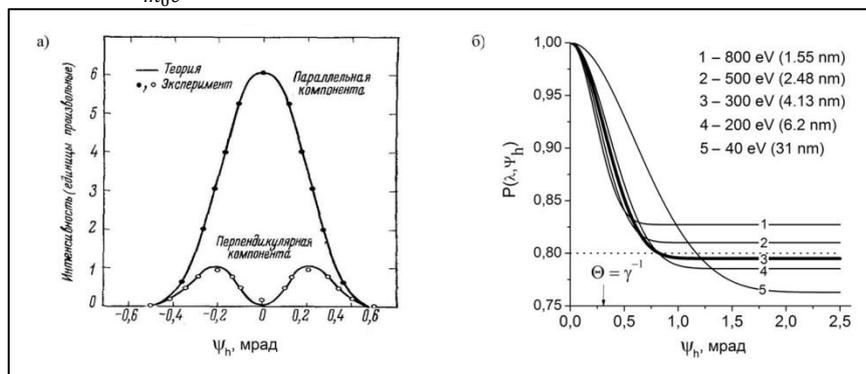


рис.1. а) экспериментальные (точки) и теоретические данные (линии) углового распределения перпендикулярной и параллельной составляющих интенсивности СИ [2]; б) рассчитанные интегральные зависимости степени линейной поляризации $P(\lambda, \psi_h)$ для RGBL на BESSY-II.

На рис.1.б показаны результаты расчета интегральных зависимостей степени линейной поляризации $P(\lambda, \psi_h)$, полученные путем интегрирования интенсивностей в интервале углов от 0 до ψ_h . На рисунке видно,

что для энергетического интервала 800–200 эВ величина $P(\lambda, \psi_h)$ меняется в интервале 0.75–0.85, а степень поляризации для СИ при $\varepsilon = 300$ эВ составляет величину, близкую к 0.8.

Работа выполнена при поддержке двухсторонней программы Русско-Германской лаборатории на BESSY II, Программы фундаментальных исследований УрО РАН 18-10-2-23 и из средств, выделенных на программу повышения конкурентной способности Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

- [1] Stöhr J *NEXAFS Spectroscopy*. Berlin: Springer. 1992. 403 p.
 [2] Codling K, Madden R. P. // *J. Appl. Phys.* 1964. V.36.P. 380–387.
 [3] Fedoseenko S. I., Vyalikh D. V., Iossifov I. E. et al. // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* 2003. V.505. P.718
 [4] Kunz C. *Synchrotron Radiation Techniques and Applications*. Berlin: Springer. 1979. 421p.

Электронные спектры ионов Er(III) и Tm(III) в боратах

Самойлова Мария Алексеевна

Хохряков А.А., Пайвин А.С.

Институт металлургии УрО РАН

Хохряков А.А., д.х.н.

mari.makarenko.1993@mail.ru

Методом электронной спектроскопии получены спектры расплавов $x\text{Na}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3-\text{Er}_2\text{O}_3$ и $x\text{Na}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3-\text{Tm}_2\text{O}_3$ ($x=0\div 45$) при $T=1273$ К. центры тяжести полос поглощения этих расплавов соответственно представлено в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

$^4\text{I}_{13/2}$	$^4\text{I}_{11/2}$	$^4\text{F}_{9/2}$	$^2\text{H}_{11/2}$	$^4\text{F}_{7/2}$	$^2\text{G}_{9/2}$	$^2\text{G}_{11/2}$
6550, 7118	10472	15352	19209	20165	23571	26581

Таблица 2

$^3\text{F}_4$	$^3\text{H}_4$	$^3\text{F}_3, \text{F}_2$	$^1\text{G}_4$	$^1\text{D}_2$	$^3\text{P}_6$	$^3\text{P}_2$
8603	12635	14258, 14714	22622	23870	26467	37905

Необходимо отметить, что f-f переходы наблюдаются в основном в диапазоне $6000-30000\text{см}^{-1}$. Свыше 30000см^{-1} сильное влияние на электронные спектры f-ионов РЗЭ оказывает матрица расплава $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$. На спектрограммах выделяется квазирезонный переход $\text{O}2p \rightarrow \text{Na}3s$, который ранее был установлен для бинарных расплавов $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$ [1]. Зависимость интегральной интенсивности этих переходов от концентрации Na_2O для тройных расплавленных систем $x\text{Na}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3-\text{Er}_2\text{O}_3$ и $x\text{Na}_2\text{O}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3-\text{Tm}_2\text{O}_3$ показаны на рисунках 1 и 2. Возрастание интенсивности перехода $\text{O}2p \rightarrow \text{Na}3s$ указывает на образование в расплавах мостиковых связей $\text{B}^{\text{IV}}-\text{O}-\text{B}^{\text{IV}}$, то есть на формирование группировок BO_4^- . Уменьшение интенсивности межзонных переходов связано с трансформацией некольцевых групп, содержащих группировки BO_4^- в интервале значений $0 < x < 10$ мол. % и с перестройкой надструктурных кольцевых групп при $x > 10$ мол. % Na_2O [2].

На рис 1. наблюдается куполообразный вид зависимости $I(\nu)$ в области $0 < x < 10$ мол. %. В интервале $0 < x < 6$ мол. % Na_2O происходит увеличение интенсивности $I(\nu)$ полос поглощения ионов Er(III) и Tm(III), которое объясняется повышением симметрии группировок ErO_6^{3-} и TmO_6^{3-} . При $x > 6$ интенсивность полос поглощения ионов Er(III) и Tm(III) падает из-за снижения симметрии группировок ErO_8^{5-} и TmO_8^{5-} .

Необходимо отметить, что при $x > 15$ интенсивность гиперчувствительных переходов меняется вследствие изменения межчастичных взаимодействий в расплавленной среде. Из рис. 2 видно, что максимальные значения интенсивностей ионов Er(III) и Tm(III) приходится на образование в среде максимального количества мостиковых связей $\text{B}^{\text{IV}}-\text{O}-\text{B}^{\text{IV}}$. Это связано с уменьшением взаимодействия группировок, образуемых катионами-модификаторами с борокислородной сеткой расплава. В этих условиях возрастает симметрия полиэдров ReO_8^{5-} , что приводит к увеличению интенсивности их гиперчувствительных переходов.

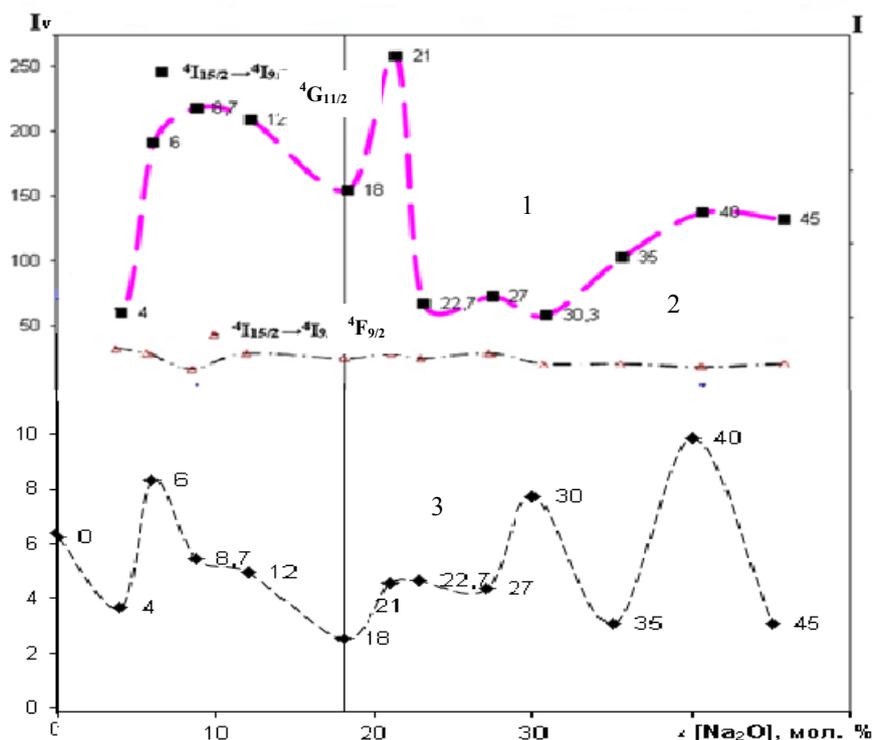


рис. 1. Интегральные интенсивности гиперчувствительных переходов: (1) ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{11/2}$ (шкала слева) и негиперчувствительного электронного перехода (2) ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$ при различных составах расплава $xNa_2O-(100-x)-B_2O_3-Er_2O_3$ (3) Интегральные интенсивности полос межзонного перехода $O_{2p} \rightarrow Na_{3s}$ в зависимости от концентрации Na_2O в расплаве $xNa_2O-(100-x)B_2O_3-Er_2O_3$.

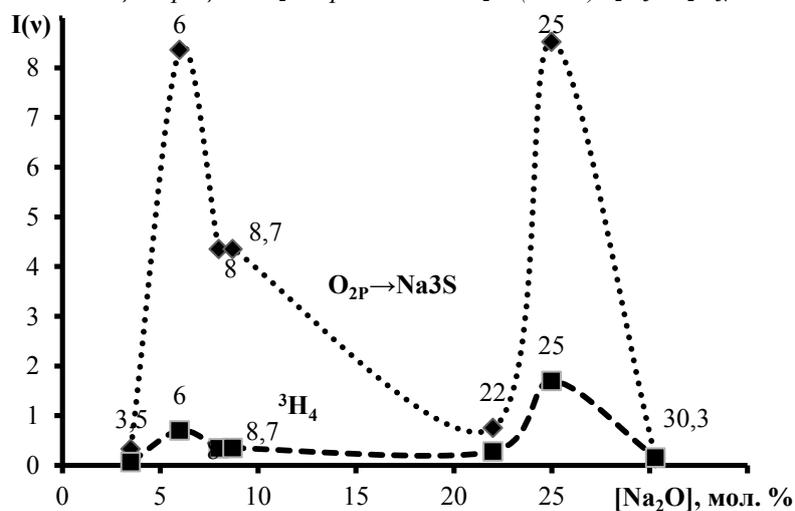


рис.2 Интенсивность 1. гиперчувствительных переходов ${}^3H_6 \rightarrow {}^3H_4$ и 2. межзонного перехода при различных составах расплава $xNa_2O-(100-x)-B_2O_3-Tm_2O_3$

Необходимо отметить, что интенсивности негиперчувствительных переходов в зависимости от симметрии полиэдров ReO_6^{3-} и ReO_8^{5-} меняются противоположным образом по отношению к интенсивности гиперчувствительных переходов. Это видно из рис.1 кривые 1 и 2. Изменения координационных чисел ионов $Er(III)$ и $Tm(III)$ в расплавах $xNa_2O-(100-x)B_2O_3-Er_2O_3$ и $xNa_2O-(100-x)B_2O_3-Tm_2O_3$ происходят в концентрационном интервале от 0 до 15 мол. % Na_2O .

Работа выполнена в рамках госзадания ИМЕТ УрО РАН на оборудовании ЦКП Урал-М.

Список публикаций:

- [1] Хохряков, А.А. Электронные спектры и строение расплавленных смесей $xNa_2O-(100-x) B_2O_3$ и $xNa_2O-Ce_2O_3-(100-x)B_2O_3$.// А.А. Хохряков, А.О. Вершинин, А.С. Пайвин, С.А. Истомин // Бултеровские сообщения – 2016. – Т. 45 – С. 82 – 89.
 [2] Осипов, А.А. Спектроскопия и структура щелочноборатных стекол и расплавов/ А.А. Осипов, Л.М. Осипова // Миасс. – 2009.

Метод синхронного сканирования в диагностике флуоресцирующих состояний протолитических форм флуоресцеина

Суржикова Дарья Павловна

Герасимова Марина Анатольевна

Сибирский федеральный университет

Слюсарева Евгения Алексеевна, д.ф.-м.н.

darya19578@yandex.ru

Флуоресцеин и его галогензамещенные производные (эозин Y, эритрозин В и др.) являются хорошо известными флуоресцентными зондами [1-3]. Благодаря высокой поглощательной способности и флуоресцентным свойствам красители на основе флуоресцеина используются, например, для маркирования и визуализации бесцветных систем (например, живых клеток, белков, углеродных нанотрубок). При изменении рН среды эти красители демонстрируют широкое многообразие ионных форм (дианион, анион, нейтральная молекула, катион), а также наличие таутомерных форм (различные конформеры одного и того же ионного состояния) с существенным различием абсорбционных и флуоресцентных характеристик. Это многообразие ионных форм, а также высокий квантовый выход флуоресценции (напр., у флуоресцеина) дают возможность использования красителей в качестве спектрального индикатора на локальное изменение рН [4,5]. Из-за наличия переноса протона в возбужденном состоянии и перекрытии спектральных контуров флуоресценции индивидуальные контура различных протолитических форм не разрешены даже для такого хорошо исследованного красителя как флуоресцеин. Работа направлена на выявление положения индивидуальных спектральных контуров флуоресценции флуоресцеина при кислых значениях рН, при которых одновременно существует дианионная, анионная, нейтральная и катионная форма красителя.

Для решения данной задачи был применен экспериментальный метод синхронного сканирования, при котором при записи спектра флуоресценции задается фиксированная отстройка между длиной волны возбуждения и испускания (Δ). Данный метод позволяет выявить различные флуоресцирующие компоненты, в случае, если у них существенно различается Стоксов сдвиг. Теоретическая формула формы контура спектра синхронного сканирования имеет вид:

$$I_{\text{н.р.м}}^{\text{теор}}(\lambda) = g(\lambda) \cdot (1 - 10^{-D_{\text{max}} f(\lambda - \Delta)}) \quad (1)$$

Где $f(\lambda)$ и $g(\lambda)$ – нормированные контуры поглощения и флуоресценции, соответственно, D_{max} – значение оптической плотности в максимуме спектра поглощения.

Для теоретических расчетов использованы нормированные теоретические графики поглощения [6] и флуоресценции (полученные предварительно методом Аленцева-Фока) каждой формы.

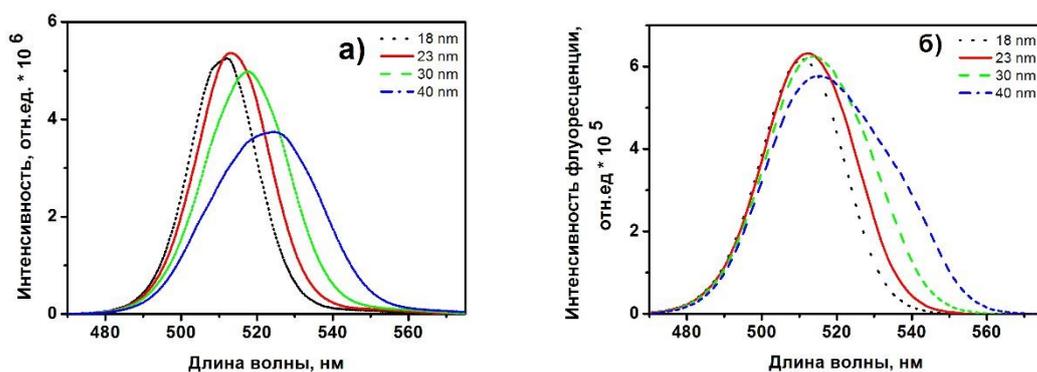


рис.1. Контурсы синхронного сканирования дианионной формы флуоресцеина а) экспериментальные б) теоретические при вариации Δ от 18-40 нм

Для записи спектров синхронного сканирования были использованы растворы флуоресцеина с концентрацией порядка 10^{-6} М, что исключало влияние реабсорбции флуоресценции. Для получения полного набора ионных форм рН раствора варьировался от 0,5 до 12. Согласно теории, при значении рН 0,5 и 12 наблюдается только катионная и дианионная формы флуоресцеина, соответственно, при значениях рН 3 и 5 формируется преимущественно нейтральная и анионная форма соответственно [6]. Измерения проводились через 30 минут после приготовления раствора. Спектры поглощения были сняты на спектрофотометре Lambda 35 (Perkin Elmer США), спектры флуоресценции, возбуждения и синхронного сканирования на спектрофлуориметре Fluorolog 3-22 (Horiba Jobin Yvon, США). Экспериментальные данные обрабатывались в

программе Origin 7.0 и MSExcel. На рис. 1 представлены теоретические и экспериментальные спектры для дианионной формы флуоресцеина.

Из графиков видно, что с увеличением значений Δ , положение максимума спектров синхронного сканирования сдвигается bathochроно. При $\Delta = 23$ нм положение максимума контура синхронного сканирования равно 513 нм, что является максимумом флуоресценции данной формы. При Δ равному Стоксову сдвигу наблюдается максимальная интенсивность. Применительно к другим ионным формам получились следующие результаты. Для моноаниона (рН 5) наблюдается область максимальных амплитуд спектра синхронного сканирования при Δ около 20 нм (теоретическое значение 21 нм), положение максимума 500 нм. Для нейтральной формы (рН 3) наблюдается область максимальных амплитуд при Δ около 80 нм (теоретическое значение составляет 83 нм), положение максимума равно 560 нм. Для катиона (рН 0,5) наблюдается область максимальных амплитуд спектра синхронного сканирования при Δ около 40 нм (теоретическое значение 36 нм), положение максимума 480 нм. Полученные результаты подтверждают правильность данных, впервые полученных методом Аленцева-Фока для положения и формы спектров нейтральной и анионной форм (550 нм и 495 нм соответственно).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-02-00450) также краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках участия во Всероссийской конференции студентов-физиков (ВНКСФ-25).

Список публикаций:

- [1] Zheng H. *Advances in modifying fluorescein and rhodamine fluorophores as fluorescent chemosensors* / X.-Q. Zhan, Q.-N., Bian, X.-J Zhang // *Chem. Commun.* 2013. V. 49. P. 429–447.
- [2] Johnson I.D. *Practical considerations in the selection and application of fluorescent probes* // *Handbook of biological confocal microscopy*. New York: Springer, 2006. P. 353–367.
- [3] Hilderbrand S.A. *Labels and probes for live cell imaging: overview and selection guide* // *Methods of Molecular Biology*. – New York: Humana Press, 2010. P. 17–45.
- [4] Doughty M.J. *pH Dependent spectral properties of sodium fluorescein ophthalmic solutions revisited* // *Ophthalm. Physiol. Opt.* 2010. V. 30. P. 167–174.
- [5] Shlyusareva E.A., *pH-Dependence of the absorption and fluorescent properties of fluorone dyes in aqueous solutions* / M.A. Gerasimova // *Russ. Phys. J.* 2014. V. 56. P. 1370–1377.
- [6] Klonis N., *Spectral properties of the prototropic forms of fluorescein in aqueous solution* / W.H. Sawyer // *J. Fluoresc.* 1996. V. 6. P. 147–157.

Флуоресценция лаурдана в водно-мицеллярных растворах

Титова Татьяна Юрьевна

Морозова Юлия Петровна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

tatyana.yu.titova@gmail.com

Наиболее распространенным способом изменения спектрально-люминесцентных свойств органической молекулы является изменение свойств среды (окружения молекулы). Самым простым способом является использование смесей растворителей (неполярный растворитель+полярный растворитель, вода+полярный растворитель), что приводит к созданию сред с различными донорно- акцепторными и диэлектрическими свойствами [1, 2]. Для биохимических и биофизических исследований эти среды непригодны, т.к. ферменты теряют в них свою активность [3]. Принципиально другой путь открывает применение мицеллообразующих поверхностно-активных веществ (ПАВ). Водные растворы ПАВ при определенных условиях представляют ультрамикроретерогенные системы (организованные среды), возникающие в результате самоорганизации дифильных молекул ПАВ с образованием супрамолекулярных систем (мицелл), способных сольбилизовать молекулы и влиять на межмолекулярные взаимодействия (ММВ) и фотофизические процессы в молекулах [4].

Объектом исследования являлся флуоресцентный зонд лаурдан (6-додеcanoил-2-диметиламинонафталин). Молекула лаурдан является производной нафталина, имеющая длинную углеводородную часть $(\text{CH}_2)_{10}$ и карбонильную группу, что способствует различным типам взаимодействия в неомогенных средах. Тритон X-100 является неионогенным поверхностно-активным веществом (ПАВ) и имеет в составе молекулы гидрофобный (4-третоктилфенол) (1) и гидрофильный фрагменты (2) (рисунок 2) и является модельной системой при изучении биологических объектов. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) Тритона X-100: $2 \cdot 10^{-5}$ М – $6,8 \cdot 10^{-5}$ М, радиус сферической мицеллы – 5 нм [4]. Тритон X-100 представляет собой очень вязкое при комнатной температуре вещество.

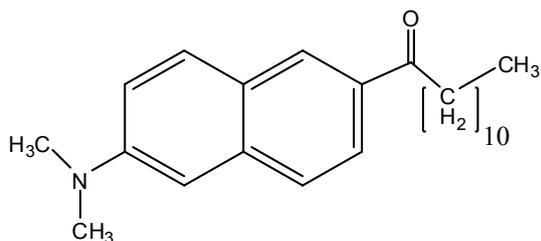


рис. 1. Структура молекулы лаурдан

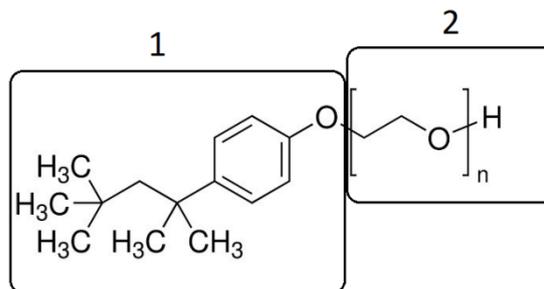


рис. 2. Структура молекулы Тритон X-100

В работе проведено исследование спектрально-люминесцентных свойств лаурдана в Тритон X-100 и в его водных растворах. Проанализированы особенности контуров полос флуоресценции лаурдана в водно-мицеллярных растворах (ВМР) и гомогенных растворителях.

Электронные спектры флуоресценции регистрировались на установке для снятия спектров люминесценции СДЛ-2. Толщина слоя 1 см. Эксперименты проводились при комнатной температуре. В работе использовались следующие степени чистоты: лаурдан (Fluka), Тритон X-100 (BioXtra). Длина волны возбуждения выбиралась из длинноволновой полосы спектра поглощения лаурдана [5]. Водно-мицеллярные растворы лаурдана готовили двумя способами: первый – лаурдан растворяли в заранее приготовленном ВМР; второй – лаурдан растворяли в Тритон X-100 и затем исследовали при различных концентрациях воды.

При рассмотрении особенностей спектров флуоресценции лаурдана в ВМР при концентрации ПАВ 0.016 М (что превышает величину ККМ), отмечено, что спектры флуоресценции лаурдана в ВМР не зависят от длины волны возбуждения (3700–4000 Å) (рисунок 3). В совмещенном масштабе они совпадают. Результаты эксперимента по исследованию флуоресценции раствора лаурдана, растворенного в Тритоне X-100 с различными добавками воды – показаны на рисунке 4. Спектры флуоресценции лаурдана при двух способах приготовления раствора ВМР – совпали.

При увеличении концентрации воды наблюдаем уменьшение интенсивности в максимуме полосы флуоресценции, полуширина и фактор асимметрии при этом не меняются. При дальнейшем добавлении воды (1:2000) – параметры полосы флуоресценции сохраняются.

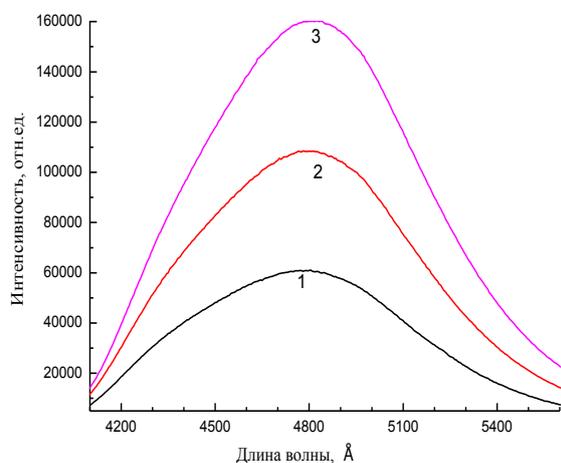


рис. 3 Спектры флуоресценции молекулы лаурдана в смеси Тритон X-100 + вода при разных длинах волн возбуждения (1 – 3700 Å, 2 – 3800 Å, 3 – 4000 Å)

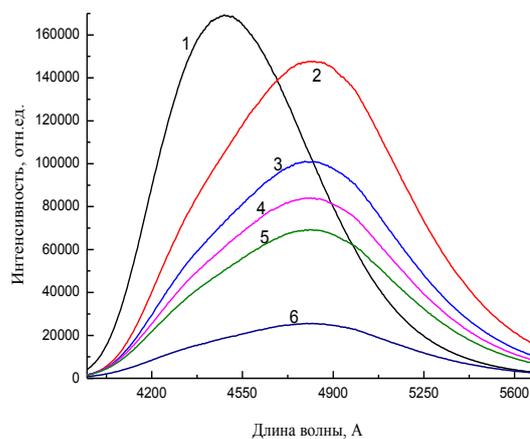


рис. 4. Спектр флуоресценции раствора лаурдана в Тритоне X-100 (1) и раствора лаурдана в Тритоне X-100 с различными добавками воды, при соотношении Тритона X-100 и воды (2 – 1:25; 3 – 1:50; 4 – 1:75; 5 – 1:100; 6 – 1:350)

Для лаурдана использование в качестве среды ВМР при концентрации ПАВ выше ККМ приводит к значительному изменению его флуоресцентных свойств по сравнению с гомогенными растворителями, что проявляется в: изменении контура полосы флуоресценции; появлении новой полосы флуоресценции в коротковолновой области (относительно максимума полосы флуоресценции), обусловленной гидрофобной

сольватацией лаурдана (взаимодействие лаурдана с мицеллой); отсутствием взаимодействия (водородной связи) по карбонильной группе лаурдана с молекулами воды.

В работе определена диэлектрическая проницаемость окружения молекулы зонда в ВМР.

Список публикаций:

[1] Бахшиев Н. Г. // Изд-во СПбГУ, 2005. 500 с.

[2] Теренин А. Н. // Л.: Наука, 1967. 616 с.

[3] Вережников В.Н. / Издательско-полиграфический центр Воронежского гос. ун-та. 2008. 74с

[4] Водолазкая Н.А., Исаенко Ю.В., Гога С.Т. // X.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2006. 64 с.

[5] Titova T. Yu., Artyukhov V. Ya., Zharkova O. M., Morozova Ju. P. // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2014. V. 124. P. 64–69.

Применение машинного обучения в *operando* XANES спектроскопии на примере нанокатализаторов Pd

Усольцев Олег Андреевич

Гуда Александр Александрович, Гуда Сергей Александрович

Южный федеральный университет

Бугаев Арам Лусеменович

oleg-usol@yandex.ru

Машинное обучение является передовым методом, применяемым во многих областях науки. Он отлично подходит для задач с большим количеством параметров и эффективен для обработки больших данных. Спектроскопия тонкой структуры в околопороговой области (XANES) является мощным инструментом, широко применяемым для определения атомных и электронных свойств нанокатализаторов [1]. Анализ XANES данных включает расчет теоретических моделей с огромным количеством структурных параметров. Поэтому применение машинного обучения к *in situ* и *operando* XANES открывает новые возможности для характеристики вещества.

Именно XANES анализ позволил определить образование карбидной и гидридной фаз в ядре и в оболочке наночастиц (НЧ) палладия в ходе реакций гидрирования [2]. Взаимодействие между этими фазами существенно влияет на активность и селективность катализаторов. Таким образом, исследование образования карбидной фазы в НЧ палладия под действием углеродосодержащих газов представляет практический интерес для каталитической химии.

Мы применили метод Extra Trees для XANES спектров НЧ палладия с временным разрешением. Была получена зависимость структурных параметров от времени и сравнена с анализом главных компонент (PCA) и методом многомерной интерполяции [3]. Обучающая выборка построена на основе теоретических спектров XANES, рассчитанных в программном комплексе FDMNES для НЧ палладия с различными межатомными расстояниями и с примесями углерода и водорода. Мы использовали Latin Hypercube для моделирования 5000 спектров, соответствующих 7 независимым параметрам в обучающей выборке. Разностные спектры для 6 фиксированных параметров, зависящих от межатомных расстояний, показаны на рис. 1.

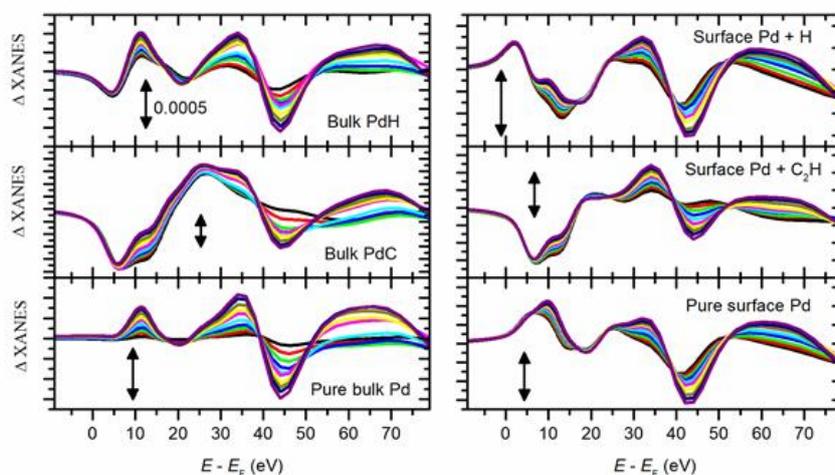


рис. 1. Теоретические разностные спектры для различных параметров в зависимости от межатомного расстояния от 3,87 Å (черная линия) до 4,02 Å (фиолетовая линия).

Затем мы провели машинное обучение для получения структурных параметров, по лучшему согласию теоретического спектра с экспериментальным. Пример такой подгонки для XANES спектра НЧ палладия в присутствии ацетилена показан на рис. 2. Параметры, полученные из этой подгонки, позволяют сделать вывод, что в этих условиях: (i) гидридная фаза не образуется; (ii) доля поверхностных атомов близка к 0.4; (iii) относительная доля атомов углерода в объеме (C / Pd) составляет ~ 0.13 ; (iv) на поверхности 1 молекула ацетилена приходится на 4 атома палладия.

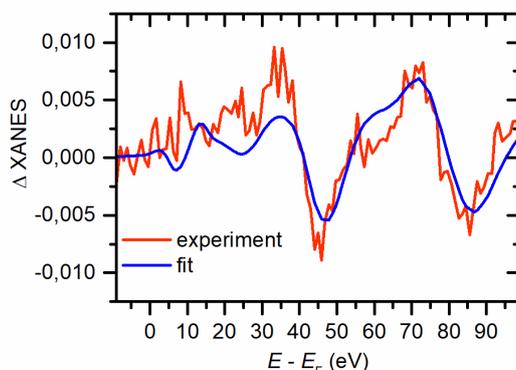


рис. 2. Результат подгонки XANES для НЧ палладия под действием ацетилена.

Список публикаций:

- [1] Guda A.A., Guda S.A., Lomachenko K.A. et al. // *Catalysis Today*. 2018. (DOI: 10.1016/j.cattod.2018.10.071)
 [2] Bugaev A.L., Usoltsev O.A., Lazzarini A. et al. // *Faraday Discussions*. 2018. (DOI: 10.1039/C7FD00211D)
 [3] Smolentsev G.Yu., Soldatov A.V. // *J Synchrotron Radiat*. 2006. 13(Pt 1): p. 19-29. (DOI: 10.1107/S0909049505038975)

Исследование Фурье-спектра высокого разрешения молекулы H_2S в районе второй гексады

Чжан Фанцэ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Улеников Олег Николаевич, д.ф.-м.н.

1946529618@qq.com

Знание внутренней динамики, которая определяется потенциальной функцией, является необходимым условием понимания процессов, протекающих в молекуле. Получение точной информации о потенциальных функциях различных молекул является актуальной задачей для многих разделов физики и химии молекул. Знание потенциальной функции имеет решающее значение при решении уравнения Шрёдингера для молекулы, которое позволит определить набор значений энергии и собственных волновых функций. В свою очередь, эта информация позволяет решать многочисленные проблемы физической химии, астрофизики, планетологии, атмосферной оптики и т.д. [1-2]. Колебательно-вращательные спектры высокого разрешения молекул являются уникальным и наиболее полным источником данных о характере и различных свойствах молекул, их внутримолекулярных взаимодействиях.

Молекула H_2S является молекулой типа ассиметричного волчка со значением параметра ассиметрии $k \approx 0,532$ и симметрией, изоморфной точечной группе симметрии C_{2v} . Центры трех фундаментальных полос ν_1 , ν_2 и ν_3 расположены на 2614,44, 1182,53 и 2628,37 cm^{-1} и эти полосы являются полосами симметрии A_1 , A_1 и B_1 соответственно. Как следствие, колебательные состояния (210), (012), (130), (050) второй гексады являются симметричными, A_1 , а (111), (031) являются ассиметричными, B_1 . По этой причине правила отбора: $\Delta J = 0, \pm 1$; $\Delta K_a = \pm (2n + 1)$; $\Delta K_c = \pm (2m + 1)$ выполняются для полос $2\nu_1 + \nu_2$, $5\nu_2$, $3\nu_1 + \nu_2$ и $\nu_2 + 2\nu_3$ и $\Delta J = 0, \pm 1$; $\Delta K_a = \pm 2n$; $\Delta K_c = \pm (2m + 1)$ - для полос $\nu_1 + \nu_2 + \nu_3$, $3\nu_2 + \nu_3$. Числа n и m принимают значения 0, 1, 2, ... При этом, когда $n = m = 0$, переходы называются "разрешенными", в противном случае - это так называемые "запрещенные" переходы.

Три спектра высокого разрешения молекулы H_2S (естественная концентрация при комнатных условиях) были зарегистрированы в районе второй гексады на Фурье спектрофотометре Bruker IFS-120 HR в Техническом университете Брауншвейга (Германия). На рисунке 1 проведены обзорные спектры в диапазоне 5700–6600 cm^{-1} , в пределах которого расположены шесть исследуемых полос.

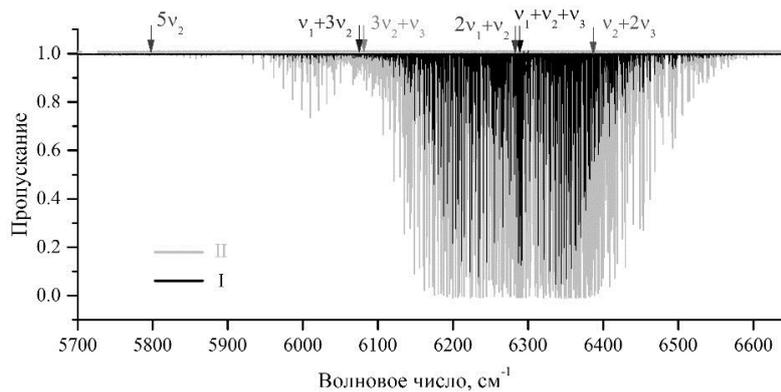


рис.1. Экспериментально зарегистрированный спектр молекулы H_2S в районе второй гексады

Экспериментальные условия регистрации спектров:

Спектр	Разрешение / $см^{-1}$	Число скан	Спектральный диапазон / $см^{-1}$	Детектор	Светодиод	Опт. Длина пути /м	Температура / $^{\circ}C$	Давление /Па
I	0,005	1220	3400 \square 10400	МСТ	KBr	4	24 \pm 0,5	400
II	0,005	1620	3400 \square 10400	МСТ	KBr	24	24 \pm 0,5	500
III	0,005	1160	3400 \square 10400	МСТ	KBr	182	24 \pm 0,5	500

Для теоретического анализа была использована модель колебательно-вращательного эффективного гамильтониана, которая учитывает резонансные взаимодействия между исследуемыми состояниями. Данная модель гамильтониана имеет следующий вид:

$$H^{vib-rot.} = \sum_{v, \tilde{v}} |v\rangle \langle \tilde{v}| H^{v\tilde{v}} \quad (1)$$

где v, \tilde{v} – колебательные состояния. Диагональный блок оператора $H^{v\tilde{v}}$ называется гамильтонианом Уотсона и имеет следующий вид [3]:

$$H^{vv} = E^v + [A^v - \frac{1}{2}(B^v + C^v)]J_z^2 + \frac{1}{2}(B^v + C^v)J^2 + \frac{1}{2}(B^v - C^v)J_{xy}^2 - \Delta_K^v J_z^4 - \Delta_{JK}^v J_z^2 J^2 - \Delta_K^v J^4 - \delta_K^v [J_z^2, J_{xy}^2]_+ - 2\delta_{JK}^v J^2 J_{xy}^2 + H_{KK}^v J_z^6 + H_{JK}^v J_z^4 J^2 + H_{JK}^v J_z^2 J^4 + H_{JK}^v J^6 + [J_{xy}^2, h_{JK}^v J_z^4 + h_{JK}^v J_z^2 J^2 + h_{JK}^v J^4]_+ + L_K^v J_z^8 + L_{KKJ}^v J_z^2 J^2 + L_{JK}^v J_z^4 J^4 + L_{KKJ}^v J_z^2 J^6 + L_J^v J_z^8 + \dots \quad (2)$$

где J_α ($\alpha = x, y, z$) являются компонентами оператора углового момента; $J_{xy}^2 = J_x^2 - J_y^2$; [..., ...] $_+$ обозначает антикоммутатор; E являются центром полосы или колебательной энергии; A^v, B^v и C^v - вращательные постоянные, связанные с колебательными состояниями (v); $\Delta_K, \Delta_{JK}, \Delta_J$ и остальные параметры являются параметрами центробежного искажения различного порядка. Недиагональные блоки оператора, которые описывают взаимодействие типа Ферми (резонанс между состояниями одинаковой симметрии), имеют следующий вид:

$$H_F^{v\tilde{v}} = {}^w F_0 + {}^w F_K J_z^2 + {}^w F_J J^2 + \dots + {}^w F_{Jy} (J_x^2 - J_y^2) + {}^w F_{Kxy} \{J_z^2, (J_x^2 - J_y^2)\}_+ + 2 {}^w F_{Jxy} J^2 (J_x^2 - J_y^2) + \dots \quad (3)$$

Недиагональные блоки оператора, описывающие Кориолисово взаимодействие (резонанс между состояниями разной симметрии), имеют следующий вид:

$$H_{Cv}^{v\tilde{v}} = iJ_y H_w^{(1)} + H_w^{(1)} iJ_y + \{J_x, J_z\}_+ H_w^{(2)} + H_w^{(2)} \{J_x, J_z\}_+ + \{iJ_y, (J_x^2 - J_y^2)\}_+ H_w^{(3)} + H_w^{(3)} \{iJ_y, (J_x^2 - J_y^2)\}_+ + \dots \quad (4)$$

Значения $H_w^{(i)}$ ($i=1,2,3$) в уравнении (4) также являются операторами, и они могут быть записаны в общем виде, как

$$H_w^{(i)} = \frac{1}{2} {}^w C^i + {}^w C_K^i J_z^2 + \frac{1}{2} {}^w C_J^i J^2 + {}^w C_{KK}^i J_z^4 + \dots \quad (5)$$

Интерпретация переходов была выполнена методом комбинационных разностей основного состояния (GSCD) [4]. По результатам анализа зарегистрированного спектра было проинтерпретировано более 600, 700, 50, 190, 250 и 20 энергетических переходов, из которых были получены 160, 181, 30, 67, 81 и 7 верхних энергетических уровней возбужденных состояний исследуемых полос $2\nu_1+\nu_2, \nu_1+\nu_2+\nu_3, 5\nu_2, 3\nu_2+\nu_3, 3\nu_1+\nu_2$ и $\nu_2+2\nu_3$, соответственно. Следует отметить, что ранее данный диапазон исследовался в [5], в нашей работе мы получили информацию примерно в 2,5 раза больше числе переходов и как следствие примерно в 2 раза больше энергии колебательно-вращательных верхних колебательных состояний.

Список публикаций:

- [1] Betz L. // *Astrophys. J.* 1981. V. 244. P. L103-L105.
- [2] Coustenis A., Salama A., Schulz B., et al. // *Icarus.* 2003. V. 161. P. 383-403.
- [3] Watson J. K. G. // *J. Chem. Phys.*, 1967, V. 46, P. 1935.
- [4] Герцберг Г. // *Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул.* М.: ИЛ, 1965.
- [5] Vukov A. D., Naumenko O. V., et al. // *Can. J. Phys.* 1994. V. 72. P. 989-1000.

Разработка термочувствительного волоконно-оптического рассеивателя излучения для фотодинамической терапии

Щербакова Виктория Александровна¹

Конин Юрий Александрович^b, Стариков Сергей Сергеевич¹, Гаранин Андрей Иванович²

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Вольхин Игорь Львович

scherbackova.vict@mail.ru

Настоящая работа посвящена исследованию возможности использования френелевского рассеяния в сердцевине оптического световода волоконного рассеивателя для создания датчика температуры. В качестве рассеивателя можно использовать оптические неоднородности сердцевины, образующиеся при fuse-effect. Впервые о разрушении одномодовых световодов на силикатной основе под действием оптического излучения было опубликовано в 1987 г. [1]. Внешне явление выглядит следующим образом: если в одномодовый световод вводится лазерное излучение порядка 1 Вт, то при определенных условиях в области сердцевины световода возникает область яркого свечения (искра), которая движется навстречу лазерному излучению по световоду со скоростью порядка 1 м/с [2]. В сердцевине световода после «пробегания» искры образуются микрополости (или пузыри, или каверны) размерами несколько микрометров [3]. Одним из применений данного эффекта является создание различных оптических датчиков, которые могут работать в опасных или враждебных средах [4], [5]. В настоящей статье была исследована чувствительность волоконно-оптического датчика, созданного при помощи катастрофического разрушения сердцевины волокна, к изменению температуры.

Для создания датчика температуры к открытому выходному концу волоконного лазера вплотную подводится металлический отражатель. Возникшее детонационное разрушение приводило к образованию микрополостей в сердцевине волокна. Для проверки чувствительности рассеивателя к изменению температуры был разработан макет, состоящий из лазерного диода накачки, разветвителя, волоконной брегговской решетки и свободного конца волновода, к которому приваривались различные рассеиватели излучения. На рис. 1 приведена схема разработанного макета.

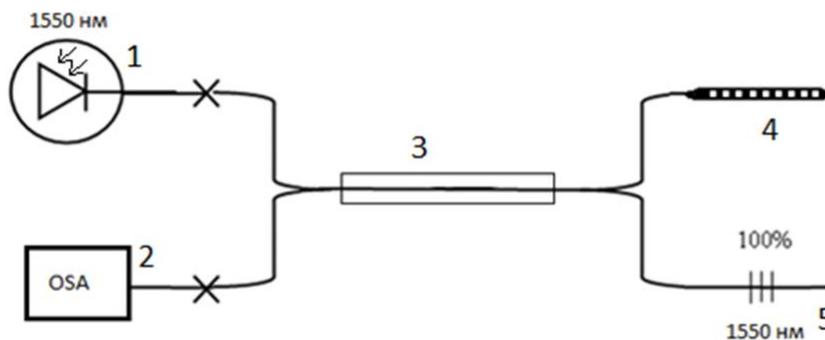


рис. 1. Схема макета для проверки чувствительности рассеивателей к изменению температуры, где 1 – лазерный диод, 2 анализатор спектра, 3 – волоконный разветвитель, 4 – рассеиватель с датчиком температуры, 5 – решетка Брегга.

В ходе эксперимента рассеиватель света помещался в термокамеру, в которой температура каждые 10 минут скачкообразно повышалась на 2,5 градуса в диапазоне от 30 до 42° С. Полученная зависимость приведена на рис. 2.

И как видно из рис. 2, при увеличении температуры спектр обратного отражения оптического сигнала от рассеивателя излучения сдвигается вправо, поэтому мощность отраженного излучения, измеренного анализатором спектра уменьшается. Таким образом, по амплитуде мощности излучения обратных отражений можно определить температуру в месте расположения рассеивателя с точностью до 1,25°С.

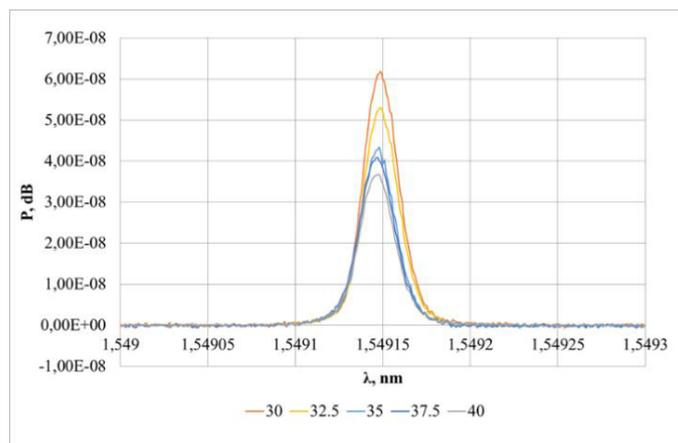


рис. 2. Зависимость мощности от длины волны для рассеивателя излучения.

Таким образом, в ходе исследования специальный макет для проверки чувствительности рассеивателей к изменению разных температурах была выявлена зависимость амплитуды мощности обратного излучения от температуры. Это доказывает, что разработанный и изготовленный рассеиватель может применяться как датчик температуры. Планируется продолжение экспериментов на других температурах в интервале $30 \pm 42^\circ\text{C}$, что позволит увеличить точность измерений температуры.

Список публикаций:

- [1] I.A. Bufetov, E. M. Dianov. *Optical discharge in optical fibers*. // *UFN* 175 100 – М. 2005. – №1. – pp. 100–103.
 [2] R. Kashyap. *Self-propelled self-focusing damage in optical fibers*. // *USA Conf. Lasers '87*. – 1987. – pp. 859-866.
 [3] D.P. Hand, P.S.J. Russell. *Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers: the fiber fuse*. // *Opt. Lett.* – 1988. – 13(9). – 767-769.
 [4] *Hydrostatic pressure sensor based on micro-cavities developed by the catastrophic fuse effect*. – M.F. Dominguesa, T. Paixão, E. Mesquita, N. Alberto, P. Antunesa, H. Varum, P.S. André. // *Portugal. Proc. of SPIE* – 2015. – Vol. 9634. – pp. 193-197.
 [5] *Enhanced sensitivity high temperature optical fiber FPI sensor created with the catastrophic fuse effect*. – M.F. Dominguesa, T. Paixão, E. Mesquita, N. Alberto, P. Antunesa, H. Varum, P.S. André. // *Portugal. Proc. Of SPIE* – 2015. – Vol. 9634. – pp. 972-974.

Создание базы рамановских спектров различных типов пластиков

Якимова Ксения Валерьевна

Севастопольский государственный университет

Мосунов Андрей Алексеевич, к.ф.-м.н.

yakimova.kseniya1997@gmail.com

По мере развития химии стало возможно не только более эффективное использование природных материалов, но и синтез новых материалов, не встречающихся в природе. Одним из таких материалов является пластик. Пластмассы или пластики — органические материалы, основой которых являются синтетические или природные высокомолекулярные соединения (полимеры)[1]. Первый пластик (паркезин) был получен на основе нитрата целлюлозы [2]. В последующие годы был синтезирован поливинилхлорид, целлофан, винил и прочие виды пластика. Производство синтетических пластмасс основано на реакциях полимеризации, поликонденсации или полиприсоединения низкомолекулярных исходных веществ. На сегодняшний день принято выделять шесть основных видов пластика. По мере развития химической промышленности синтез пластика стал более простым и доступным. Пластик нашёл широкое применение в быту, технике и медицине. По мере увеличения производства пластика стал актуален вопрос переработки и утилизации пластиковых отходов. Кроме скопления большого количества пластиковых отходов на суше, пластик представляет большую угрозу для Мирового океана. Пластиковый мусор опасен тем, что морские животные, зачастую, могут не разглядеть прозрачные частицы, плавающие по поверхности, и токсичные отходы попадают им в желудок, часто становясь причиной летальных исходов. Взвесь пластиковых частиц напоминает зоопланктон, и медузы или рыбы могут принять их за пищу. Большое количество долговечного пластика (крышки и кольца от бутылок, одноразовые зажигалки) оказывается в желудках морских птиц и животных[3], в частности, морских черепах и черноногих альбатросов[4]. Помимо прямого причинения вреда животным[5], плавающие отходы могут впитывать из воды органические загрязнители, включая ПХБ (полихлорированные бифенилы), ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметан) и ПАУ (полиароматические углеводороды). Некоторые из этих веществ не только токсичны[6] — их структура сходна с гормоном эстрадиолом, что приводит к гормональному сбою у отравленного животного. Эти и многие другие причины делают проблему утилизации пластика из водной

среды особенно актуальной. Однако при длительном нахождении пластика в воде становится невозможным определить конкретный вид пластика. Обычно вид пластика определяется по маркировке или ряду физических свойств: цвет, структура, особенности горения. Используя метод рамановской спектроскопии (спектроскопия комбинационного рассеяния) можно получить спектр каждого вида пластика. Затем, составив базу рамановских спектров пластика (соответствие каждому виду пластика определенного спектра) будет возможно определять вид пластика, сравнивая образцы с данными из базы. Точно узнав вид пластика можно наиболее эффективно утилизировать его.

Целью данной работы является создание базы рамановских спектров различных типов пластика. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Снятие рамановских спектров для основных шести типов пластика.
2. Анализ полученных спектров и соотнесение структуры спектра с химической структурой вещества.
3. Сравнение спектров неопределённых видов пластика со спектрами из базы.
4. Определение вида пластика для данных образцов.

Центральное место в данной работе занимает метод рамановской спектроскопии. Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния) — вид спектроскопии, в основе которой лежит способность исследуемых систем (молекул) к неупругому (рамановскому, или комбинационному) рассеянию монохроматического света. Суть метода заключается в том, что через образец исследуемого вещества пропускают луч с определенной длиной волны, который при контакте с образцом рассеивается. Полученные лучи с помощью линзы собираются в один пучок и пропускаются через светофильтр, отделяющий слабые (0,001 % интенсивности) рамановские лучи от более интенсивных (99,999 %) рэлеевских. «Чистые» рамановские лучи усиливаются и направляются на детектор, который фиксирует их частоту. По сравнению с другими методами вибрационной спектроскопии, например, ИК-Фурье и спектроскопии ближнего ИК, спектроскопия комбинационного рассеяния (рамановская) имеет ряд преимуществ. Они являются следствием того, что рамановский эффект наблюдается в рассеянном свете от образца, а не в спектре поглощения образцом света. Поэтому рамановская спектроскопия не требует специальной подготовки образца и нечувствительна к полосам поглощения. Это свойство рамановской (КР) спектроскопии облегчает процесс непосредственного измерения в твердых, жидких и газообразных средах, а также измерения через прозрачные материалы, например, стекло, кварц, пластмассу.

По аналогии с ИК-Фурье спектроскопией, рамановская спектроскопия весьма избирательна, что позволяет идентифицировать и дифференцировать молекулы и химические образцы, которые очень похожи между собой. На рис.1 показан пример с пятью похожими молекулами – ацетоном, этанолом, диметилсульфоксидом, этилацетатом и толуолом. Несмотря на то, что каждый химический элемент имеет подобную молекулярную структуру, их рамановские спектры заметно отличаются, это видно даже невооруженным взглядом. С помощью справочника рамановских спектров можно без труда определить материал. В данной работе проводится составление подобного справочника, где каждому виду пластика соответствует свой рамановский спектр.

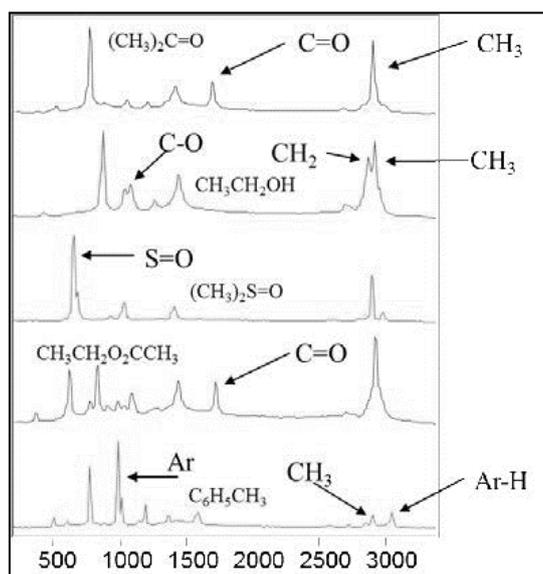


рис. 1. Рамановские спектры разных молекул

Всего рассматривается 6 видов пластика:

1. ПЕТ или ПЕТЕ (код ПЕТЕ, иногда ПЕТ и цифра 1.) — полиэтилентерефталат (пластмасса ПЭТ или ПЭТФ).
2. HDPE— полиэтилен высокой плотности низкого давления (пластмасса ПНД) .
3. PVC— поливинилхлорид (пластмасса ПВХ).
4. LDPE — полиэтилен низкой плотности высокого давления (пластмасса ПВД).
5. PP - полипропилен (пластмасса ПП).
6. PS - полистирол (пластмасса ПС).

В данной работе были получены рамановские спектры всех вышеперечисленных видов пластика. В настоящее время проводится их анализ и систематизация. На основании полученных данных в будущем возможно идентифицировать образцы, полученные в частности, в виде микропластика при отборе проб загрязненной морской воды.

Список публикаций:

- [1] Тростянская Е. Б., Бабаевский А. Г. *Пластические массы // Химическая энциклопедия: в 5 т / Кнунянц И. Л. (гл. ред.). — М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. — Т. 3: Мед—Пол. — С. 564—565.*
- [2] Edward Chauncey Worden. *Nitrocellulose industry. New York, Van Nostrand, 1911, p. 568. (Parkes, English patent #2359 in 1855)*
- [3] Moore, Charles. *Across the Pacific Ocean, plastics, plastics, everywhere, Natural History Magazine (November 2003).*
- [4] Moore, Charles. *Great Pacific Garbage Patch, Santa Barbara News-Press (2 октября 2002)*
- [5] Rios, L. M.; Moore, C. and Jones, P. R. (2007). "Persistent organic pollutants carried by Synthetic polymers in the ocean environment". *Marine Pollution Bulletin. 54: 1230—1237*
- [6] Tanabe, S.; Watanabe, M., Minh, T.B., Kunisue, T., Nakanishi, S., Ono, H. and Tanaka, H. (2004). "PCDDs, PCDFs, and coplanar PCBs in albatross from the North Pacific and Southern Oceans: Levels, patterns, and toxicological implications". *Environmental Science & Technology. 38: 403—413*

Микроволновая антенна для когерентного управления ансамблем NV-центров в алмазе

Ярошенко Виталий Витальевич

Университет ИТМО

Капитанова Полина Вячеславовна, к.т.н.

v.yaroshenko@metalab.ifmo.ru

Азото-замещённая вакансия в алмазе (NV-центр или nitrogen-vacancy center) — это один из многочисленных точечных дефектов алмаза, который может служить источником одиночных фотонов или рассматриваться как базовый элемент будущего квантового процессора. Для практического применения интересны не только одиночные NV-центры в алмазе, но и их ансамбли. Они могут найти широкое применение в метрологических приборах, включая сверхточные магнитометры [1], биосовместимую термометрию [2], датчики электрического поля [3] и датчики деформации [4]. Для разработки датчиков с высокой чувствительностью требуется когерентное возбуждение ансамбля NV-центров в большом объеме алмаза микроволновым магнитным полем. Поэтому стоит задача создания микроволновых антенн, способных формировать однородное, интенсивное микроволновое магнитное поле в объеме для управление проекцией спина электрона в основном состоянии NV-центра.

В данной работе мы предлагаем новую микроволновую антенну, которая обеспечивает однородное циркулярное магнитное поле. Антенна состоит из диэлектрического цилиндрического резонатора, для возбуждения которого используются два миниатюрных кольца с током (см. рис.1а), расположенных во взаимноортогональных плоскостях. Для получения циркулярного магнитного поля в резонаторе кольца с током запитываются со сдвигом фазы поля 90° относительно друг друга. В качестве материала диэлектрического резонатора была выбрана микроволновая керамика, с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 235$ и тангенсом угла потерь $\tan(\delta) = 3 \cdot 10^{-3}$ на частоте 3 ГГц.

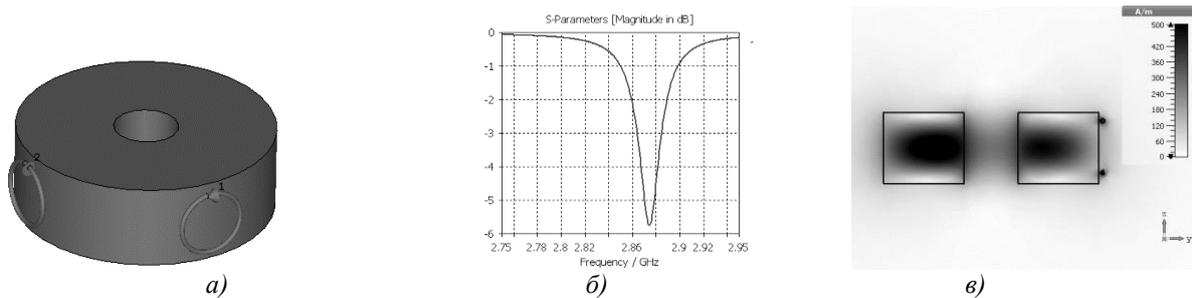


рис.1. а) Модель микроволновой антенны; б) Согласование; в) Распределение микроволнового магнитного поля внутри

Аналитически были рассчитаны геометрические размеры цилиндрического резонатора [5,6]. В программном пакете CST Microwave Studio была построена модель антенны с учетом элементов возбуждения. Было выполнено численное моделирование электромагнитных полей, проведена оптимизация геометрических параметров резонатора и положений колец с током для достижения наибольшей амплитуды магнитного поля в центре с учетом сквозного отверстия вдоль оси цилиндра. Аналитический расчет позволяет рассчитать резонатор без отверстия. Отверстие требуется для того, чтобы поместить внутрь алмаз с NV-центрами, где наблюдается наибольшая амплитуда и однородность микроволнового магнитного поля (см. рис.1в). Высота, внешний и внутренний диаметры составляют 4.24 мм, 12.8 мм и 3.2 мм соответственно. На частоте 2.87 ГГц, соответствует энергии расщепления основного состояния NV-центра в отсутствии внешнего магнитного поля и при нормальных окружающих условиях, антенна согласована лучше, чем -5 dB (см. рис.1б). Амплитуда магнитного поля в центральной точке резонатора равна 300 А/м и увеличивается по радиусу к краю внутреннего отверстия до 400 А/м, при подаваемой мощности 5 Ватт на каждый порт (см. рис.1в).

На следующем этапе исследования была рассчитана частота Раби и ее относительное отклонение. Предполагалось, что алмаз объемом от 0.5 до 10 мм³ с NV-центрами располагается в центре внутреннего отверстия антенны. Было показано, что для алмазов с объемом менее 3 мм³ частота Раби составляет 16 МГц при этом её среднее относительное отклонение менее 1%.

Предлагаемая микроволновая антенна обеспечивает однородное циркулярное магнитное поле для когерентного управления ансамбля NV-центров, что может быть потенциально использовано для увеличения чувствительности метрологических датчиков.

Данная работа поддержана грантом Российского Научного Фонда (грант № 17-72-10280).

Список публикаций:

- [1] Taylor, J. M.; Cappellaro, P.; Childress, L.; Jiang, L.; Budker, D.; Hemmer, P. R.; Yacoby, A.; Walworth, R.; Lukin, M. D. *Nat. Phys.* 2008, 4 (10), 810-816.
- [2] Fedotov, I. V.; Safronov, N. A.; Ermakova, Y. G.; Matlashov, M. E.; Sidorov-Biryukov, D. A.; Fedotov, A.B.; Belousov, V. V.; Zheltikov, A. M. *Sci. Rep.* 2015, 5, 15737.
- [3] Dolde, F.; Fedder, H.; Doherty, M. W.; Nabauer, T.; Rempp, F.; Balasubramanian, G.; Wolf, T.; Reinhard, F.; Hollenberg, L. C. L.; Jelezko, F.; Wrachtrup, J. *Nat. Phys.* 2011, 7 (6), 459-463.
- [4] Ali Momenzadeh, S.; de Oliveira, F. F.; Neumann, P.; Bhaktavatsala Rao, D. D.; Denisenko, A.; Amjadi, M.; Chu, Z.; Yang, S.; Manson, N. B.; Doherty, M. W.; Wrachtrup, J. *Phys. Rev. Appl.* 2016, 6 (2), 24026.
- [5] Aussenhofer SA 1, Webb AG. *Magn Reson Med.* 2012; 68(4):1 325-31
- [6] C. Balanis *Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition* 2015

10 - Квантовая электроника

Васнев Николай Александрович, аспирант 2 года обучения
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 стр. 266

Власов Василий Васильевич, аспирант 4 года обучения
Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, отделение спектроскопии атмосферы
Управление параметрами импульсов излучения лазера на парах бромида меди
Тригуб Максим Викторович, к.т.н.
e-mail: vlasov3.vvv@gmail.com стр. 268

Капуста Дмитрий Николаевич, 6 курс
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 стр. 269

Савинов Константин Николаевич, магистрант 2 года обучения
Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, физико-технический
Источник многочастотной накачки КПН резонансов на основе диодного лазера
Дмитриев Александр Капитонович, д.ф.-м.н.
e-mail: k.n.savinov@yandex.ru стр. 270

Ткаченко Роман Андреевич, 6 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Исследование характеристик излучения импульсного индукционного Ag I лазера
Чуркин Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: tkachenkora23@yandex.ru стр. 271

Филонов Антон Александрович, магистрант 2 года обучения
Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, Институт лазерной физики, физико-технический
Импульсный газоразрядный лазер на переходах BrF молекул с накачкой объемным поперечным электрическим разрядом
Каргапольцев Евгений Сергеевич,
e-mail: tosha.t2017@yandex.ru стр. 272

Визуализация объектов с помощью моностатической и бистатической схемы лазерного монитора

Васнев Николай Александрович
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Тригуб Максим Викторович, к.т.н.
vasnev.nickol@yandex.ru

Интенсивное развитие пучковых, плазменных, разрядных и лазерных технологий делает востребованными методы и приборы неразрушающего контроля на основе пассивных и активных оптических систем [1]. Использование активной оптической системы, лазерного монитора, позволяет сформировать пригодные для анализа изображения тестовых объектов и процессов даже в условиях фонового излучения, однако дистанция визуализации не превышает при этом 3.3 метров [2]. Бистатическая схема лазерного монитора призвана расширить возможности визуализации с помощью активных сред на парах металлов.

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки с двумя лазерными активными элементами на парах бромида меди (510.6 нм, 578.2 нм). Излучение источника подсветки (1), снабженного плоскопараллельным резонатором (2, 3), направлялось зеркалами (4, 5) на объект наблюдения (6). Объектив (7) формировал изображение на экране (8), которое проходило через газоразрядную трубку усилителя яркости (9). Регистрация изображений осуществлялась цифровой фотокамерой Sony ILCE-5000 (10). Экран (11) использовался в тех случаях, когда было необходимо перекрыть излучение источника подсветки. При дистанции визуализации свыше 2,5 метров в оптическую схему добавлялся объектив (12). Более детальное описание макета бистатического лазерного монитора представлено в работе [3].

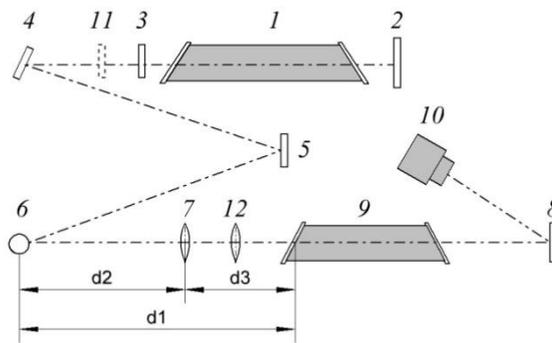


рис. 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – источник подсветки; 2, 3 – плоскопараллельный резонатор источника подсветки; 4, 5 – зеркала; 6 – объект наблюдения; 7 – объектив ОКП1-350-1 ($f=350$ мм); 8 – экран; 9 – усилитель яркости; 10 – цифровая фотокамера (Sony ILCE-5000); 11 – экран; 12 – объектив Hellios 44-2 ($f=58$ мм)

Экспериментальная установка позволяла формировать изображения сразу несколькими способами: с помощью моностатической схемы лазерного монитора, посредством бистатической схемы, а также методом лазерной подсветки – это обеспечивало возможность наглядно сравнивать оптические изображения объекта наблюдения, формируемые перечисленными способами при прочих равных условиях эксперимента. Для получения изображений по методу лазерной подсветки накачка усилителя яркости приостанавливалась, поэтому его газоразрядная трубка являлась прозрачной средой для сигнала, несущего изображение. В случае моностатического лазерного монитора излучение источника подсветки перекрывалось экраном (11), а в его отсутствие система визуализации соответствовала бистатической схеме лазерного монитора.

Первая серия экспериментов проводилась при сравнительно малых дистанциях d_1 ($0,5 \div 1,5$ м) между объектом наблюдения (металлическая монета) и усилителем яркости; дистанция d_2 при этом оставалась неизменной. Температура контейнеров с бромидом меди усилителя яркости изменялась в диапазоне от 480 до 570 °С, что позволяло варьировать коэффициент усиления. Метод лазерной подсветки предполагает размещение объекта наблюдения под таким углом, когда отражение от его поверхности и, соответственно, яркость полученного изображения будут максимальными (рис. 2, а). Однако такое расположение объекта не позволяло сформировать изображение усиленным спонтанным излучением усилителя яркости, то есть в схеме моностатического лазерного монитора. В связи с этим подбиралось такое расположение объекта, при котором удавалось сформировать изображение всеми вышеперечисленными способами визуализации – в этом случае изображение, полученное по методу лазерной подсветки, обладало существенно меньшей яркостью (рис. 2, б). Увеличение яркости наблюдалось при использовании моностатической схемы лазерного монитора (рис. 2, в), однако детальному рассмотрению объекта препятствовал высокий уровень фона и ограниченная область

зрения. Наилучший результат удалось получить при формировании изображения излучением источника подсветки и его последующим усилением в активной среде усилителя яркости, то есть при визуализации по схеме бистатического лазерного монитора. Увеличение составило 3,67.

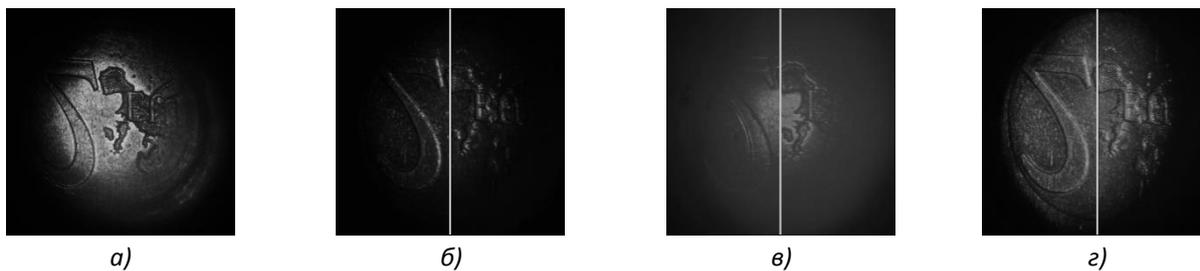


рис. 2 – Изображения, сформированные методом лазерной подсветки (а, б), в моностатической схеме лазерного монитора (в), в бистатической схеме лазерного монитора (г)

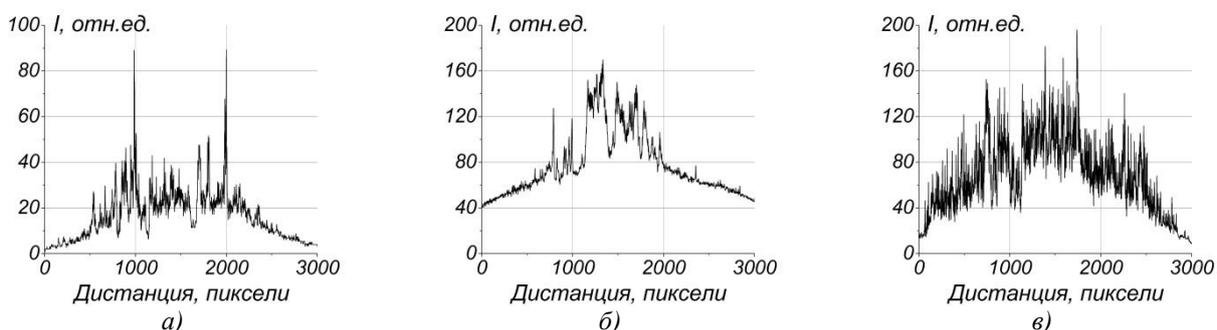


рис. 3. Графики распределения интенсивности для изображений, полученных методом лазерной подсветки (а), в моностатической схеме лазерного монитора (б) и в бистатической схеме лазерного монитора (в)

Визуальные наблюдения подтверждают графики распределения интенсивности (рис.3) вдоль обозначенных на изображениях прямых (рис.2). Средний уровень яркости при использовании лазерной подсветки не превышает 15 единиц. В случае моностатической схемы лазерного монитора этот параметр увеличился в 4,5 раза. Примечательно, что область зрения при этом получилась больше при использовании подсветки, что обусловлено не самым удачным расположением объекта для визуализации в моностатической схеме монитора. Сравнение изображений (в) и (г) является более показательным. Бистатический монитор позволил достичь средней яркости порядка 63 единиц, а область зрения по сравнению с моностатической схемой, увеличилась не менее, чем на 70%. Большое количество ярко выраженных пиков на графике (рис.3, в) свидетельствует о высокой резкости изображения. Увеличение дистанции d1 до 1,5 м делает объект практически неразличимым в моностатической схеме лазерного монитора.

Для второй серии экспериментов, направленных на визуализацию при более дальней дистанции d1 (5÷15,5 м) в схеме бистатического лазерного монитора, был использован объект наблюдения с более высокой отражательной способностью (щель монохроматора). В отличие от предыдущего случая неизменной оставалась дистанция d3. Температура контейнеров с активным веществом изменялась в том же диапазоне, причем для каждой дистанции находилась свое оптимальное значение температуры: например, на дистанции 5 м оно составило 550 °С, а при 15,5 метров – 510 °С. На расстоянии 15,5 метров щель стала практически неразличима. Вероятно, оптимизация оптической схемы может увеличить разрешающую способность системы и предельно-допустимую дистанцию визуализации.

Исследования различных способ визуализации и сравнение полученных результатов проводилось при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках проекта № 11846ГУ/2017.

Список публикаций:

- [1] Evtushenko G.S. *Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes*. Nova Science Publishers Inc, 2018 184 p.
- [2] Тригуб М.В., Федоров К.В., Евтушенко Г.С. Визуализация объектов, расположенных на удалении до 5 м от CuBr усилителя яркости, с импульсом излучения типичной длительности. // *Оптика атмосферы и океана*. 2015Т.28 №9 С.850-853.
- [3] Васнев Н.А., Тригуб М.В., Евтушенко Г.С. Особенности работы усилителя яркости на парах бромида меди в схеме бистатического лазерного монитора // *Оптика атмосферы и океана*. 2019. Т. 32. № 3. С. 247-253.

Управление параметрами импульсов излучения лазера на парах бромида меди

Власов Василий Васильевич

Васнев Николай Александрович

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Тригуб Максим Викторович

vlasov3.vvv@gmail.com

Сфера применения лазеров на парах металлов (ЛПМ) – это обработка поверхностей, прецизионная резка материалов, а также построение систем визуализации [1]. Возможность регулировки энергии, спектральным составом и длительностью каждого импульса отдельно, в совокупности с их высокой частотой следования, делает системы на основе ЛПМ уникальными.

Представленное управление параметрами импульсов основано на изменении инверсной населенности метастабильного и резонансного уровней [2]. При электрической накачке на величину заселения основное влияние оказывают уровни приложенных напряжений и скорости нарастания тока в активной среде. Варьирование одного из этих параметров позволяет изменять эффективность заселения того или иного энергетического уровня. Однако изменение напряжения импульса приводит к изменению рабочего режима активной среды, особенно в случае с саморазогревными ЛПМ, что делает такой способ непригодным для практического применения. Изменение скорости нарастания тока возможно лишь за счет регулировки внешних пассивных компонентов в цепях разряда, что зачастую бывает неудобным и опасным для оператора. В работе [3] было предложено использовать дополнительный импульс, который вводился перед основным импульсом и накачивал метастабильный уровень. Изменяя задержку между этими двумя импульсами можно было варьировать степень заселенности метастабильного уровня благодаря его релаксации. Таким образом, для управления параметрами импульсов излучения не требуются дополнительного оптического оборудования.

Целью данной работы является исследование оптимальных параметров дополнительного импульса для определения основных рекомендаций построения активных оптических систем на парах металлов с возможностью подавления генерации.

Для формирования импульсов накачки и подавления использовались два независимых источника питания, выполненных на тиратронах. Частота работы источников составляла 10,5 кГц, а задержка плавно изменялась в диапазоне от -2 мкс до +25 мкс. В ходе эксперимента варьирование энергетика гасящего импульса обеспечивалось за счет емкости и напряжения на ней в диапазоне (0,5÷10) мДж. При этом энергетика импульса накачки оставалась постоянной: 100 мДж. В качестве активного вещества лазера использовался бромид меди с добавкой НВг. Мощность генерации составляла 5 Вт. Рабочая зона имела длину 90 см и диаметр 5 см. Для получения генерации использовался неустойчивый резонатор.

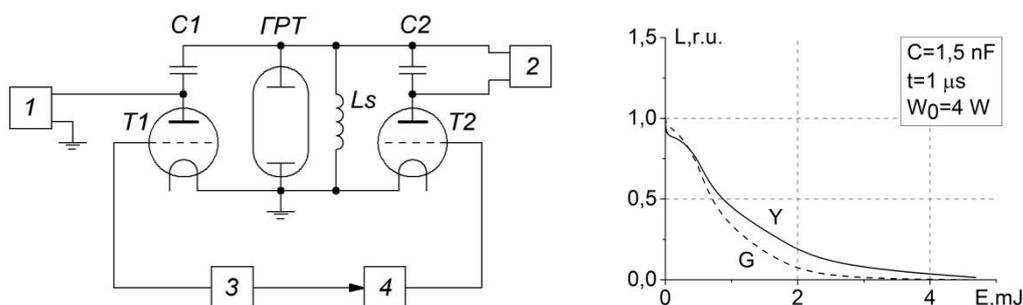


рис. 1. а) Функциональная схема установки: 1 – источник высокого напряжения для импульсов накачки ($P = 1,5 \text{ кВт}$, $U = 11 \text{ кВ}$); 2 – источник напряжения для импульсов гашения ($U = 5 \text{ кВ}$); 3 – задающий генератор; 4 – регулируемая линия задержки; C1 – конденсатор 1000 нФ; C2 – конденсатор 1500 нФ; б) Зависимость мощности излучения от энергии импульса подавления при задержке между импульсами 1 мкс

Проведенные исследования показали, что определяющим в дополнительном импульсе является энергия (рис. 1, б). Соотношение энергий основного и подавляющего импульса составило 20/1.

Список публикаций:

[1] Evtushenko G.S. *Methods and Instruments for Visual and Optical Diagnostics of Objects and Fast Processes*. Nova Science Publishers Inc, 2018 184 p.

[2] Little N.E. *Metal Vapor Lasers: Physics, Engineering & Applications*. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd., 1998. 620 p.

[3] Солдатов А.Н. Физика и техника лазеров на парах меди с управляемыми параметрами. // *Оптика атмосферы и океана*. 1993. Т. 6. № 06. С. 650-658.

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

Капуста Дмитрий Николаевич

Каргапольцев Евгений Сергеевич

Новосибирский государственный технический университет

Ражев Александр Михайлович, д.ф.-м.н.

dmitriikapusta@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования спектральных, энергетических и временных характеристик, направленного на создание нового импульсного газоразрядного лазера видимого диапазона, активной средой которого является газообразный неон высокого давления, возбуждаемый самостоятельным объемным поперечным электрическим разрядом с УФ предыонизацией излучением искр сбоку.

Целью данной работы было получение новой генерации на электронных переходах нейтральных атомов неона $2s^2 2p^5(^2P^0_{3/2})3p:2[1/2]_1 - 2s^2 2p^5(^2P^0_{1/2})3s:2[1/2]_0$ ($\lambda=743.889$ нм) в видимом диапазоне оптического спектра с применением импульсного самостоятельного объемного поперечного электрического разряда в качестве способа накачки активной газовой среды высокого давления.

Импульсный газоразрядный Ne I-лазер с длиной волны излучения 743.89 нм представляет особый научный и практический интерес. Это последняя красная линия из серии электронных переходов нейтральных атомов Ne с общим верхним уровнем $2s^2 2p^5(^2P^0_{3/2})3p:2[1/2]_1$ (703.24 нм, 724.52 нм, 743.89 нм), генерация лазерного излучения на которой до сих пор не была получена. Данный лазер может использоваться для решения множества прикладных задач, таких как: накачка лазеров на парах щелочных металлов, в терапии, спектроскопии, метрологии, проточной цитометрии и т.д.

Для накачки газообразной активной среды лазера была использована импульсная высоковольтная схема возбуждения «LC-инвертор», разработанная и описанная ранее нашим научным коллективом в работе [1]. Энергия в импульсе лазерного излучения оценивалась при помощи измерителя энергии/мощности лазерного излучения Ophir Optronics (дисплей Nova II и сенсор PE-50SH-V2). Форма и длительность импульса излучения регистрировалась с использованием фотодиода FK-15 и цифрового осциллографа Tektronix (мод. TDS 2014B). Для спектральных исследований использовались монохроматор Acton Research Corporation (SpectraPro-500) с разрешением 0.025 нм и спектрометр Solar laser System (мод. S-150) с разрешением 0.66 нм.

По результатам проведенного исследования впервые создан новый импульсный газоразрядный лазер видимого диапазона на электронных переходах нейтральных атомов неона высокого давления с длиной волны излучения 743.89 нм (рис.1) с накачкой самостоятельным объемным поперечным электрическим разрядом с УФ-предыонизацией активной среды. Исследованы спектральные, энергетические и временные характеристики нового лазерного источника. Ширина спектральной линии лазерного излучения составила около 0.03 нм (FWHM). Энергия в импульсе лазерного излучения составила 0.2 мДж с длительностью импульсов около 12 ± 1 нс (FWHM), формируемых на фронте нарастания импульса тока разряда. При этом пиковая мощность лазерного излучения составила более 16 кВт. Полная расходимость лазерного излучения по горизонтали составила около 0.3 мрад.

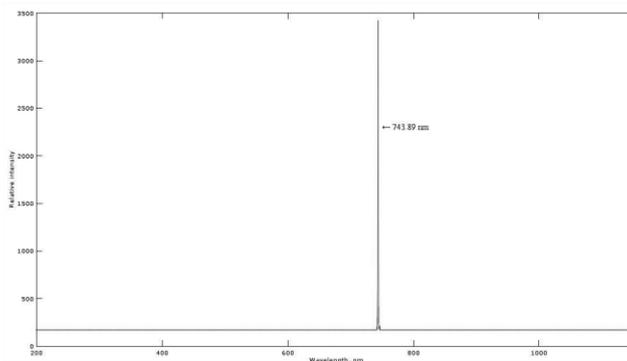


рис.1. Спектрограмма выходного лазерного излучения Ne I при давлении 6 атм, ослабленного спектральными стеклами

Список публикаций:

[1] Ражев А.М. и др. Квантовая электроника, 34, 901 (2004)

Источник многочастотной накачки КПН резонансов на основе диодного лазера

Савинов Константин Николаевич¹

Рундау Алла Андреевна², Сабакарь Кирилл Михайлович¹

¹Новосибирский государственный технический университет

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий

¹Дмитриев Александр Капитонович, д.ф.-м.н.

k.n.savinov@yandex.ru

Для уменьшения полевых сдвигов резонансов когерентного пленения населенностей (КПН) было предложено использовать многочастотное излучение фемтосекундного лазера [1]. Однако данные об успешных экспериментах отсутствуют. Это, по-видимому, связано с тем, что спектр излучения фемтосекундного лазера многократно превышает ширину оптических переходов, используемых для накачки КПН резонансов, что приводит к низкому отношению сигнала к шуму.

В настоящей работе предложен и реализован метод получения многочастотного излучения диодного лазера с внешним резонатором, согласованного с оптическими переходами, используемыми для накачки КПН резонансов.

Оптическая схема диодного лазера была подробно описана в работе [2].

Питание лазера осуществлялось через смеситель постоянным током и одновременно СВЧ или ВЧ сигналом. Для изучения тонкой структуры спектра использовался гетеродинный полупроводниковый лазер, излучение которого через систему зеркал смешивалось со световым пучком исследуемого лазера и поступало как на фотоприемник, так и на сканируемый интерферометр Фабри-Перо.

Измерения проводились при различных токах накачки (от 52 мА до 58 мА) и частотах модуляции (от 68 МГц до 136 МГц). Амплитуда ВЧ модуляции – изменялась от значений, при которых появляются боковые компоненты, до значений, при которых «замываются» биения. На всех частотах ВЧ модуляции и токах питания до некоторого значения амплитуды ВЧ модуляции наблюдалась разрешенная структура. С возрастанием тока накачки и частоты ВЧ модуляции порог «размытия» структуры спектра лазера отодвигается в большие амплитуды ВЧ сигнала.

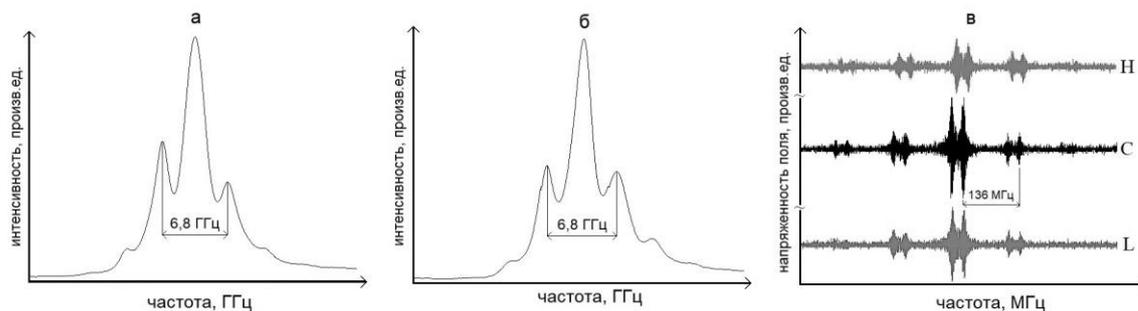


рис.1. Спектры излучения исследуемого лазера при регистрации через сканируемый интерферометр Фабри-Перо (а, б) и при регистрации биений с гетеродинным лазером (в) при СВЧ модуляции частотой 3,4 ГГц и амплитудой 20 мА; для (б) и (в) частота и амплитуда ВЧ модуляции равны 136 МГц и 2 мА соответственно.

С помощью сканируемого интерферометра наблюдался весь спектр излучения лазера с низким разрешением (рис.1а, б). В отсутствие ВЧ модуляции интенсивность низкочастотной СВЧ составляющей спектра больше, чем высокочастотной (рис.1а), что может быть связано с совместным действием частотной и амплитудной модуляции [2]. При добавлении ВЧ модуляции их интенсивности сначала выравниваются (рис.1б), а затем высокочастотная компонента становится больше низкочастотной.

При помощи гетеродинного лазера наблюдалась структура спектра, с разрешением выше, чем частота ВЧ модуляции (рис.1в). Биения регистрировались последовательно на низкочастотной, несущей и высокочастотной компонентах (кривые L, C и H соответственно) путем дискретной перестройки частоты гетеродинного лазера на 3,4 ГГц изменением его тока накачки. Фотодетектор пропускал только переменный сигнал с максимумом чувствительности на частоте порядка 15 МГц, поэтому форма биений имела расщепленный вид с провалом в центре при ширине ~30 МГц. В случае равенства интенсивностей на каждой из боковых полос (рис.1в) наблюдаются ВЧ компоненты с близкими амплитудами.

Дальнейшие исследования показали, что положение структуры определяется частотой СВЧ модуляции. ВЧ модуляция определяет амплитуду и число компонент, но практически не влияет на их положение. Это

позволит задавать интервал между боковыми полосами равный частоте часового перехода в рубидии и использовать лазер в качестве источника многочастотной накачки.

В результате проведенных работ при определенных параметрах СВЧ и ВЧ модуляции обнаружены ВЧ компоненты на боковых полосах с близкими амплитудами, что позволит снизить полевые сдвиги КПН резонансов.

Список публикаций:

[1] Baklanov E. V., Dmitriev A. K. // *Laser Physics*. 2010. Т. 20. № 1. С. 52.

[2] Исакова А. А., Савинов К. Н., Головин Н. Н., Алтынбеков Н. Ж., Вишняков В. И., Дмитриев А. К. // *Квантовая электроника*. 2017. Т. 47. № 7. С. 610

Исследование характеристик излучения импульсного индукционного Ar I лазера

Ткаченко Роман Андреевич

Ражев Александр Михайлович, Трунов Игорь Александрович

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Чуркин Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н.

tkachenkora23@yandex.ru

Впервые сообщается о наблюдении ИК лазерного излучения атомов Ar I при накачке аргона импульсным индукционным цилиндрическим разрядом.

В экспериментах использовалась высоковольтная система возбуждения, электрическая схема которой была создана по типу совмещенной схемы «LC-инвертора» и схемы Блюмляйна. В качестве индукционного лазерного излучателя применялась трубка, выполненная из керамики Al_2O_3 длиной 800 мм с внутренним и внешним диаметром 20 и 25 мм соответственно. Индуктор состоял из 32 параллельно включенных катушек по 3 витка, выполненных из многожильного провода ПВ-3 с сечением 4 мм². Лазерный излучатель герметизировался плоскопараллельными пластинами из MgF_2 , размещенными в юстировочных узлах на концах разрядной трубки. Оптический резонатор был образован передней плоскопараллельной пластиной из кристаллического MgF_2 и внешним алюминиевым плоскопараллельным зеркалом. В качестве активной среды использовался инертный газ аргон с рабочим давлением, не превышающим 1 торр. Прокачка газа осуществлялась в продольном направлении с небольшой скоростью (менее 1 л/мин).

Для исследования спектральных характеристик ИК лазерного излучения использовался монохроматор «ЛОМО» (МДР-204).

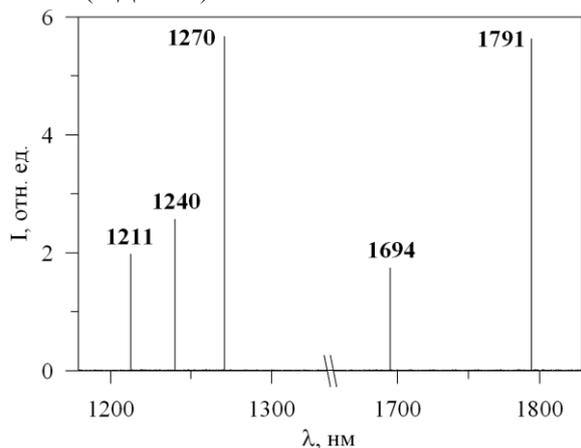


рис. 1. Спектр генерации индукционного ArI лазера в области 1000-2000 нм.

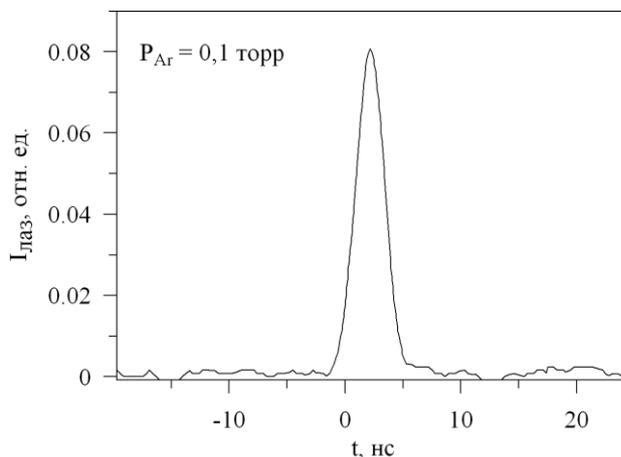


рис. 2. Осциллограмма импульса генерации индукционного ArI лазера.

Спектр излучения регистрировался в области 1000 – 2000 нм и был представлен пятью атомарными линиями с длинами волн, которые мы отнесли к соответствующим переходам Ar I: 1211 нм $3d(5/2)_3^0 - 4p(5/2)_3$, 1240 нм $3d(3/2)_1^0 - 4p(3/2)_1$, 1270 нм $3d(3/2)_1^0 - 4p(1/2)_1$, 1694 нм $3d(3/2)_2^0 - 4p(3/2)_2$, 1791 нм $3d(1/2)_1^0 - 4p(3/2)_2$ (рис. 1) [1].

Регистрация временных характеристик излучения атомов аргона проводилась с использованием фотодиода FGA04 (InGaAs) с чувствительным спектральным интервалом 800-1800 нм. Измеренная длительность оптического импульса генерации Ar I лазера на полувысоте достигала 4 ± 1 нс (рис. 2).

Список публикаций:

[1] <http://grotrian.nsu.ru/ru/transitions/1>

Импульсный газоразрядный лазер на переходах BrF молекул с накачкой объемным поперечным электрическим разрядом

Филонов Антон Александрович

Ражев Александр Михайлович, Капуста Дмитрий Николаевич, Гуцин Александр Сергеевич

Новосибирский государственный технический университет

Каргапольцев Евгений Сергеевич

tosha.t2017@yandex.ru

В начале 90-ых годов [1] была получена лазерная генерация на электронном D-A переходе гетероядерных молекул интергалогенов BrF* в ультрафиолетовой области спектра. С тех пор не предпринималось попыток исследования этой лазерной активной газовой среды. Данные результаты были получены при накачке активной газовой среды высокого давления объемным поперечным электрическим разрядом при активной ширине около 5 мм. Для обеспечения режима лазерной генерации авторы были вынуждены работать со схемами возбуждения, предполагающими амплитуды зарядного напряжения около 35 кВ. При этом достичь энергии лазерного излучения более 0,5 мДж авторы не смогли.

В данной работе, впервые сообщается о получении лазерной генерации на электронном D-A переходе гетероядерных молекул интергалогенов BrF* в ультрафиолетовой области спектра при использовании геометрии разрядного промежутка представленного следующими параметрами: 600x21x8 мм. Так как в большинстве применений требуется большая энергия лазерного излучения при активной ширине, обеспечивающей возможность работы с широкими лазерными пучками более 5 мм (с целью последующей трансформации распределения энергии лазерного излучения в поперечном сечении), данная геометрия разрядного промежутка является более предпочтительной. При этом энергия генерации на D-A переходе BrF* молекул обеспечивалась при относительно низких для данного класса лазеров амплитудах зарядного напряжения - до 30 кВ.

Помимо решения задачи увеличения энергетических характеристик лазерного излучения BrF-лазера, в данном цикле работ проведено исследование спектров спонтанного и лазерного излучения этой активной газовой среды. Проведено экспериментальное исследование влияния доноров галогенов (NF₃, F₂, SF₆, HBr, Br₂) на выходные параметры лазерного излучения.

Список публикаций:

[1] M. Diegelmann, H.P. Grieneisen, K. Hohla, Xue-Jing Hu, J. Krasinski and K.L. Kompa // *Appl.Phys.* 1980. T. 23. C. 283 - 287.

11 - Астрофизика, физика космоса

Брылякова Елена Андреевна, 1 курс
Пушино, Пушинский государственный естественно-научный институт, Пушинская радиоастрономическая обсерватория, астрофизики и радиоастрономии

Распределение энергии в импульсах нескольких быстрых транзиентов

Тюльбашев Сергей Анатольевич, д.ф.-м.н.

e-mail: elinxt@bk.ru стр. 275

Горбунов Максим Александрович, инженер
Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, отдел физики звёзд
Каталогизация и библиография спектральных наблюдений звёзд в КрАО

Шляпников Алексей Алексеевич
e-mail: mag@craocrimea.ru стр. 276

Жовтан Алексей Владимирович, м.н.с.
Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, отдел внегалактических и гамма исследований

Гамма-телескоп ГТ-48: история, современность и перспективы

e-mail: astrotourist@gmail.com стр. 278

Игнатов Владимир Константинович, магистрант 1 года обучения
Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, институт физики

Наблюдение транзитных явлений у избранных звёзд с экзопланетами

Шляпников Алексей Алексеевич
e-mail: ivk@crao.ru стр. 278

Карташов Святослав Игоревич, 2 курс
Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, фундаментальной физики

21 переменная звезда в созвездии Персей

Лапухин Евгений Геннадьевич

e-mail: k.clava46@gmail.com стр. 280

Крюкова Екатерина Андреевна, магистрант 2 года обучения
Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, ИКИВТ

Поиск третьего тела в системах двойных звезд методом тайминга на примере FL Lyr

Назаров Сергей Валентинович
e-mail: kate-13-kr@yandex.ru стр. 281

Лемдянов Илья Алексеевич, инженер
Симферополь, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, физики Солнца
Использование современных микроконтроллеров в автоматизации наблюдательного процесса

Жигалкин Роман Константинович
e-mail: ilya.lmdv@gmail.com стр. 282

Назаров Сергей Валентинович, м.н.с.
Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, отдел внегалактических и гамма исследований

Сверхновая 2018aoq: открытие, фотометрические наблюдения и вычисление параметров

e-mail: astrotourist@gmail.com стр. 283

Назаров Сергей Валентинович, н.с.
Научный, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, -
Эхо-картирование аккреционных дисков активных ядер галактик типа Сейферт-1

e-mail: astrotourist@gmail.com стр. 284

Поваров Артем Русланович, 2 курс
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 стр. 285

Романенко Виктор Сергеевич, стажер-исследователь
Нейтрино, Институт ядерных исследований РАН, Баксанская нейтринная обсерватория
Гамма-астрономия очень высоких и сверхвысоких энергий. Эксперимент Ковер-2 и Ковер-3

Петков Валерий Борисович, д.ф.-м.н.
e-mail: vsrom94@gmail.com стр. 286

Серебрякова Надежда Андреевна, 5 курс
Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, институт физики

Разработка метода SLD

Цымбал Вадим Вячеславович, к.ф.-м.н.
e-mail: deomlette@gmail.com стр. 288

Смирнова Ксения Ильдаровна, лаборант-исследователь
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт
естественных наук и математики

Сравнение кинематики молекулярного газа у дисковых и пекулярных галактик

e-mail: Arashu@rambler.ru стр. 288

Сосновский Алексей Александрович, м.н.с.
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 стр. 289

Тимиркеева Мария Андреевна, 10 класс
Пушино, Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Пушчинская радиоастрономическая обсерватория

О рентгеновском излучении радиопульсаров

Малов Игорь Федорович, д.ф.-м.н.
e-mail: marika-ko@yandex.ru стр. 290

Уфимцева Маргарита Александровна, 4 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, биохимической физики

Открытие переменных звёзд на основании фотометрического анализа снимков

e-mail: ritica011@bk.ru стр. 291

Распределение энергии в импульсах нескольких быстрых транзиентов

Брылякова Елена Андреевна

Пуцинский государственный естественно-научный институт

Пуцинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

Тюльбашев Сергей Анатольевич, д.ф.-м.н.

elinxt@bk.ru

Как известно, пульсары являются нейтронными звездами с периодическим излучением, наблюдающимся от гамма до радио диапазона. Точность прихода импульсов пульсаров высока и на основе пульсаров строят шкалы времени, которые не связаны с земными стандартами частоты. В 2006 году были открыты пульсары, которые излучали нерегулярные импульсы. Между импульсами этих пульсаров могли проходить часы. До сих пор неясно являются ли эти пульсары такими же объектами как канонические пульсары, открытые в 1968 году. Целью нашей работы является построение распределения энергии импульсов нескольких таких пульсаров, называемых RRAT (rotating radio transient) и сравнение этих распределений с аналогичными у классических (канонических) пульсаров.

Наблюдения проводились на радиотелескопе БСА ФИАН (Большая Синфазная Антенна) на центральной частоте 111 МГц. Данные записывались на 32-канальном приемнике с общей полосой пропускания 2.4 МГц (диапазон рабочих частот приемника 109.04 – 111.46 МГц, по 78 кГц на канал). Был использован режим записи с временем считывания $\tau = 12.5$ мс.

Сигналы от RRAT представляют собой нерегулярно появляющиеся импульсы. На каждой частоте импульс приходит в разное время. Это связано с тем, что скорость в межзвездной среде различается на разных частотах и поэтому импульсный сигнал нужно сложить, делая соответствующие сдвиги в каждом частотном канале и тем самым улучшить отношения сигнала к шуму в среднем профиле. Это процедура является первым этапом обработки. Нами также сделана калибровка полученных сигналов по шумовому сигналу известной температуры (по «ступеньке») для каждого частотного канала. Ступенька каждые четыре часа подается на приемник с помощью генератора шума. Для того, чтобы провести перекалибровку всех частотных каналов находим ступеньки между которыми находится исследуемый источник и пересчитываем ожидаемую высоту ступеньки в месте расположения источника. Для первой частоты принимаем высоту ступеньки равной единице. Далее для остальных частот рассчитываем отношение высот ступенек к первой и умножаем значения плотности потока для каждой частоты на обратный к полученному коэффициент.

Следующим шагом удаляем фоновый сигнал из полученной записи с помощью медианного фильтра и степенного полинома. При этом ожидается, что после удаления фона среднее значение по массиву (после полного удаления сигнала от источника) равно нулю

Так как БСА ФИАН является антенной решеткой, то она имеет сложное распределение дифракционных максимумов. Координата исследуемого объекта может не совпадать с точным положением направления лучей антенны. Поэтому перед получением распределение импульсов исследуемого источника были сделаны поправки, учитывающие особенности антенны. Также мы должны выделять лишь «истинные» импульсы и при проверке этого осуществляется учет расстояния между импульсами по известному периоду. Таким образом, мы оставляем только те импульсы источника, которые, во-первых, превышают заданный уровень, а во-вторых положения максимумов попадают на известный нам период источника. У отобранных импульсов измеряется отношение сигнала к шуму, где шум оценивается в местах, где нет импульсов и строится распределение (гистограмма) количества обнаруженных импульсов от заданного отношения сигнала к шуму.

На рис. 1 (слева) можно увидеть распределение энергии импульсов у пульсара B0320+39. Видно, что распределение похоже на гауссово, но в силу ограниченности чувствительности антенны количество импульсов с малыми плотностями потока занижено. На правом краю гистограммы наблюдается явный избыток сильных импульсов. Мы полагаем, что этот избыток связан с гигантскими импульсами, которые известны у этого пульсара. Этот факт также говорит о том, что часть объектов типа RRAT могут быть обычными (каноническими) пульсарами, имеющими малую плотность потока и вследствие этого наблюдатели фиксируют лишь их гигантские импульсы.

На рис.1 (справа) показано распределение импульсов у RRAT J0139+3310. Это распределение резко отличается от распределения на рис.1. Мы полагаем, что помимо реальных импульсов транзиентов мы фиксируем часть ложных объектов, особенно на малых соотношениях сигнала к шуму. Работа над исключением ложных объектов продолжается.

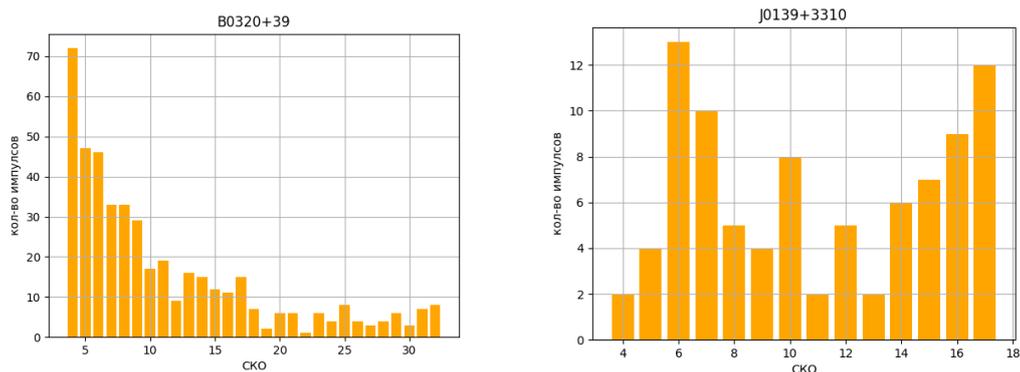


рис.1 Гистограмма распределения импульсов у пульсара B0320+39(слева) и RRAT J0139+3310 (справа). По вертикальной оси количество обнаруженных импульсов, по горизонтальной оси отношения сигнала к шуму у наблюдаемых импульсов

Данный алгоритм был реализован на языке Python 3.6 с использованием пакета astropy.

В результате нашей работы были построены распределения энергии импульсов для нескольких исследованных объектов. Продолжаются работы по улучшению алгоритма поиска импульсов RRAT.

Каталогизация и библиография спектральных наблюдений звёзд в КраО

Горбунов Максим Александрович

Логачев Кирилл Васильевич, Шляпников Алексей Алексеевич
Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Шляпников А.А.

mag@craocrimea.ru

За более чем столетнюю историю наблюдений в Крыму сотрудниками обсерватории было подготовлено и опубликовано значительное число каталогов наблюдений различных астрономических объектов [1]. Каталогизация объектов способствует выделению объектов в различные группы по определённым признакам и проведению сравнительного анализа этих групп. Последнее помогает созданию физических и динамических моделей звёзд и их систем.

В Крымской астрофизической обсерватории РАН создание цифровых баз данных наблюдений, выполненных на различных инструментах, было начато в середине 90-х годов. Подробно этот процесс описан сотрудниками КраО в ряде публикаций [2-4]. Концепция создания локального архива данных астрономических наблюдений в КраО, как элемента виртуальной обсерватории описана в статье [5]. А перспективы научных исследований с базой данных наблюдений и архивом прямых изображений детально рассмотрены в статье [6].

Индекс каталог (далее – Каталог) является основным элементом базы данных публикаций Крымской астрономической виртуальной обсерватории [1]. В него входит информация об объектах, наблюдавшихся сотрудниками в Крымской астрофизической обсерватории или других организациях, данные для которых были опубликованы в первых 100 томах «Известий Крымской астрофизической обсерватории» (далее – «Известия»). Последующие тома формировались в машиночитаемых форматах, что упрощает контекстный поиск информации в них.

На рис. 1 представлено распределение на небесной сфере объектов информация, о которых вошла в Каталог, и доступ к которой обеспечен с помощью интерактивного атласа неба – Aladin.

Особое место в Каталоге занимают спектральные наблюдения. Обширный архив спектральных наблюдений включает в себя, как фотопластинки и фотоплёнки, полученные на астрографах с объективной призмой и на телескопах с различными спектрографами, так и фотоэлектрические, телевизионные и ПЗС записи [7, 8].

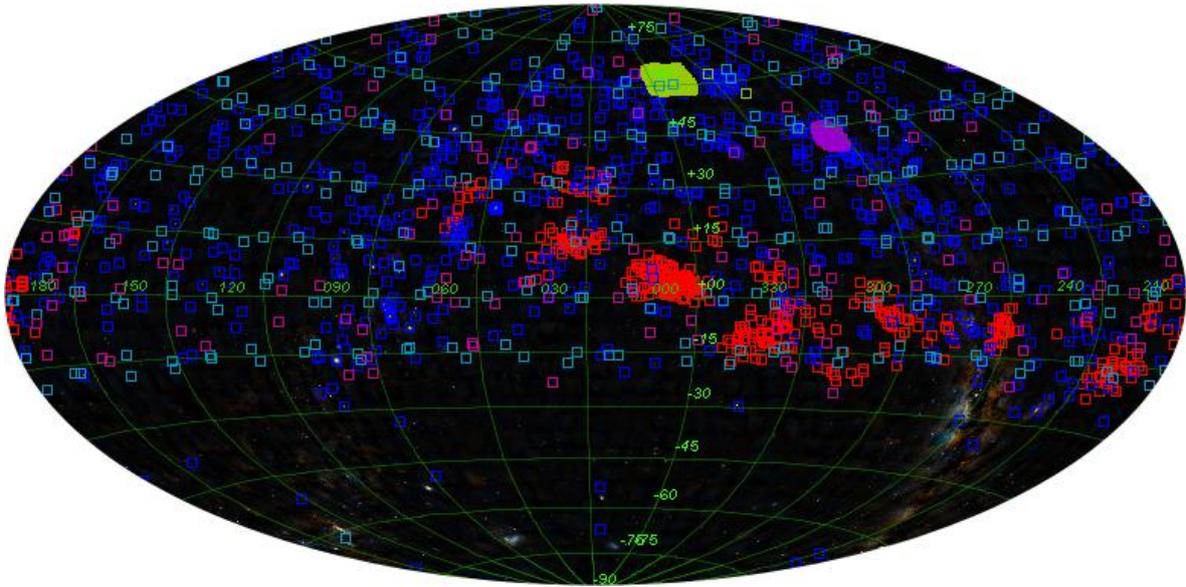


рис.1. Представление Каталога в атласе неба Aladin (проекция AITOFF). Различными цветами показаны библиографические ссылки из «Известий», полученные на разных инструментах

В качестве примера приведём спектральный архив ЗТШ за период с 1964 по 2000 годы, который содержит информацию о 378 объектах наблюдавшихся фотографическим способом (приблизительно по 3000 записей для прямых снимков и для регистрации с ЭОПом), и о 845 объектах, спектры которых были получены с ПЗС детекторами (около 50000 изображений). На рис. 2 фотографические наблюдения обозначены желтыми маркерами, а ПЗС – красными окружностями. База данных спектральных фотографических наблюдений на ЗТШ включает 1223 записи об объектах. Информация доступна в интерактивном атласе неба Aladin.

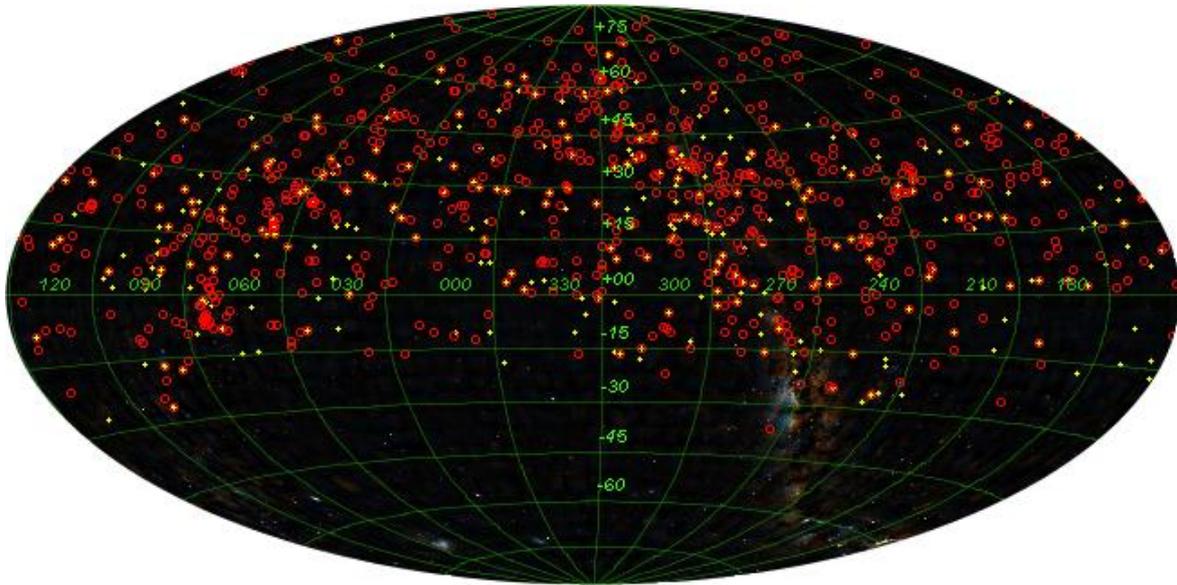


рис.2. Распределение на небе объектов ЗТШ (пояснения в тексте)

Первый автор благодарит Российский фонд фундаментальных исследований за частичную поддержку проводимых исследований за счет гранта № 18-32-00775.

Список публикаций:

- [1] Shlyapnikov A., Bondar' N., Gorbunov M. // *Baltic Astronomy*. 2015. Vol. 24. p. 462.
- [2] Горбунов М.А., Шляпников А.А. // *Изв. Крымской Астрофиз. Обс.* 2017. Т. 113. № 1. С. 10.
- [3] Горбунов М.А., Шляпников А.А. // *Изв. Крымской Астрофиз. Обс.* 2017. Т. 113. № 1. С. 20.
- [4] Логачев К.В., Шляпников А.А. // *Изв. Крымской Астрофиз. Обс.* 2018. Т. 114. № 1. С. 32.
- [5] Шляпников А.А. // *Изв. Крымской Астрофиз. Обс.* 2007. Т. 103. № 1. С. 142.
- [6] Бондарь Н.И., Шляпников А.А. // *Изв. Крымской Астрофиз. Обс.* 2009. Т. 104. № 6. С. 193.
- [7] Gorbunov M., Shlyapnikov A. // *Odessa Astronomical Publications*. 2013, V. 26, p. 229
- [8] Pakuliak L., Shlyapnikov A., Rosenbush A., Gorbunov M. // *International Workshop on Stellar Spectral Libraries ASI Conference Series*. 2014. V.11. p.103.

Гамма-телескоп ГТ-48: история, современность и перспективы

Жовтан Алексей Владимирович

Назаров Сергей Валентинович, Лютый Артур Викторович, Козлов Андрей Вячеславович

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

astrotourist@gmail.com

Происхождение космических лучей, частицы которых обладают колоссальными энергиями, является одним из актуальнейших вопросов на стыке астрофизики и физики. Однако земная атмосфера совершенно непрозрачна для гамма-диапазона, поэтому приходится либо запускать дорогостоящие гамма-телескопы на орбиту, либо пользоваться оставленной природой «лазейкой» - регистрировать гамма-кванты сверхвысоких энергий наблюдая черенковские вспышки в атмосфере в ночное время при взаимодействии квантов с земной атмосферой.

Излучение вспышек идет в оптическом диапазоне под малым углом (1°) к направлению движения первичного гамма-кванта, что позволяет определить примерное направление на источник. Площадь, освещаемая черенковской вспышкой, при этом довольно велика: десятки тысяч м². Благодаря этому оказывается возможной регистрация малых потоков гамма-квантов. Основным препятствием для обнаружения и дальнейшего исследования источников гамма-квантов СВЭ является наличие значительного фона космических лучей, частицы которых вызывают в атмосфере Земли черенковские вспышки, трудно отличимые от вспышек, вызванных гамма-квантами. Тем не менее, методика их различения к настоящему времени хорошо разработана, что позволяет вести успешные наблюдения с поверхности Земли.

В России есть всего один гамма-телескоп сверхвысоких энергий, это ГТ-48 в КраО. Он относится к инструментам второго поколения и обладает возможностью регистрации излучения как в видимом, так и в ультрафиолетовом диапазонах. Наличие второй секции расширяет как потенциал инструмента, так и скорость его работы. Однако к настоящему моменту инструмент нуждается в капитальном ремонте или серьезной модернизации.

В этой работе мы представляем описание истории развития гамма-астрономии в КраО, основных характеристик телескопа ГТ-48, достигнутых результатов, его технических проблем, а также возможные пути их решения и перспективы развития.

Список публикаций:

[1] Neshpor Yu. I. et al. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, vol. 73, issue 5, pp. 655-656 (2009).

[2] Strigunov K. S., Zhovtan A. V. // *Astronomy Reports, Volume 59, Issue 3*, pp. 175-182 (2015).

[3] Strigunov K. S., Zhovtan A. V., Neshpor Yu. I., Borman G.A. // *Astronomy Letters, Volume 45, Issue 1*, pp. 1-9 (2019)

Наблюдение транзитных явлений у избранных звёзд с экзопланетами

Игнатов Владимир Константинович^{1,2}

Горбачев Марк Андреевич^{1,2}, Шляпников Алексей Алексеевич¹

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН*

²*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

Шляпников А.А.

ivk@crao.ru

Изучение звёзд с потенциальными экзопланетами проводятся в КраО с середины 2000-х годов. Наши сотрудники участвовали в работах, в рамках которых были впервые обнаружены экзопланеты у некоторых звёзд. [1]

В рамках договора о совместных исследованиях Крымской астрофизической обсерватории РАН и Института астрономии Национального университета Цинь Хуа (Тайвань) в КраО с 2010 года проводились эпизодические наблюдения звёзд с экзопланетами. В 2016 году был заключён новый договор, что позволило продолжить ранее начатые совместные исследования с этим Институтом.

С 2016 года систематические наблюдения транзитных явлений проводятся на телескопе МТМ-500 (КраО).

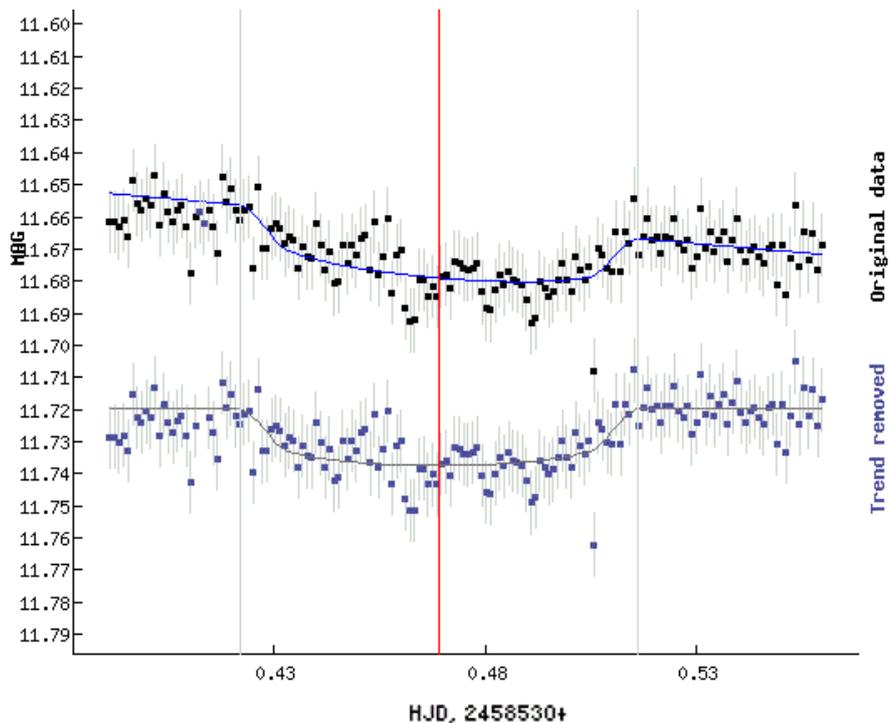


рис.1. Пример кривой блеска транзитного явления звезды HAT-P-36 [2]

В наблюдательную программу включены красные карлики с активностью солнечного типа из каталога GTSh-10 [3] с целью поиска возможных вспышек во время наблюдения транзитных явлений. Полученные наблюдения, в том числе, дополняют базу данных фотометрических исследований звёзд в КрАО.

Также используются сторонние базы данных, находящиеся в открытом доступе, для верификации полученных параметров исследуемых объектов. [2]

Второй автор благодарит Российский фонд фундаментальных исследований за частичную поддержку проводимых исследований за счет гранта № 18-32-00775.

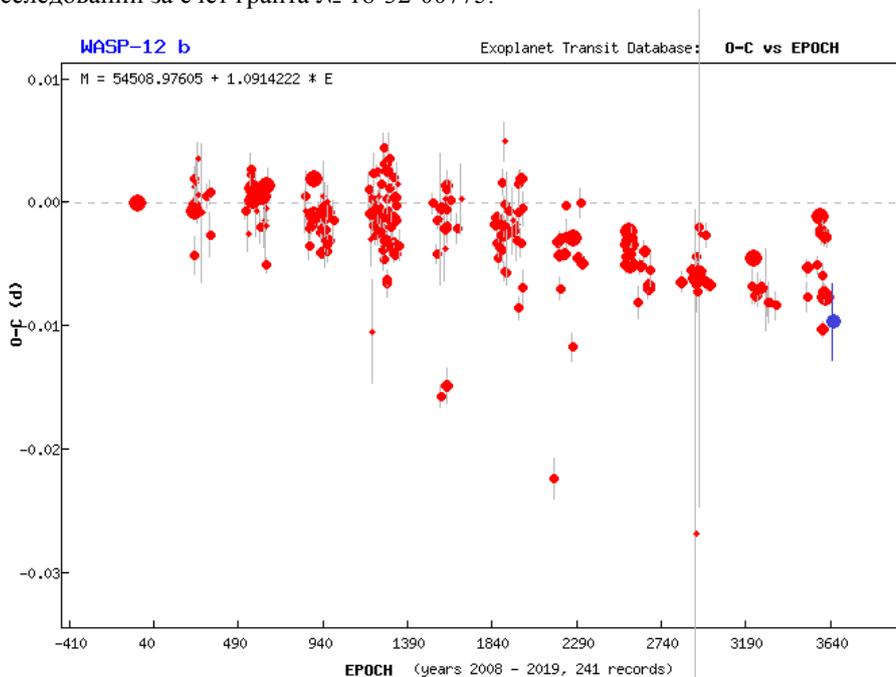


рис.2. Пример расположения кривой блеска WASP-12 на диаграмме O-C [2]

Список публикаций:

- [1] Москвин В.В., Шляпников А.А., Jiang Ing-Guey, Горбачев М.А. // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2018. Т. 114. № 1 С. 85.
- [2] Brát, L.; Poddaný, S.; Pejcha, O.; Zejda, M // Binaries – Key to Comprehension of the Universe. 2010. Vol. 43. p. 443.
- [3] Гершберг Р.Е., Тербиж А.В., Шляпников А.А. // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2011. Т. 107. № 1. С. 18.

21 переменная звезда в созвездии Персей

Карташов Святослав Игоревич

Докучаева Марина Сергеевна, Ван Юй-Ци (Wang Yu-Qi)

Сибирский государственный университет науки и технологий

Лапухин Евгений Геннадьевич

k.clava46@gmail.com

Целью данной работы являлся поиск и исследование переменных звезд на избранном участке в созвездии Персей. Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи: получение наблюдательного материала, получение фотометрии звезд на снимках, определение периода блеска для периодических звезд, определение максимального и минимального значения блеска, построение кривой блеска, проверка на известность.

Наблюдения проводились с 2012 по 2017 года в обсерватории Сибирского государственного университета науки и технологий им. М. Ф. Решетнева на катадиоптрическом телескопе системы Гамильтона с диаметром апертурной линзы 400 мм и фокусным расстоянием 915 мм. Телескоп оборудован ПЗС-камерой FLI ML9000, с размером чипа 3056x3056 пикселей при размере пикселя 12мкм. Выдержка всех кадров составляет 30 секунд (длительность выдержки определена эмпирически). Для исследования был выбран участок в Персее площадью $2^{\circ},3 \times 2^{\circ},3$ с координатами центра $\alpha=02^{\text{h}}00^{\text{m}}$ и $\delta=59^{\circ}00'$.

Поиск кандидатов в переменные звезды осуществлялся в программе VaST [1]. Суть выбора кандидатов в переменные звезды заключается в выборе тех звезд, у которых СКО превышает СКО основной массы звезд. В программе WinEfk [2] В. П. Горанского определялся период изменения блеска звезд методом Лафлера-Кинмана [3]. Все кандидаты проверялись на известность в Общем каталоге переменных звезд [4] и в Международном регистре переменных звезд (VSX) [5].

Всего было выявлено 39 кандидатов в переменные звезды. У 18 звезд переменность блеска уже известна, а у 21 звезды переменность блеска была выявлена впервые, среди них 7 являются затменно-переменными типа EW, 10 звезд являются затменно-переменными типа EA, 1 переменная типа RRA, 1 переменная звезда типа BY, 1 затменно-переменная звезда типа EB и 1 медленная неправильная переменная звезда типа L.

Звёзды с выявленной переменностью

№	2MASS	Тип пер-сти	Max, m	Min, m	Период, сутки
1	01525558+5758028	EW:	13,614	13,66	0,877824
2	01553673+5806051	EA	12,591	12,866	2,131429
3	01542471+5806375	EA	12,734	13,017	2,947915
4	01571684+5809047	EA	15,088	15,492	0,942553
5	02002726+5811506	EW	15,887	16,119	0,395088
6	01552768+5812112	EW	13,609	13,673	0.340049
7	02065780+5820331	EA	14,376	14,747	1,72346
8	02034839+5838072	EA	13,631	13,727	0,833404
9	01594206+5836417	BY	13,924	13,98	9,327
10	02053814+5843393	L:	13,12	13,17	-
11	02060139+5851318	EA	13,477	13,867	4,821394
12	01523716+5856271	EA	13,704	13,591	4,205653
13	02045130+5910113	EW	14,233	14,134	1,054604
14	01523787+5906593	EA	16,11	15,555	1,829427
15	01554562+5914448	EA	14,414	14,202	1,426563
16	01574428+6010049	EW	15,605	14,997	0,281032
17	01525736+5924128	EW	15,068	14,871	0,284103
18	01550686+5956116	EW	15,732	15,457	0,672292
19	02074006+5958080	EA	15,754	15,082	1,410393
20	02050113+5955042	RRA	16,357	15,556	0,366228
21	02042874+5945477	EB	13,282	12,973	0,916802

Определенные нами параметры известных звезд (периоды, типы переменности) GI Cas, GK Cas, WISE J020754.4+581032, WISE J015708.4+580611, WISE J020408.8+584924, WISE J020002.3+600004, WISE J020659.2+595029, WISE J015045.4+592912, NEV51, NEV53, NEV54, NEV55, NEV56, ASASSN-V J015835.37+583955.1, ASASSN-V J015830.96+574911.6, GSC 03696-01759, GSC 03692-00645 совпадают с достаточной точностью с параметрами первооткрывателей, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №3.6822.2017/7.8.

Список публикаций:

- [1] Sokolovsky, K. V. *VaST: Variability Search Toolkit, A software package for detection of variable objects on a series of astronomical images* / K. V. Sokolovsky, A. A. Lebedev [Электронный ресурс] : программа [caim]. [2009]. URL: <http://scan.sai.msu.ru/vast/> (дата обращения: 22.03.2019).
- [2] Горанский, В.П. *Index of /software. WinEFrusVers2014-12-14.zip (Программа поиска периодов переменных звезд (методы Лафлер-Кинман, Диминг, построение кривых блеска и тд.) = WinEfK* [Электронный ресурс] : В. П. Горанский, ГАИШ – САО [caim]. [2009]. URL: <http://www.vgoranskij.net/software/> (дата обращения: 22.03.2019).
- [3] Холопов, П. Н. *Определение периодов изменения блеска переменных звезд с помощью электронных цифровых вычислительных машин* / П.Н. Холопов // *Нестационарные звезды и методы их исследования* / под ред. В. Б. Никонова. М. : Наука, 1971. – С. 307-329.
- [4] Samus, N. N. *General Catalogue of Variable Stars (Samus+ 2007-2009), 2009yCat...102025S* [Электронный ресурс] : каталог, ред. Н. Н. Самусь : [caim]. [2007]. URL: <http://www.sai.msu.ru/groups/cluster/gcvs/> (дата обращения: 22.03.2019).
- [5] *The International Variable Star Index* [Электронный ресурс] : database [caim]. [2009]. URL: <http://www.aavso.org/vsx/> (дата обращения: 22.03.2019).

Поиск экзопланет в системах двойных звезд методом тайминга на примере FL Lyr

*Крюкова Екатерина Андреевна*¹

*Назаров Сергей Валентинович*²

¹*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева*

²*Крымская астрофизическая обсерватория РАН*

Назаров Сергей Валентинович

kate-13-kr@yandex.ru

В современной астрономии открытие и исследование экзопланет является одной из самой активно развивающихся областей. Одним из способов поиска является поиск планет в двойных затменных системах. Связь наличия планет в двойных системах с орбитальными параметрами этих систем имеет большое значение для понимания процессов образования звезд и планет. Кроме того, двойные системы возможно более благоприятны для возникновения жизни, чем одиночные, причем в них может существовать несколько обитаемых планет [1].

В работе [2] приведен список известных двойных затменно-переменных звезд, вокруг которых с большой вероятностью вращается планета. Исходя из этого списка была проведена работа [3] по поиску третьего тела в системе FL Lyr. Авторами получены световые уравнения, которые свидетельствовали о том, что в этой системе присутствует третье тело с массой около двух масс Юпитера.

Данная работа посвящена написанию и тестированию программного кода на платформе MatLab, для поиска третьего тела в системах затменно-переменных звезд и нахождения его периода обращения. Программа состоит из нескольких частей. Сначала она идентифицирует «сырые» данные с телескопа Кеплер [3] и преобразует их в более «привычный вид» (юлианская дата, звездная величина). При помощи эфемериды (начальный момент минимума и период обращения затменно-переменной звезды), взятой из каталога ОКПЗ [4] высчитываются значения фазы и строится фазовая кривая затменно-переменной звезды FL Lyr.

Затем необходимо определить моменты главных минимумов двойной системы для вычисления О-С (разница наблюдаемых и теоретических значений главных моментов минимума). Позже при помощи преобразования Фурье мы находим наиболее вероятные периоды обращения третьего тела, анализируем величины О-С, полученные для каждого периода, и вычисляем параметры синусоид, которые лучшим образом аппроксимируют график зависимости моментов минимума от времени. По полученному распределению мы ищем значения периода обращения третьего тела и вероятность достоверности этого периода.

В результате у этой системы были найдены наиболее вероятные периоды обращения третьего тела 7,1; 12,4 и 16,5 лет. Поскольку общее время наблюдения FL Lyr около 50 лет, мы рассматривали только семилетний период обращения как наиболее достоверный. Для него мы пересчитали значения фазы и проверили согласуются ли новые значения О-С с результатами наблюдений.

Наша программа позволила получить независимый результат в точности соответствующий результатам полученным авторами в статье [2].

В будущем мы планируем дополнить код для определения элементов орбиты звезд, что позволит составить световое уравнение. Следующим шагом работы будет поиск третьего тела вокруг других затменно-переменных звезд, попадающих в поле зрения телескопа “Кеплер”.

Список публикаций:

- [1] P. A. Mason, J. I. Zuluaga, J. M. Clark, and P. A. Cuartas, *Astrophys. J. (Letters)* 774, L26 (2013)
- [2] Тутуков А. В., Богомазов А. И. Поиск планет затменных двойных звезд // *Астрономический журнал*. – 2012. – Т. 89. – №. 10. – С. 857-857.
- [3] Козырева В. С. и др. Erratum to: “Кандидат в экзопланеты в затменной двойной FL Lyr” [*Астрономический журнал*, т. 92, стр. 925 (2015)] // *Астрономический журнал*. – 2016. – Т. 93. – №. 5. – С. 512-512.
- [4] Данные с телескопа Кеплер [Электронный ресурс]. https://archive.stsci.edu/kepler/data_search/search.php
- [5] Каталог ОКПЗ [Электронный ресурс]. <http://www.sai.msu.su/gcvs/cgi-bin/search.htm>

Использование современных микроконтроллеров в автоматизации наблюдательного процесса

Лемдянов Илья Алексеевич

Семёнов Дмитрий Геннадьевич, Жигалкин Роман Константинович

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Жигалкин Роман Константинович

Ilya.lmdv@gmail.com

Переход на новые системы управления регистрирующим оборудованием обеспечивает повышение эффективности при выполнении астрономических наблюдений. Большая часть инструментов в Крымской астрофизической обсерватории РАН (КрАО) была создана во второй половине прошлого века.

В рамках модернизации наблюдательного оборудования Отдела физики Солнца КрАО, было предложено использование микроконтроллеров на базе платформы Arduino. Для отработки технологии автоматизации эксперимента на реально действующей установке был выбран программно-управляемый спектрограф на башенном солнечном телескопе БСТ-2 [1]. На рисунке 1 представлена оптическая схема этого телескопа. Отметим, что у инструмента имеются дистанционно управляемые элементы C_1 и C_2 , которые в перспективе также потребуют модернизации. Индексами $M-M_4$ показаны зеркала перебрасывающей оптики. S – входная щель спектрографа, процесс автоматизации которого представлен в докладе.

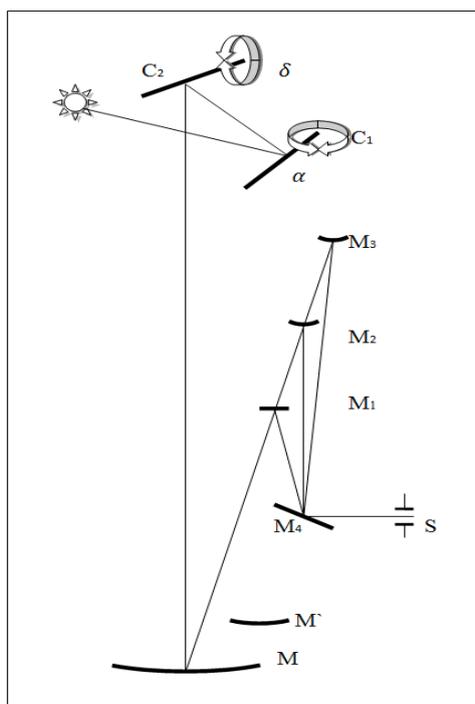


рис.1. Оптическая схема телескопа БСТ-2

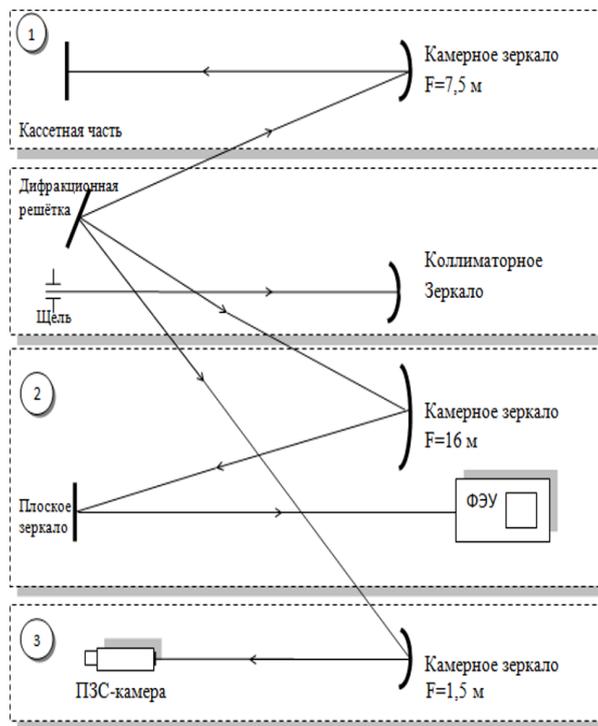


рис. 2. Оптическая схема спектрографа

На рисунке 2 показана принципиальная схема устройства спектрографа телескопа БСТ-2. Основными элементами, для управления которыми используются микроконтроллеры, являются дифракционная решетка и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

При работе спектрографа необходимо осуществлять дистанционное управление с компьютера поворотом дифракционной решетки для выбора спектрального диапазона, в котором ведутся измерения. Учитывая, что наблюдатель находится в специальном помещении, удалённом от спектрографа, команды на шаговые двигатели, вращающие решетку, передаются с компьютера посредством микроконтроллеров.

ФЭУ используется для сканирования спектрального изображения Солнца в двух проекциях, с целью получения потока его излучения в конкретной длине волны. Для осуществления перемещения ФЭУ также используется управление с помощью микроконтроллеров.

Управление контроллера и реализация интерфейса осуществляется на базе языка программирования C#, а также Arduino IDE. При необходимости, есть возможность взаимодействия с другими IDE.

Список публикаций:

- [1] Башенный Солнечный Телескоп БСТ-2 // <http://sun.crao.ru/telescopy/2-bashennyj-solnechnyj-teleskop-bst-2>
- [2] Руководство по языку C# // <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/index>
- [3] Аппаратно-программная платформа для автоматизации робототехники // <https://www.arduino.cc/>

Сверхновая 2018аоq: открытие, фотометрические наблюдения и вычисление параметров

Назаров Сергей Валентинович¹
Никифорова Анна Алексеевна²

Санкт-петербургский государственный университет²

Крымская астрофизическая обсерватория РАН¹

astrotourist@gmail.com: a.a.nikiforova@spbu.ru

SN 2018аоq была обнаружена автоматическим обзором Ликкской обсерватории «Lick Observatory Supernova Search» 1 апреля 2018г. в галактике NGC 4151 (6'x5'). Звездная величина на момент обнаружения 15.3 (без фильтра). Координаты сверхновой RA = 12h10m38s.190, Decl. = +39°23'47.00.

NGC 4151 - сейфертовская галактика типа SAB, расположенная на расстоянии 19 Мпк от Солнца [1]. Эта галактика больше десяти лет входит в программу мониторинга активных ядер в Крымской астрофизической

обсерватории, благодаря чему сверхновую удалось обнаружить на снимках, сделанных 31 марта 2018г., накануне официального открытия.

Был проведен расчет параметров предсверхновой с помощью многогруппового радиационно-гидродинамического кода STELLA [2]. На первом этапе создавалась "предсверхновая" - газовый шар определенной массы, радиуса и хим. состава. Далее рассчитаны таблицы непрозрачности. Третий шаг - расчет энергии взрыва. На выходе получена кривая блеска, которую можно сравнивать с наблюдательными данными.

Основные результаты работы:

1. Для сверхновой 2018aоq осуществлены подробные фотометрические наблюдения в четырех фильтрах, по результатам которых построена кривая блеска.

2. По форме кривой блеска и наличию линий водорода в спектре (спектр представлен в каталоге "Transient name server" <https://wis-tns.weizmann.ac.il/object/2018aоq>) можно отнести сверхновую ко II типу с плато.

3. Наши наблюдения показывают, что сверхновую 2018aоq отличает наличие "максимумов" на кривой блеска, особенно заметных в красных фильтрах.

4. Моделирование позволило подобрать примерные параметры звезды-предсверхновой SN 2018aоq: радиус 800 радиусов Солнца, масса - 15 масс Солнца, никель - 0.05 масс Солнца. Полная энергия взрыва 7×10^{51} эрг.

Список публикаций:

[1] Sebastian F. Honig et al. "A dust parallax distance of 19 megaparsecs to the supermassive black hole in ngc 4151". *Nature* 515(7528):528–530, 2014.

[2] Sergei Blinnikov et al. "Radiation hydrodynamics of sn 1987a: I. global analysis of the light curve for the first 4 months". *Astrophysics*, 532(1):1132–1149, 2000.

Эхо-картирование аккреционных дисков активных ядер галактик типа Сейферт-1

Назаров Сергей Валентинович

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

astrotourist@gmail.com

Излучение в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах от центрального источника активных ядер (АЯГ) галактик нагревает и ионизирует окружающий газ, расположенный в аккреционном диске, области широких линий и области узких линий. В двух последних случаях это приводит к излучению газа в спектральных линиях, а в первом – к излучению в основном в непрерывном спектре (в континууме). Суть метода эхо-картирования заключается в том, что реакция линий или континуума на изменения яркости основного источника может быть использована для определения размера, кинематики и геометрии соответствующих областей АЯГ (1).

Угловые размеры областей узких и широких линий и, особенно, аккреционных дисков, настолько малы, что для современных оптических телескопов практически всегда меньше размера одного пиксела на изображении. Поэтому зачастую метод эхо-картирования является единственным источником информации про поведение вещества в этих районах.

Для исследования аккреционных дисков измеряют запаздывание (задержку) между кривыми блеска континуума в различных диапазонах длин волн, что характеризует размер аккреционного диска. Это непростая задача, особенно для наземных телескопов, поскольку аккреционный диск имеет крайне малые значения и величины задержек снижаются от десятков и сотен дней в случае области широких линий до десятков часов в случае аккреционных дисков, что предъявляет особые требования к параметрам телескопа и приемника, погодным факторам, а также способам обработки изображений и учету всех ошибок.

В этой работе мы представляем измерения задержек в континууме для разных фильтров в оптическом диапазоне для двух активных ядер галактик типа Сейферт-1: MCG+08-11-011 и NGC 2617 (2). Наблюдения проводились в фильтрах ugriz на протяжении 4х месяцев. Одновременно эти объекты наблюдались космическим аппаратом Swift в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах.

В результате выяснилось, что в целом на больших длинах волн наблюдается большая задержка. Исключения: фильтр g для MCG 8-11-11 и фильтр u для NGC2617. Задержка между рентгеном и УФ для NGC2617 составляет 2.6 сут. Имеется частичная корреляция между этими диапазонами.

Кроме того, мы обнаружили, что зависимость запаздывания от длины волны в целом согласуется с моделью геометрически тонкого аккреционного диска. Однако размеры диска больше предсказанных в 3.3 раза для MCG 8-11-11 и в 2.3 раза для NGC2617.

Это свидетельствует о возможной недооценке общего энерговыделения, измеренной по оптической светимости. Моделирование показывает недооценку в 4.3 раза для MCG 8-11-11 и 1.6 раза для NGC2617. Эти числа нуждаются в уточнении в связи с ошибками в измерении масс СМЧД.

Список публикаций:

[1] *Blandford & McKee 1982; Peterson 1993*

[2] *Fausnaugh, M. M.; Starkey, D. A. et al 2018*

Новые переменные звезды в созвездии Кассиопея

Поваров Артем Русланович

Полякова Дарья Андреевна

Сибирский государственный университет науки и технологий

Лапухин Евгений Геннадьевич

Dasha0999@mail.ru

Систематические наблюдения переменных звезд имеют большую ценность и способствуют решению важных задач. Конечно, при изучении переменных звезд одними определениями блеска не ограничиваются. К их исследованию привлекается весь арсенал современной практической астрофизики. И все же в основе лежит кривая изменения блеска. Открытие переменных звезд и определение их характеристик открывает просторы для изучения явлений, происходящих в звездах, а также для получения новых знаний касательно протекания звездной эволюции.

В данной работе проводилось исследование переменных звезд в созвездии Кассиопея. Площадь исследуемой области составляет $2^{\circ}.3 \times 2^{\circ}.3$. Координаты центра поля $\alpha=00^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta=57^{\circ}00'$. Все ПЗС-наблюдения были получены за два периода: октябрь 2010 - март 2011 и сентябрь 2011 - октябрь 2011. Все снимки получены в интегральном свете, без фильтров.

Наблюдения проводились в обсерватории Сибирского государственного университета науки и технологий им. М. Ф. Решетнева на зеркально-линзовом телескопе системы Гамильтон ($D=400$ мм, $F=915$ мм), оснащенного ПЗС-камерой FLI ML9000 (3056×3056 пикселей, размер пикселя 12 мкм). Поиск кандидатов в переменные звезды проводился с помощью программного обеспечения VaST (Соколовский и Лебедев 2018). А для нахождения периода использовался метод Лафлера-Кинмана, который реализован в программном обеспечении «WinEfk» В. П. Горанского. Переменные звезды были отождествлены с каталогом USNO-A2.0, и проверены на известность как переменные.

Среди выбранных кандидатов в переменные звезды у 32 кандидатов переменность была подтверждена и 8 из них уже известны.

Звезды, у которых переменность выявлена впервые, по USNO-A2.0: 1425-01201870, 1425-01331925, 1425-01264406, 1425-01310720, 1425-01234100, 1425-01282210, 1425-01190496, 1425-01264794, 1425-01350572, 1425-01201090, 1425-01268633, 1425-01268633, 1425-01337380, 1425-01327285, 1425-01325785, 1425-01323891, 1425-01235495, 1425-01242528, 1425-01265863, 1425-01212217, 1425-01218686, 1425-01258694, 1425-01202842, 1425-01212844, 1425-01216326, 1425-01337510, 1425-01271456, 1425-01349832, 1425-01323658, 1425-01228225, 1425-01189175, 1425-01301118. Звезды, у которых переменность выявлена впервые, по UCAC3: 294-015870, 294-016642, 294-016023.

Для всех звезд были определены типы переменности, максимумы и минимумы блеска, эпохи главного экстремума, периоды периодических переменных звезд, построены кривые блеска, приведенные к одному периоду. Всего было выявлено переменных типа EA – 12 звезд, тип переменности EW (рис. 1) – 15, тип переменности EB (рис. 2) – 5, BY – 7, DSCTC – 2, RRC – 1, LB – 3, HADS – 1 звезда.

Звезды с известной переменностью по каталогу USNO-A2.0: 1425-01289867, 1425-01234816, 1425-01222096, 1425-01264232, 1425-01299377, 1425-01235439, 1425-01232593 и по каталогу UCAC3 297-019334. Сравнение периодов показывает довольно точное совпадение, что подтверждает правильность исследований.

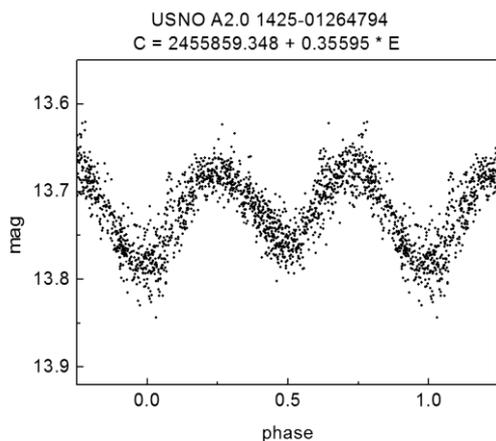


рис.1. Кривая изменения блеска
USNO A2.0 1425-01264794

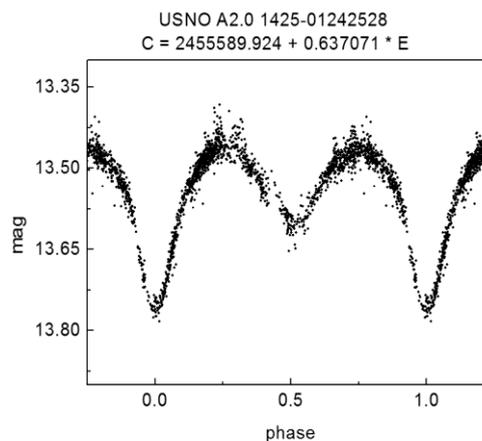


рис.2. Кривая изменения блеска
USNO A2.0 1425-01242528

Работа выполнена в рамках Государственного задания №3.6822.2017/7.8.

Список публикаций:

- [1] Sokolovsky K. V., Lebedev A. A. *Vast: A variability search toolkit. Astronomy and Computing, Volume 22, p. 28-47.*
 [2] Горанский, В.П. Программа поиска периодов переменных звезд (методы Лафлер-Кинман, Диминг, построение кривых блеска и тд.) = WinEJK [Электронный ресурс] : В. П. Горанский, ГАИШ – САО [сайт]. [2009]. URL: <http://www.vgoranskij.net/software/> (дата обращения: 14.03.2018).
 [3] Monet, D., Bird, A., Canzian, B., et al., 1998, USNO-A2.0, A Catalog of Astrometric Standards (U.S. Naval Observatory, Washington, DC), Centre de Données Astronomiques de Strasbourg, I/252.

Гамма астрономия очень высоких и сверхвысоких энергий.

Эксперимент Ковер-2 и Ковер-3

Романенко Виктор Сергеевич

Институт ядерных исследований РАН

Петков Валерий Борисович, д.ф.-м.н.

vsrom94@gmail.com

Гамма-астрономия - это раздел астрономии изучающий космические объекты по их электромагнитному излучению в гамма-диапазоне с длинами волн $\lambda < 10^{-12}$ м, что примерно соответствует энергии фотонов $E_\gamma > 10^5$ эВ (100 кэВ), фотоны меньших энергий относятся к рентгеновскому диапазону. В свою очередь гамма-астрономия разделяется по диапазонам энергий фотонов: низких энергий 0.1 - 100 МэВ (Low Energy GR), высоких энергий 0.1 - 100 ГэВ (High Energy GR), очень высоких энергий 0.1 - 100 ТэВ (Very High Energy GR), сверхвысоких энергий 0.1 - 100 ПэВ (Ultra High Energy GR). Диапазон энергий напрямую влияет на их происхождение и методы их регистрации. В дальнейшем мы более подробно рассмотрим область очень высоких и сверхвысоких энергий.

Регистрация фотонов таких энергий осуществляется с помощью метода Широких Атмосферных Ливней (ШАЛ). ШАЛ - это "ливень" из вторичных частиц, образующихся в множественных каскадных реакциях при столкновении первичной частицы с атмосферой Земли. В зависимости от первичной частицы ливни подразделяют на адронные (рожденные протонами и ядрами) и электромагнитные (рожденные фотонами и электронами).

В диапазоне энергий первичных космических лучей (ПКЛ) $E_0 \sim 10^{10} - 10^{13}$ эВ используются черенковские телескопы. Их принцип построен на регистрации излучения Черенкова-Вавилова в атмосфере с помощью детекторов на основе фотоумножителей. Система таких детекторов позволяет получить достаточно информации о его мощности и восстановить направление прихода. Впервые такой телескоп был разработан А. Е. Чудаковым и его группой в 1963г., он находился в Крымской Астрофизической Обсерватории СССР и предназначался для поиска источников высокоэнергетического гамма-излучения. Так же были построены такие установки как: HESS [1], MAGIC [2] и другие. Для диапазона ПКЛ $E_0 \sim 10^{13} - 10^{16}$ эВ используются ливневые установки, в которых детекторы измеряют плотность частиц, что позволяет определять положение максимума плотности (оси ливня). Из пространственного распределения плотностей частиц в предположении осевой

симметрии, определяется полное число частиц в ливне. Для восстановления направления прихода ливня используется измерение задержек срабатывания детекторов. Разделение адронных и электромагнитных ливней выполняется путем измерения числа мюонов, так как электромагнитные ливни существенно обеднены мюонами из-за различия в процессах, происходящих при развитии ливня. Этот принцип используется на установках: «Ковер-2» [3], CASA-MIA [4], KASCADE [5], EAS-TOP [6] и других.

До настоящего времени известно о регистрации двух вспышек гамма излучения с энергией выше 100 ТэВ: 9 октября 1985 от Лебедь X-3 [7] и 23 февраля 1989 г. от Крабовидной туманности [8]. Кроме этих событий в данном диапазоне энергий гамма излучения не было обнаружено астрофизических источников. Новый этап интереса к изучению гамма квантов очень высоких и сверхвысоких энергий был вызван результатами нейтринной обсерватории IceCube [9], зарегистрировавшей астрофизические нейтрино с энергиями более 200 ТэВ [10]. В астрофизических источниках в следствии протон-протонных взаимодействий рождается примерно одинаковое количество π^- , π^+ и π^0 мезонов. Нейтрино рождаются в процессах распада заряженных мезонов, пара фотонов рождаются в процессе распада π^0 мезона. Поэтому имеется связь между потоками нейтрино и потоками фотонов близкой энергии астрофизического происхождения, однако, до сих пор не были зарегистрированы фотоны астрофизического происхождения с энергией более 100 ТэВ.

Для поиска гамма излучения очень высоких и сверхвысоких энергий в Баксанской Нейтринной Обсерватории ИЯИ РАН используются данные ливневой установки «Ковер-2». Установка состоит из наземной части («Ковер» с 6-ю выносными пунктами) и подземным мюонным детектором. Ковер детектирует электрон-фотонную компоненту ШАЛ и состоит из 400 сцинтилляционных счетчиков, формирующих квадрат размером 20×20 метров общей площадью 196 м². Мюонный детектор площадью 175 м² измеряет мюонную компоненту ливня с энергетическим порогом 1 ГэВ. Сигналы от выносных пунктов, состоящих каждый из 18 сцинтилляционных счетчиков общей площадью 9 м², используется для восстановления направления прихода ливня. В данный момент ведется работа по созданию ливневой установки нового поколения «Ковер-3» [11]. В настоящий момент, площадь мюонного детектора увеличена до 410 м² и ведутся работы по увеличению площади наземной части установки. Установка «Ковер-3» будет с высокой точностью измерять параметры электронно-фотонной, мюонной (пороговая энергия мюонов 1 ГэВ) и адронной компонент ливней. Одновременное измерение различных характеристик ШАЛ позволит по набору измеренных параметров восстановить энергию и тип первичной частицы (гамма-квант, протон, ядра более тяжелых элементов).

Таким образом, создание современных ливневых установок, обладающих большей чувствительностью в гамма ливням сверхвысоких энергий, позволит измерить потоки космического гамма-излучения с энергией выше 100 ТэВ и проверить модели происхождения нейтрино, зарегистрированных телескопом IceCube

Список публикаций:

- [1] - Hinton J. A. et al. *The status of the HESS project* // *New Astronomy Reviews*. – 2004. – Т. 48. – №. 5-6. – С. 331-337.
- [2] - Cortina J. *Status and first results of the MAGIC telescope* // *Astrophysics and Space Science*. – 2005. – Т. 297. – №. 1-4. – С. 245-255.
- [3] - Джанпугев Д. Д. и др. *МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ “КОВЕР-2” БНО ИЯИ РАН* // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. – 2007. – Т. 71. – №. 4. – С. 542-544.
- [4] - Borione A. et al. *A large air shower array to search for astrophysical sources emitting γ -rays with energies ≥ 1014 eV* // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. – 1994. – Т. 346. – №. 1-2. – С. 329-352.
- [5] - Antoni T. et al. *The cosmic-ray experiment KASCADE* // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. – 2003. – Т. 513. – №. 3. – С. 490-510.
- [6] - Aglietta M. et al. *The EAS-TOP array at $E_0 = 1014 - 1016$ eV: Stability and resolutions* // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. – 1989. – Т. 277. – №. 1. – С. 23-28.
- [7] - Алексеенко В. В. и др. *О ВОЗМОЖНОЙ ВСПЫШКЕ ИСТОЧНИКА ЛЕБЕДЬ X-3 В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ $E > 10^{14}$ эВ* // *Письма в ЖЭТФ*. – 1986. – Т. 44. – №. 4. – С. 202-205.
- [8] - 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.
- [9] - Aartsen M. G. et al. *The IceCube Neutrino Observatory: instrumentation and online systems* // *Journal of Instrumentation*. – 2017. – Т. 12. – №. 03. – С. P03012.
- [10] - IceCube Collaboration et al. *Evidence for high-energy extraterrestrial neutrinos at the IceCube detector* // *Science*. – 2013. – Т. 342. – №. 6161. – С. 1242856.
- [11] - Джанпугев Д. Д. и др. *ЭКСПЕРИМЕНТ “КОВЕР-3”-ПОИСК ДИФФУЗНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЕЙ СВЫШЕ 100 ТЭВ* // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. – 2017. – Т. 81. – №. 4. – С. 461-464.

Разработка метода SLD
Серебрякова Надежда Андреевна
Зуева Валерия Михайловна, Цымбал Вадим Вячеславович
Казанский (Приволжский) федеральный университет
Цымбал Вадим Вячеславович
deomlette@gmail.com

Мы представляем новую методику SLD (Spectral Lines Deconvolution) и ее сравнение с идейно предшествующей методикой для работы с зашумленными спектрами LSD (Least-Squares Deconvolution) [1],[2].

В более примитивной технике LSD ищется средний профиль всех линий, дающий наилучшее описание наблюдаемого спектра при свертке с маской, несущей информацию о положениях линий и их глубине, причем вводятся два предположения:

- 1) профили всех линий одинаковы и лишь масштабируются в соответствии с глубиной линий;
- 2) профиль бленды является суммой профилей компонент бленды.

Оба предположения, очевидно, физически некорректны. В связи с этим возникает необходимость разработки методики, свободной от столь грубых недостатков, но сохраняющей возможность работы с профилями линий в зашумленных спектрах высокого разрешения. Нами разработана такая методика и создан программный комплекс, ее реализующий. В методе SLD в качестве маски используется не только глубина линий и их положение, но и полные теоретические профили, индивидуальные для каждой линии, рассчитываемые на основе программы В. В. Цымбала SynthV [3]. Вместо среднего профиля ищется такая средняя SLD-функция, при свертке которой со всеми индивидуальными профилями получается наилучшее описание наблюдаемого спектра. Кроме того, при расчете теоретических профилей возникает удобная возможность рассчитать синтетический спектр и вычислить коэффициенты, исправляющие простую сумму теоретических профилей до корректно рассчитанных бленд. Таким образом, мы полностью уходим от недостатков методики LSD.

Список публикаций:

- [1] *J.-F. Donati, M. Semel, B.D. Carter, D.E. Rees, A.C. Cameron. Spectropolarimetric observations of active stars // MNRAS - 1997. - V. 291. - P. 658-682.*
- [2] *A. Tkachenko, T. Van Reeth, V. Tsybal, C. Aerts, O.Kochukhov, J. Debusscher. Denoising spectroscopic data by means of the improved lest-squares deconvolution method // A&A - 2013. - V. 560. - A37.*
- [3] *V. Tsybal // ASPC – 1996. - 108, 198.*

Сравнение кинематики молекулярного газа у дисковых и пекулярных галактик

Смирнова Ксения Ильдаровна
Вибе Дмитрий Зигфридович
Уральский федеральный университет
Arashu@rambler.ru

Исследованиям распределения различных компонентов межзвездной среды (МЗС) внутри областей или комплексов звездообразования (ОЗО/КЗО) посвящено большое количество исследований. Однако для более детального изучения того или иного процесса, происходящего в ОЗО, нам нужно как можно больше данных в различных диапазонах для конкретной области. В предыдущих работах [1, 2] мы делали упор на три компонента МЗС: молекулярный водород (индикатор обнаружения — молекула CO); нейтральный водород (излучения HI на длине волны 21 см); пыль в различных диапазонах — от ближнего инфракрасного (ИК) излучения (8 мкм) до дальнего ИК (160 мкм). Еще одним немаловажным параметром является кинематика газа, важная при исследованиях звездообразования, турбулентности, МЗС и динамики галактик. В данной работе мы дополним анализ ИК-излучения внегалактических ОЗО, рассмотренных в работе [1], исследованием кинематики газа по линиям излучения CO.

Анализируя нашу предыдущую работу [3], где сравнивался разброс скоростей в ОЗО из галактик различных морфологических типов, мы пришли к выводу, что в галактиках с признаками взаимодействия, как у галактики NGC 3351, наблюдаются различия как в наблюдаемых потоках (они на порядок меньше, нежели в других галактиках), так и в значениях разброса скоростей (значения ΔV в некоторых ОЗО превышают 70 км/с). В данном исследовании мы дополняем нашу выборку дисковыми галактиками NGC 925 и NGC 6946,

подобными галактике NGC 628. Это позволило нам определить ΔV более чем в 100 ОЗО в дополнение к уже исследованным 95 областям.

Для каждой галактики мы определили разброс скоростей (ΔV) в линии CO по данным наблюдений из обзора HERACLES. В ходе данного исследования мы столкнулись с трудностью определения разброса скоростей для ОЗО из галактики NGC 925. Из 43 областей оценить величину ΔV удалось только у восьми. Данная проблема может быть вызвана несколькими причинами: первая — мы проводили выделение областей, не опираясь на излучение CO, вторая — вычитая фоновое излучение, мы можем терять излучение в областях со слабой эмиссией CO. Несмотря на возникшую проблему, нам удалось сделать предварительные выводы. Зависимость между разбросом скоростей и потоком излучения в линии CO выделяются две группы ОЗО (см. рис. 1). Для ОЗО с $\Delta V < 70$ км/с наблюдается рост потока в линии CO с увеличением ΔV . Можно предположить, что в первой группе мы имеем дело с молекулярным газом, который в значительной степени остается невозмущенным процессами звездообразования. Во второй группе ($\Delta V > 70$ км/с), вероятно, уже видны признаки поздней эволюции CO, связанной со вспышками сверхновых; в этом случае поток CO убывает с увеличением ΔV .

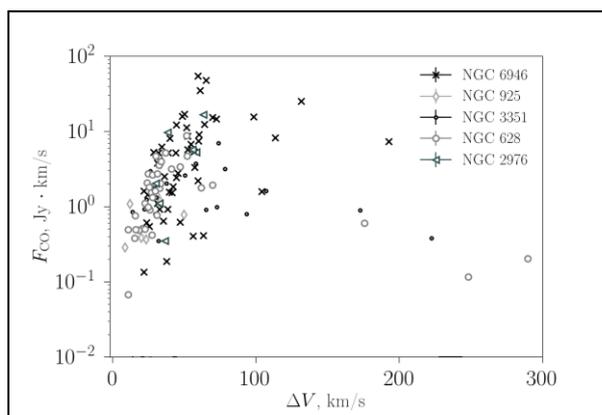


рис. 1. Зависимость разброса скоростей от потока излучения в линии CO. Различными символами представлены разные галактики: черные крестики – NGC 6946, серые ромбы – NGC 925, черные точки – NGC 3351, серые кружки – NGC 628, черные треугольники – NGC 2976.

Список публикаций:

- [1] Smirnova K. I., Murga M. S., Wiebe D. S. // *Astronomy Reports* 2017. Vol. 61. № 8. p. 646-662.
- [2] Smirnova K. I., Wiebe D. S., Moiseev A. V. // *Open Astronomy* 2017. Vol.26 p.88-92.
- [3] Smirnova K. I., Wiebe D. S. // *Астрономический журнал* 2019. Т. 96. № 6. стр..

Циклическое изменение периода отрицательных сверхгорбов у катаклизмической переменной NY Her

Сосновский Алексей Александрович

Павленко Е.П, Пить Н.В.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

demartin@ukr.net

Проанализирован плотный ряд наблюдений NY Her по данным 2017 г., полученным на 2.6-м, 1.25-м и 38-см телескопах КрАО (48 ночей в интервале 94 сут.), охвативший различные стадии вспышечной активности этой карликовой новой: нормальные вспышки, сверхвспышки и спокойное состояние между ними. Получены следующие характеристики активности: сверхцикл (интервал между соседними сверхвспышками) составил 60-61 сут., а цикл (интервал между соседними нормальными вспышками) – 13-14 сут. Эти величины подтвердили предыдущее заключение, сделанное Като и др. (2017)., что объект представляет собой активную карликовую новую (сверхцикл <100 сут.) с нечастыми нормальными вспышками. Детальные наблюдения позволили нам найти, что плато сверхвспышки длилось 15 сут., а не 10 сут. согласно предварительной оценке Като и др. (2017). Новые наблюдения подтвердили наличие у системы отрицательных сверхгорбов, обнаруженными нами ранее (Sosnovskij et al., 2017). Для всех моментов максимумов блеска были вычислены величины O-C (рис.1.) с использованием эфемериды $= 2457924.364 + 0.071311E$, где C – расчетный момент максимума, E – номер эпохи (цикла).

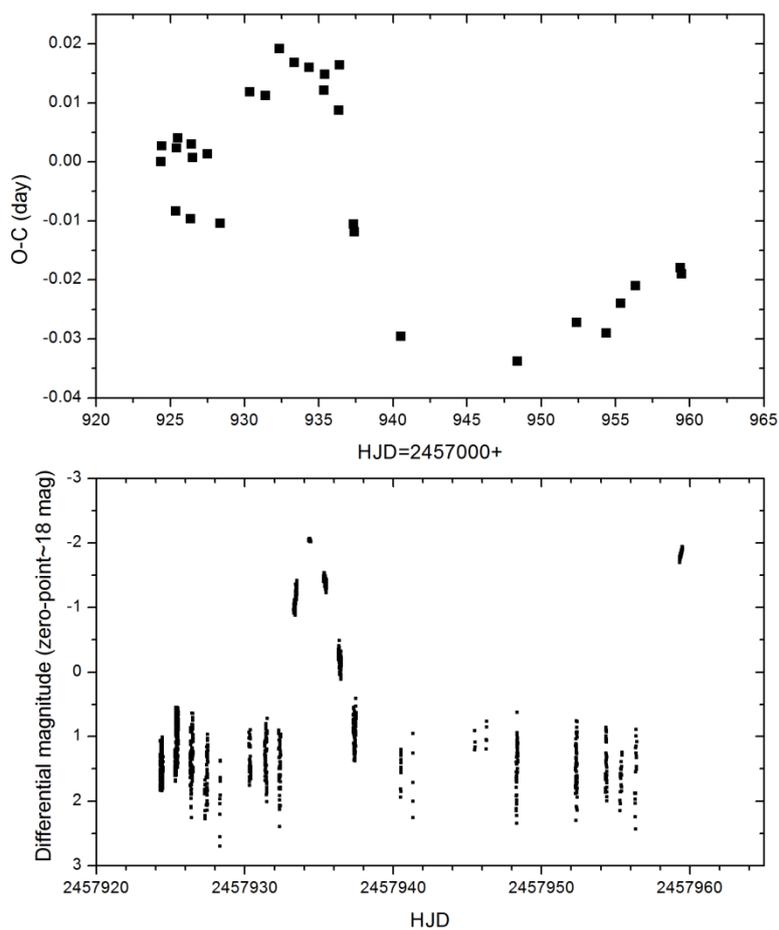


рис.1. Кривая блеска NY Her (нижняя панель). Диаграмма O-C с периодом отрицательных сверхгорбов (верхняя панель).

Оказалось, что в интервале между соседними вспышками O-C изменялись по параболическому закону, что соответствовало увеличению периода. В момент вспышки период скачком уменьшался и затем опять возрастал к началу следующей вспышки. Кроме того, на эти изменения O-C от вспышки к вспышке накладывался также медленный тренд, соответствующий уменьшению среднего периода отрицательных сверхгорбов между сверхвспышками. Такое циклическое изменение периода отрицательных сверхгорбов полностью согласуется с циклическим изменением радиуса аккреционного диска, предсказанным теорией термально-приливной неустойчивости (ТТИ) (Osaki, 2005).

Список публикаций:

1. Kato, T., et al. Survey of period variations of superhumps in SU UMa-type dwarf novae. IX. The ninth year (2016-2017). PASJ, 69, 75, 2017.
2. Sosnovskij A., Pavlenko E., Pit N., Antoniuk K. NY Her: possible discovery of negative superhumps. IBVS, #6216, 2017.
3. Osaki, Y. Review "The disk instability model for dwarf nova outbursts". Proc. Japan Acad., 81, №8, Ser. B, 2005.

О рентгеновском излучении пульсаров

Тимиркеева Мария Андреевна

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Малов Игорь Федорович, д.ф.-м.н.

marika-ko@yandex.ru

В настоящее время детальные данные получены для 61 радиопульсара из каталога [1], излучающего в рентгеновском диапазоне [2-3] от 0.1 до 10 кэВ. Проведено сравнение ряда параметров пульсаров, громких и тихих в рентгеновском диапазоне.

Показано, что жёсткое излучение наблюдается, в основном, у радиопульсаров с высокими значениями скорости потерь энергии вращения dE/dt и магнитного поля на световом цилиндре B_{lc} . Дальнейший поиск

рентгеновского и гамма излучения от этих объектов можно вести целенаправленно, выделив из всей совокупности радиопульсаров источники с указанными особенностями.

Для исследуемой выборки зависимость нетепловой рентгеновской светимости L_x от dE/dt может быть описана следующим уравнением

$$\log L_x = (1.17 \pm 0.08) \log \frac{dE}{dt} - 9.46 \pm 2.89 \quad (1)$$

при коэффициенте корреляции $K = 0.97$.

Рентгеновское нетепловое излучение может генерироваться на периферии магнитосферы пульсара за счёт синхротронного механизма, поскольку наблюдается тенденция роста L_x с B_{lc} , которая может быть представлена в виде:

$$\log L_x = (1.11 \pm 0.22) \log B_{lc} + 27.09 \pm 0.97, K = 0.49. \quad (2)$$

Существует также корреляция между гамма-светимостью пульсаров L_γ и B_{lc} [4]. Поэтому следует ожидать заметную корреляцию между гамма- и рентгеновской светимостью. Для сравнения использованы данные из каталога гамма-пульсаров, приведенного в работе [5]. Оказалось, что действительно существует сильная корреляция между L_x и L_γ (рис. 1):

$$\log L_x = (1.22 \pm 0.21) \log L_\gamma - 9.67 \pm 7.18, K = 0.77. \quad (3)$$

Это дает возможность целенаправленного поиска новых пульсаров от источников с зарегистрированным излучением в одном из этих диапазонов.

Уравнения (1) – (3) построены с помощью МНК. L_x и L_γ приведены в эрг/сек, а B_{lc} в Гс.

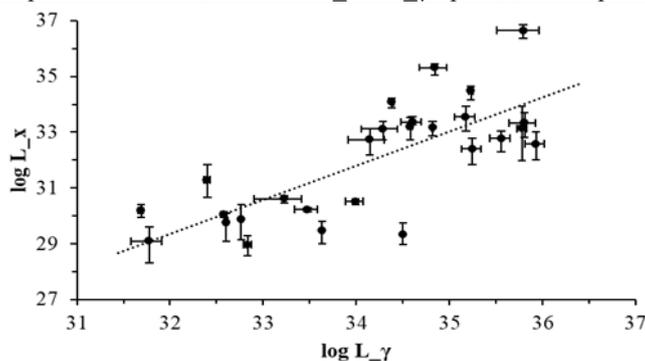


рис.1. Зависимость рентгеновской светимости радиопульсаров от их гамма-светимости

Список публикаций:

- [1] Manchester R.N., Hobbs G.B., Teoh A., Hobbs M. // *Astron. J.* 2005. V. 129. P. 1993-2005.
- [2] Possenti A., Cerutti R., Colpi M., Mereghetti S. // *A & A.* 2002. V. 387. P.993-1002.
- [3] Prinz T., Becker W. // *ArXiv1511.07713.*
- [4] Malov I.F., Timirkeeva M. A. // *RAA.* 2018. V. 18. P. 89.
- [5] Abdo A. A. et al. // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 2013. V. 208, P. 1-59.

Открытие переменных звёзд на основании фотометрического анализа снимков

Уфимцева Маргарита Александровна

Назаров Сергей Валентинович

Севастопольский государственный университет

Рогова Ольга Валентиновна

ritica011@bk.ru

В данной работе представлены результаты и описание процесса поиска переменных звезд в базе данных астрономического зеркального телескопа (АЗТ-8) с использованием программ MaxIM DL, MuniWin, Vast, а также разработанного сотрудниками Крымской астрофизической обсерватории программного обеспечения.

Целью работы является открытие неизвестных переменных звезд.

Актуальность работы заключается в том, что поиск и дальнейшее исследование переменных звезд очень важно для исследования характеристик звезд и их эволюции.

С середины 60-х годов XX века Крымская астрофизическая обсерватория (КрАО) регулярно исследует активные ядра галактик спектральными и фотографическими методами, используя для этого несколько телескопов [4].

В 2001 году на 70-см телескопе АЗТ-8 [5] стартовал проект постоянного фотометрического мониторинга избранного ряда АЯГ [6]. Программа наблюдений включает в себя около сотни квадратных площадок с активными ядрами размером 15x15 угловых минут. За прошедшее время на телескопе было накоплено около полумиллиона кадров в фильтрах BVRI системы Джонсона. Каждый снимок обладает прониканием до 18-19 звездной величины при характерных экспозициях от 1 до 3х минут.

Большие временные масштабы архива располагают к его дополнительному многостороннему исследованию, одним из направлений которого является поиск переменных звезд.

Переменные звезды - это звезды, которые изменяют свой блеск за время одного наблюдения [7]. Продолжительное фотографирование определенных участков неба позволяет обнаружить переменные звезды многих типов.

Яркие переменные звезды, до 9-10 звездной величины, практически все открыты. А диапазон звёзд с менее ярким блеском: от 13-14 звёздной величины и глубже подробно начали изучать только в наше время. В связи с этим снимки с АЗТ-8, обладающие глубоким прониканием до 18-19 звёздной величины, имеют огромное преимущество при поиске переменных звёзд.

Поиск переменных звезд не требует высокой квалификации, поэтому школьники, студенты и любители астрономии также могут поспособствовать развитию этого направления. Профессиональные астрономы просто не в состоянии охватить регулярными наблюдениями такую массу звезд, а для любителя в этой области открывается возможность внести свой вклад в науку.

С помощью программы fits-calibrator, разработанной инженером КрАО Кутковым О.Е., осуществлялась сортировка и калибровка кадров с АЗТ-8 [1]. Программный пакет MaxIM DL применялся для ручного поиска, а для проверки достоверности результатов использовалась программа автоматического поиска переменных звёзд Vast сотрудника Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга МГУ Соколовского К. [2]. Также для автоматического поиска переменных звёзд работали с программным пакетом Muniwin. Программный пакет WinEff, разработанный научным сотрудником Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга МГУ В. П. Горанским, задействовался для определения периодов и типов звезд. В ходе работы было исследовано около 20000 кадров. Все открытые объекты регистрируются в международной базе данных переменных звезд AAVSO VSX [3].

№	Обозначение	Координаты	Созвездие	Тип	Период	Амплитуда
1.	USNO-A2.0 0750-18886826	19 43 04.1 -10 14 20.7	Орел	RRAB	0.5253	15.75-16.87 V
2	UCAC4 662-103422	22 02 18.1 +42 15 07.9	Лисичка	EW	0.3428	16.55-16.85 V
3.	UCAC4 850-013382	18 40 14.07 +79 49 28.1	Дракон	EA	0.5371	16.65-17.35 V
4.	UCAC4 849-013401	18 42 24.8 +79 37 39.6	Дракон	EW	0.2695	16.44-17.19 V
5.	UCAC4 682-039821	05 54 52.27 +46 23 57.5	Возничий	GDOR	1.5992	14.21-14.25 V
6.	UCAC4 683-041980	05 54 45.91 +46 24 11.9	Возничий	GDOR	0.6438	16.07-16.12 V
7.	USNO-A2.0 1350-06265090	05 54 32.79 +46 27 33.9	Возничий	EW	0.3303	17.45-17.75 V
8.	GSC 05760-01389	20 43 58.64 -10 41 37.0	Водолей	RS	3.1785	13.96-14.09 V

Список публикаций:

[1] GitHub <https://github.com/olegkutkov/fits-calibrator>

[2] Sokolovsky K. V., Gavras P., Karamelas A. Comparative performance of selected variability detection techniques in photometric time series data // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2014. — Vol. 464. — P. 274–292.

[3] AAVSO VSX <https://www.aavso.org/vsx/>

[4] *Известия КрАО*. – 1967. – Т. XXXVI. – с. 277-280

[5] Sergeev S. G., Klimanov S. A., Okhmat S. S. Upgrading and automating the AZT-8 70-cm telescope // *Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory*. - 2010. - Vol. 106. - P. 92-98.

[6] КрАО http://lerga.crao.crimea.ru/Scires/seyfert_ru.html#history

[7] *Энциклопедический словарь юного астронома / Сост. Н. П. Ерпылев*. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Педагогика, 1986. - 336 с.

12 - Биофизика, медицинская физика

Авраменко Дмитрий Александрович, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Измерение геометрических параметров вестибулярного аппарата крысы с использованием микроКТ
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: dmitry.a.avramenko@gmail.com стр. 295

Акинина Мария Дмитриевна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Электрическая модель вестибулярного органа
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: maakin1993@yandex.ru стр. 296

Балашова Валентина Николаевна, аспирант 3 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Угловая модель ДНК с потенциалом Морзе
Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.
e-mail: Felizija2010@mail.ru стр. 297

Голочалова Анастасия Владимировна, магистрант 2 года обучения
Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, институт инженерных и цифровых технологий
Оптимизационная модель равновесной формы эритроцита
Кулумбаев Эсен Болотович, д.ф.-м.н.
e-mail: golochalova@bsu.edu.ru стр. 298

Касьянова Валентина Владимировна, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физико-технологический
Ферментоподобная активность биосовместимых наночастиц диоксида церия
Бажукова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.
e-mail: ValentinaKasianova@yandex.ru стр. 300

Киреева Наталья Владимировна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Гемодинамика коронарных сосудов сердца в условиях стеноза
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: natali@adrenaline.zone стр. 301

Коротовских Ольга Игоревна, магистрант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический институт
Изучение зависимости радиационно-индуцированной адаптации от времени между облучениями в малой и повреждающей дозах у дрожжей *saccharomyces cerevisiae*
Баранова Анна Александровна, к.т.н.
e-mail: Olkoriya@yandex.ru стр. 303

Кудайбергенова Меруерт Биржановна, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Гемодинамика коронарных сосудов сердца в условиях стеноза
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: mira4ka1996@mail.ru (соавтор Киреевой)

Кудайбергенова Меруерт Биржановна, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Разработка самосогласованной модели гемодинамики коронарных сосудов
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: mira4ka1996@mail.ru стр. 303

Кучма Елена Александровна, инженер
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, МИИ `Интеллектуальные материалы`
Суперпарамагнитные наночастицы для тераностики в онкологии
Солдатов Александр Владимирович, д.ф.-м.н.
e-mail: elenaku4ma@yandex.ru стр. 305

Морячков Роман Владимирович, аспирант 2 года обучения
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 стр. 306

Низямова Алина Рамилевна, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Динамика ДНК в вязкой среде
Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.
e-mail: alya.nizyamova.96@mail.ru стр. 307

Никифоров Александр Алексеевич, 4 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, физический
Модельная оценка риска потери водопроводимости клеток ксилемы хвойных в связи с замерзанием-оттаиванием воды в проводящих клетках
Свидерская Ирина Викторовна, к.б.н.
e-mail: anik10@mail.ru стр. 308

Павленко Дмитрий Владимирович, магистрант 1 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Разработка комплекса компьютерных программ для проведения коррекционных тренингов на основе биологической обратной связи по ЭЭГ для детей с аутизмом
Зуев Сергей Александрович, к.ф.-м.н.
e-mail: carboneum.d@gmail.com стр. 309

Плешков Максим Олегович, аспирант
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Модель распространения электрического тока в тканях вестибулярного лабиринта человека
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: pankerams@gmail.com стр. 310

Суюндукова Алмагуль Туктаровна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 312

Фрицлер Яна Викторовна, магистрант 2 года обучения
Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Анализ динамики Ca^{2+} математической модели астроцита
Шуваев Андрей Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: fri.yana@mail.ru стр. 313

Чеблакова Ирина Георгиевна, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Исследование усовершенствованной оптической модели тромбоцита с использованием светорассеяния
Литвиненко Алёна Леонидовна,
e-mail: cheblakovairina@gmail.com стр. 314

Черкасская Кристина Вилоровна, учитель
Симферополь, МБОУ Кольчугинская школа № 1, Физико-технический институт КФУ
Исследование кристаллической структуры гидроксипатита при костных патологиях
Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.
e-mail: kristina_cherkasskaya@mail.ru стр. 315

Измерение геометрических параметров вестибулярного аппарата крысы с использованием микроКТ

Авраменко Дмитрий Александрович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин В.П., д.ф.-м.н., Плешков М.О.

Dmitry.a.avramenko@gmail.com

Главной функцией вестибулярного аппарата является преобразование механического сигнала движения (или наклона) головы в электрический сигнал, закодированный частотой нервной импульсации.

Различные нарушения работы вестибулярного органа приводят к потере работоспособности и ухудшению качества жизни [2]. К сожалению, в наше время не существует эффективного медикаментозного лечения дисфункции вестибулярного аппарата, которая вызывает проблемы с ориентацией в пространстве, головокружение, ощущение падения, тошноту и рвоту и тому подобное. С целью восстановления утраченной вестибулярной функции был разработан вестибулярный имплантат [3,4].

Имплантат включает в себя гироскопы, которые детектируют вращение головы в пространстве, в результате имплантат преобразует механическую информацию в электрический ток, наконец, электрический ток стимулирует ампулярные ветви афферентного вестибулярного нерва через подключенные электроды.

Для оптимизации электрической стимуляции имплантатом, в первую очередь, необходимо понимать, как распространяются электрические токи через ткани внутреннего уха. Одним из методов визуализации протекания токов является моделирование методом конечных элементов на основе известной геометрии и параметров электрической проводимости. Так как экспериментальная проверка модели электрической проводимости на человеке *in vivo* невозможна, в качестве первичного объекта исследования были выбраны лабораторные животные (крыса, морская свинка).

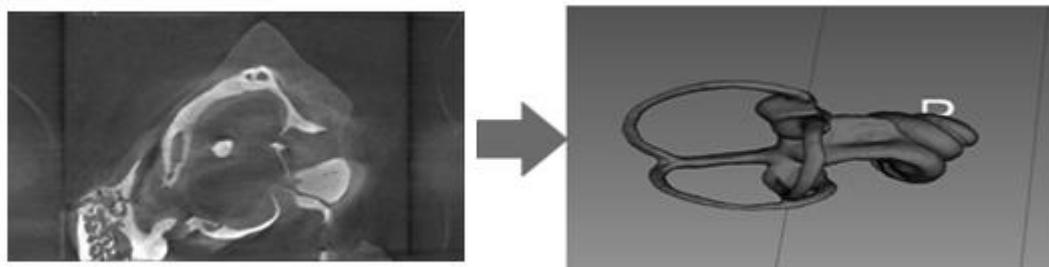


рис.1.Снимок микрокомпьютерной томографии и его последующая реконструкция костного лабиринта

Начальным этапом было построение 3D геометрической модели на основе полуавтоматической реконструкции снимка с использованием метода микрокомпьютерной томографии височной кости и оценка геометрических параметров вестибулярного аппарата крысы.

Снимок микрокомпьютерной томографии размером вокселя 40x40x40 микрометров был обработан в свободном ПО Slicer 4.5.0 [5]. На основании построенной 3D анатомической модели с использованием ПО Netfabb 5.0 был сделан ряд замеров геометрических параметров, таких как диаметры полукружных каналов, диаметры сечений полукружных каналов, диаметры и высоты ампул, так как ампулы представляют собой эллипсоид вращения.

Поскольку литературные данные о геометрических размерах лабиринта крысы довольно ограничены, нами были проведены детальные измерения параметров вестибулярного органа крысы, в частности полукружных каналов.

Большой и малый диаметр заднего полукружного канала соответственно равны 3.64 и 1.81 мм; переднего полукружного канала - соответственно равны 3.64 и 2.17 мм; латерального полукружного канала - соответственно равны 2.04 и 1.99 мм. Высота и диаметр ампулы заднего полукружного канала соответственно равны 1.43 и 0.75 мм; переднего полукружного канала - соответственно равны 1.57 и 0.75 мм; латерального полукружного канала - соответственно равны 1.39 и 0.7 мм. Также были замерены диаметры сечения в верхней, по центру и около ампулы. Для переднего полукружного канала они соответственно равны 0.46, 0.2 и 0.3 мм. Для переднего полукружного канала они соответственно равны 0.47, 0.2 и 0.47 мм. Для переднего полукружного канала они соответственно равны 0.38, 0.42 и 0.51 мм.

Так как целевой структурой стимуляции является вестибулярный нерв, необходимо использовать контрастное вещество для его визуализации при помощи микрокомпьютерной томографии [6]. Полученные

таким методом геометрические модели будут в дальнейшем использованы как основа для моделирования протекания электрических токов во внутреннем ухе.

Список публикаций:

[1] Davidovics NS, Multichannel vestibular prosthesis employing modulation of pulse rate and current with alignment precompensation elicits improved vor performance in monkeys / Davidovics NS, Rahman MA, Dai C, Ahn J, Fridman GY, Della Santina CC. // *JARO - J Assoc Res Otolaryngol.* - 2013; - 14(2), - P.233–48.

[2] Sun DQ, Bilateral Vestibular Deficiency: Quality of Life and Economic Implications / Sun DQ, Ward BK, Semenov YR, Carey JP, Della Santina CC // *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* -2014 Jun; -140(6), -P.527-34.

[3] Pelizzone M, First functional rehabilitation via vestibular implants. *Cochlear* / Pelizzone M, Fornos AP, Guinand N et al // *Implants Int* 15, - 2014, -14(1), – P.62–S64.

[4] Perez Fornos A, Artificial balance: restoration of the vestibulo-ocular reflex in humans with a prototype vestibular neuroprosthesis / Perez Fornos A, Guinand N, van de Berg R et al // *Front Neuro* -2014, - 15, -P.66.

[5] Andriy Fedorov, 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network / Andriy Fedorov., Reinhard Beichel, Jayashree Kalpathy-Cramer, Julien Finet, Jean-Christophe Fillion-Robin, Sonia Pujol, Christian Bauer et al. // *Magn Reson Imaging*, -2012, -30(9),- P. 1323–1341.

[6] Van de Berg, Optimization of 3D-Visualization of Micro-Anatomical Structures of the Human Inner Ear in Osmium Tetroxide Contrast Enhanced Micro-CT Scans / Van de Berg, Raymond, Perez-Fornos, Angelica, Schrott-Fischer, Anneliese Handschuh et al. // *Frontiers in Neuroanatomy*, -2018, -12, -P.1-11.

Электрическая модель вестибулярного органа

Акинина Мария Дмитриевна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

maakin1993@yandex.ru

Одним из современных подходов к изучению закономерностей, лежащих в основе функционирования биологических систем, является физико-математическое моделирование [1-3] – создание математических моделей на основе физических принципов и механизмов физиологических процессов.

Несмотря на обилие исследований в данной области, электрофизиологические механизмы работы вестибулярного аппарата человека еще не достаточно изучены, поскольку диагностика его *in vivo* очень сложна. В таких случаях эффективным методом является физико-математическое моделирование и последующее сравнение результатов расчетов с экспериментами на лабораторных животных, основанные на подобии физиологических процессов, протекающих в вестибулярном лабиринте животных и человека [1, 4], и влиянии этих процессов на электрические свойства биологических тканей.

Импульсы тока от погруженного в перилимфатическое пространство стимулирующего электрода вестибулярного импланта могут распространяться одновременно по трем основным направлениям в тканях лабиринта к окончанию вестибулярного нерва.

Путь А. Электрический сигнал способен перемещаться по перилимфе, в которую погружен стимулирующий электрод, поскольку последняя является электролитом, благодаря значительному содержанию органических и неорганических ионов. К основанию кристы подходят чувствительные дендритные окончания вестибулярных нейронов, приводя к возбуждению последних, распространяясь через локальные клеточные элементы (сенсорные и вспомогательные), которые за счет своего специфического строения обладают диэлектрическими свойствами. В нервных окончаниях электрический импульс провоцирует открытие натриевых каналов нейрона, порождая генерацию потенциалов действия, подменяющих нейропульсацию от частично или полностью погибших волосковых клеток.

Путь В. Электрический сигнал способен преодолевать мембрану лабиринта, образованную эпителиальными и мезенхимальными клетками, далее распространяясь по эндолимфе к купуле, проникая через последнюю и возбуждая нервные окончания через апикальную часть нейроэпителлия, выстилающего внутреннюю поверхность вестибулярной кристы. Далее в местах контакта с афферентными окончаниями вестибулярных нейронов происходит генерация потенциалов действия по описанному выше механизму.

Путь С. Является аналогичным случаем второго пути. Электрический сигнал в начале своего пути также распространяется по перилимфе и преодолевает стенку мембранного лабиринта, далее распространяясь по эндолимфе, но не к купуле, а к стенке ампулярной кристы. Минув последнюю, ток распространяется через локальные клеточные элементы (сенсорные и вспомогательные), обладающие электропроводящими и диэлектрическими свойствами, к нервным окончаниям. Происходит генерация потенциалов действия, и сигнал передается по ампулярным нервам в головной мозг. [5]

Эквивалентную электрическую схему замещения вестибулярного лабиринта можно представить в виде одной (R – путь А) и двух (RC – пути В и С) цепей включенных параллельно друг с другом [7] (рис. 1).

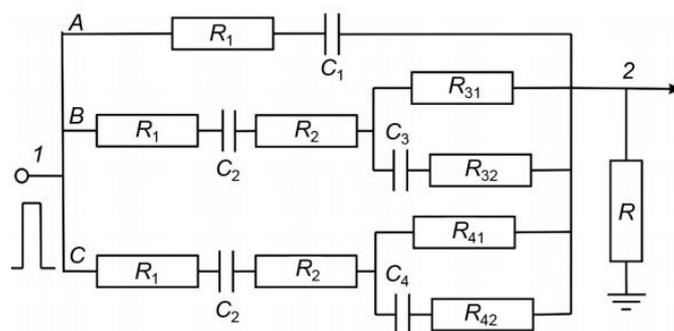


рис. 1. Детализированная электрическая схема замещения вестибулярного лабиринта

В данной работе было проведено численное моделирование прохождения гармонических сигналов различной частоты через эквивалентную электрическую схему замещения вестибулярного лабиринта с использованием математического пакета Comsol Multiphysics. В ходе расчетов проводилась вариация параметров R и C взятых из работы [6] и сравнение амплитудно-фазовых характеристик принимаемого сигнала с данными работы [5-7]. Расчеты проводились при сопротивлении нагрузки 100 Ом.

Полученные результаты показали, что фазовое смещение тока на вестибулярном нерве по отношению к напряжению к стимулирующему напряжению имеет немонотонный характер в зависимости от частоты. Максимальное отрицательное значение фазового смещения тока в электрической схеме наблюдается при $f=200$ Гц. Как показали расчеты, амплитудно-фазовые характеристики принимаемого сигнала на вестибулярном нерве мало зависят от вариации R и C волосковых и базилярных клеток. При увеличении емкости происходит незначительное уменьшение сдвига фазы между подаваемым и принимаемым сигналом. Учет клеточных структур волосковых и базилярных клеток в электрической цепи показывает, что в рассмотренном интервале частот они вносят вклад в общий импеданс и влияют на сдвиг фазы между подаваемым и принимаемым сигналом. Предложенная электрическая модель и результаты расчетов могут служить основой для диагностики заболеваний вестибулярного лабиринта и проектирования нового типа вестибулярных имплантов [6].

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., Индохин., Лебедеко И. С. //Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2013. - №1.
- [4] Зуев А. Л., Мишиланов В. Ю., Судаков А. И., и др. //Российский журнал биомеханики. –2012. – Т. 18, №4. С. 491-497.
- [5] 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.
- [6] Демкин В.П., Мельничук С.В., Щетинин П.П., Кингма Г., Ван Де Берг Р. //Известия вузов. Физика.–2017.- № 11.С. 152-157
- [7] Демкин В.П., Мельничук С.В., Щетинин П.П., Кингма Г., Ван Де Берг Р., Демкин О.В., Удут Е.В. //Известия вузов. Физика. 2018. Т. 61, №12. С. 1-6.

Угловая модель ДНК с потенциалом Морзе

Балашова Валентина Николаевна

Башкирский государственный университет

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

felizija2010@mail.ru

При считывании информации с молекулы ДНК в процессе взаимодействия с белками возникает так называемое открытое состояние (open state), в котором происходит разрыв водородных связей комплементарных полинуклеотидных оснований и движение транскрипционного пузыря (transcription bubble) вдоль цепочки. Такой пузырь представляет собой небольшую (~10 пар оснований) расплетённую область двойной спирали ДНК. Инглэндер с соавторами выдвинули идею о том, что солитоны являются удобным математическим образом, подходящим для описания этих конформационных изменений [1]. Позже началась активная разработка мезоскопических моделей динамики ДНК, которые в настоящее время можно условно разделить на две основные группы:

1. поперечные, или РВ-модели, в которых открытое состояние молекулы ДНК описывается смещением азотистых оснований в направлении, перпендикулярном оси ДНК [2, 3], и
2. угловые, или Y-модели, в которых открытое состояние описывается вращением азотистых оснований вокруг сахаро-фосфатного остова [4, 5].

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 потенциалом Морзе, описывающим динамику поперечных моделей.

Предлагаемая нами модель ДНК имеет следующую структуру (рис.1):

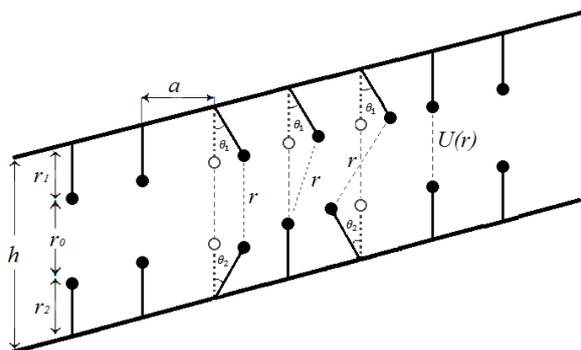


рис. 1. Угловая модель ДНК с потенциалом Морзе

Здесь θ_1 и θ_2 – углы поворота оснований вокруг сахаро-фосфатного остова в первой и второй цепочках соответственно; r_1 и r_2 – расстояния от сахаро-фосфатных цепочек до азотистых оснований; a и r_0 – расстояния между азотистыми основаниями внутри и между цепочками.

Взаимодействие между комплементарными основаниями описывается потенциалом Морзе:

$$U(\Delta r) = D(e^{-a(r-r_0)} - 1)^2,$$
 где D – параметр, определяемый экспериментально.

Уравнения движения получаются из $I_k \ddot{\theta}_k = \frac{\partial U}{\partial \theta_k}$, где $k = 1, 2$; I_1 и I_2 – моменты инерции оснований.

После определённых преобразований получаем уравнение sin-Гордона:

$$I_k \ddot{\theta}_k = \theta'' - 2a^2 D r_1 \varepsilon (- (r_0 + r_1 + r_2) \sin \theta_2 - r_2 \sin 2\theta_2), \text{ где } k = 1, 2.$$

Это уравнение имеет солитонные решения, параметры которых (ширина, импульс и энергия) уже можно сравнить с экспериментальными результатами.

Список публикаций:

- [1] S.W. Englander, N.R. Kallenbach, A.J. Heeger, J.A. Krumhansl, A. Litwin. *Nature of the open state in long polynucleotide double helices: possibility of soliton excitations* // PNAS USA 77, 1980. – P. 7222–7226.
- [2] M. Peyrard and A.R. Bishop. *Statistical mechanics of a nonlinear model for DNA denaturation* // Phys. Rev. Lett. 62, 1989. – P. 2755–2758.
- [3] M. Peyrard, A.R. Bishop and Th. Dauxois. *Dynamics and thermodynamics of a nonlinear model for DNA denaturation* // Phys. Rev. E 47, 1993. – P. 684–697.
- [4] L.V. Yakushevich *Nonlinear DNA dynamics: a new model* // Phys. Lett. A 136, 1989. – P. 413–417.
- [5] Якушевич Л.В. *Нелинейная физика ДНК*. // М.: Ижевск: НИЦ «РХД». 2007. 252с.

Оптимизационная модель равновесной формы эритроцита

Голочалова Анастасия Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Кулумбаев Эсен Болотович, д.ф.-м.н.

golochalova@bsu.edu.ru

Во взвешенном состоянии в плазме крови нормальный эритроцит имеет дисковидную двояковогнутую форму [1], которая, как считается, обусловлена свойствами мембраны эритроцита. В [2] Канхем показал, что такая равновесная форма может соответствовать минимуму упругой энергии изгиба мембраны

$$E_b = \frac{1}{2} B \int \kappa^2 dS, \quad (1)$$

где κ – средняя кривизна мембраны при заданных площади S ее поверхности и объеме V ею ограничивающем; B – изгибная жесткость. По мнению авторов [3], из-за ненадлежаще проведенного сравнения с

экспериментальными данными, модель (1) в дальнейшем неоправданно усложнялась, например, учетом спонтанной кривизны [4], и, как следствие, появлением в теории подгоночных параметров. Однако в [3] сравнение теоретической формы, доставляемой принципом Канхема, проводится для ограниченного набора экспериментальных данных (четыре эритроцита) из [5] и намеренно, из-за 20% разброса экспериментальных параметров пятидесяти нормальных эритроцитов, игнорируется усредненная по ним форма [6]. Нелинейность соответствующей (1) вариационной задачи с необходимостью обуславливает использование для ее решения численных методов (см., например, [3–4]). Поэтому приемлемым будет нахождение формы эритроцита в исходной постановке из минимизации (1) при заданных S и V . Такая постановка соответствует задаче условной нелинейной оптимизации, для решения которой развиты и апробированы эффективные численные методы [7]. Существенным доводом для реализации такого подхода является возможность применения модели (1) (или ее модификаций) для нахождения стационарных форм эритроцита, деформированного внешним воздействием. Поэтому в данной работе ставится промежуточная цель, состоящая в разработке оптимизационной модели равновесной формы эритроцита.

В силу осесимметричности равновесной формы эритроцита ее нахождение сводится к построению в полуплоскости (r, z) образующей линии с началом и концом на оси симметрии z и доставляющей минимум (1) с ограничениями в виде заданных значений площади S соответствующей поверхности вращения и объема V , ограниченного этой поверхностью. Искомая образующая линия аппроксимируется дискретным набором из N равноудаленных друг от друга точек. Поэтому аргумент целевой функции (1) – это вектор длины $2N$, составленный из координат N точек, а минимизация (1) дополняется соответствующими ограничениями на расстояния между этими точками. Геометрически такая аппроксимация соответствует замене образующей на ломаную, составленную из звеньев одинаковой, но априори неопределенной длины. Средняя кривизна поверхности вращения находится как сумма главных кривизн во внутренних вершинах ломаной: $\kappa = \kappa_1 + \kappa_2$, где κ_1 вычисляется исходя из «скоростного» смысла кривизны меридиана, а κ_2 – через кривизну параллели, радиус кривизны r которой является проекцией главного радиуса кривизны $1/\kappa_2$. Оптимизация осуществляется численно в пакете Matlab.

Результаты оптимизационного расчета формы нормального эритроцита с параметрами $V = 94 \text{ мкм}^3$, $S = 134 \text{ мкм}^2$ по данным [6] представлены на рис. 1. Влияние числа вершин ломаной, аппроксимирующей образующую, оказывается несущественным, так как результаты расчета для $N = 21$ и 41 изменяются мало настолько, что соответствующие кривые визуально слабо различимы в масштабе рисунка.

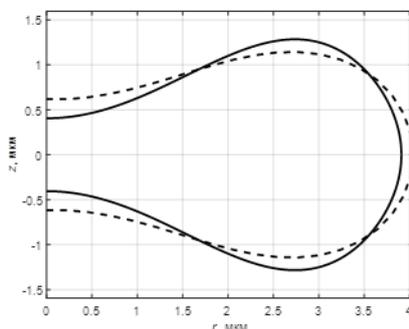


рис. 1. Равновесная форма эритроцита: наблюдаемая (сплошная кривая) по данным [6] и расчетная (пунктирная кривая) по оптимизационной модели (1).

Видно, что теоретическая форма качественно согласовывается с экспериментально наблюдаемой, а количественно – рассчитанные радиус и толщина в центре вогнутости эритроцита завышены не более чем на 5 и 55% соответственно. Аналогичные результаты вариационной реализации модели (1) приводятся в [4], где для достижения количественного соответствия теории эксперименту вводится спонтанная кривизна.

Таким образом, в работе осуществлена оптимизационная реализация модели Канхема, которая показала только качественное соответствие наблюдаемой равновесной форме эритроцита. Дальнейшее развитие работы может состоять в применении модифицированного принципа минимума упругой энергии изгиба мембраны для расчета стационарных форм эритроцита, деформированного внешним воздействием.

Список публикаций:

- [1] Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. *Механика кровообращения*. М.: Мир, 1981. 624 с.
- [2] Canham P.B. // *J. Theor. Biol.* 1970. 26(1). P. 61.
- [3] Марченко В.И., Подоляк Е.Р. // *ЖЭТФ*. 2015. Т. 147. № 4. С. 867.
- [4] Deuling H.J., Helfrich W. // *Biophys. J.* 1976. 16(8). P. 861.
- [5] Ponder E. // *J. Exp. Physiol.* 1930. 20. P. 29.
- [6] Evans E., Fung Y.-C. // *Microvascular Research*. 1972. 4, P. 335.
- [7] Messac A. *Optimization in practice with Matlab*. Cambridge University Press, 2015. 465 p.

Ферментоподобная активность биосовместимых наночастиц диоксида церия

Касьянова Валентина Владимировна

Звоначева Инна Анатольевна, Мышкина Александра Владимировна, Бакшеев Евгений Олегович

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

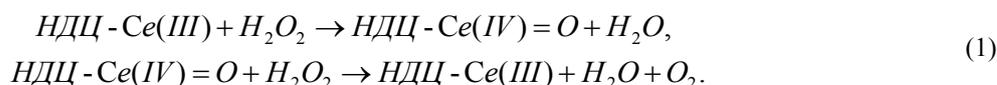
Бажукова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.

ValentinaKasianova@yandex.ru

Известно, что процесс клеточного метаболизма в норме сопровождается образованием незначительного количества различных активных форм кислорода (АФК). Защита клеток от их повреждающего действия осуществляется благодаря наличию в них ряда антиоксидантных ферментов. Нарушение работы этих ферментов, а также различные факторы внешней среды могут приводить к повышенному образованию АФК, и, как следствие, возникновению окислительного стресса, являющегося причиной таких серьезных заболеваний, как болезнь Альцгеймера, атеросклероз, эпилепсия и др. Поэтому в настоящее время активно ведется работа по поиску различных веществ, способных выполнять ферментативные функции и защищать клетки от разрушения.

Большой интерес с этой точки зрения представляют наночастицы диоксида церия. Наличие в их структуре кислородных вакансий и смешанных валентных состояний Ce^{3+} и Ce^{4+} обуславливает высокую активность данных наночастиц в биохимических окислительно-восстановительных процессах с участием активных форм кислорода. Многочисленные исследования [1] показали, что наночастицы CeO_2 проявляют мультиферментативную активность, действуя подобно ферментам супероксидоксидаза, каталаза и оксидаза. При этом оказалось, что ферменты на основе наночастиц CeO_2 обладают рядом преимуществ по сравнению с природными аналогами ферментов, среди которых возможность изменения их каталитической активности, более низкая стоимость, отличная рециркуляция и лучшая стабильность.

В данной работе была исследована способность наночастиц диоксида церия выполнять функции фермента каталазы, катализирующего реакцию разложения пероксида водорода с образованием молекулярного кислорода и воды. Процесс ингибирования пероксида водорода наночастицами CeO_2 происходит в несколько этапов, в результате чего происходит окисление диоксида церия с последующей его регенерацией в исходное состояние. Процесс может быть описан в виде системы реакций:



Промежуточным продуктом данной реакции является моноперокситригидроксид церия, образующийся в водном растворе наночастиц CeO_2 при $pH > 7$ [2].

Наночастицы диоксида церия, исследуемые в данной работе, были синтезированы в соответствии с методикой, приведенной в работе [3]. В качестве стабилизатора при синтезе был использован нетоксичный биосовместимый мальтодекстрин, что делает возможным применение данных наночастиц в медицине.

Каталазоподобная активность наночастиц CeO_2 была исследована методом оптической спектроскопии с помощью спектрофотометра Helios Alpha. Для этого в 1 мл суспензии наночастиц было добавлено 20 мкл раствора пероксида водорода (3%). Спектры оптического поглощения были измерены в диапазоне 190 – 600 нм непосредственно перед добавлением H_2O_2 , а также сразу же, через 5 и через 30 минут после его введения. Было обнаружено, что добавление пероксида водорода в суспензию наночастиц приводит к увеличению величины оптического поглощения в диапазоне 350-500 нм с максимум при 400 нм. Рост поглощения в данной области, может свидетельствовать о протекании реакции взаимодействия H_2O_2 и CeO_2 с образованием промежуточного продукта реакции моноперокситригидроксида церия. Интенсивная полоса поглощения в области 220-280 нм может быть связана с возникновением побочных продуктов окисления мальтодекстрина пероксидом водорода. Сравнение спектров, измеренных через разные промежутки времени после добавления H_2O_2 показало, что величина оптического поглощения суспензии, измеренная через 5 и 30 минут после добавления H_2O_2 , остается постоянной, что может свидетельствовать о том, что реакция взаимодействия CeO_2 с пероксидом водорода происходит в течение первых пяти минут после его добавления. При дополнительном введении H_2O_2 поглощение в области 350-500 нм увеличивается.

Для исследования влияния параметров среды на проявляемую наночастицами ферментоподобную активность аналогичные измерения были проведены при значениях pH среды, равных 4 и 10. Изменение pH суспензии наночастиц проводили путем добавления в нее раствора концентрированной лимонной кислоты и гидроксида натрия. Было обнаружено, что в кислой среде ($pH \approx 4$) происходит снижение интенсивности поглощения в диапазоне 220-350 нм, что может свидетельствовать об уменьшении концентрации ионов Ce^{3+} и, следовательно, замедлении реакции взаимодействия ионов Ce^{3+} с H_2O_2 . Также о замедлении скорости протекания реакции в кислой среде свидетельствует уменьшение степени окрашивания суспензии при введении

пероксида водорода. В щелочной среде ($\text{pH} \approx 10$) наблюдается постепенное увеличение интенсивности поглощения в диапазоне 350-500 нм, что может быть связано с увеличением количества ионов Ce^{4+} , и, следовательно, протекании реакции взаимодействия CeO_2 с H_2O_2 .

Для анализа процессов взаимодействия CeO_2 с H_2O_2 и оценки скорости осаждения наночастиц в суспензиях было проведено измерение динамического изменения оптической плотности на длине волны 400 нм в течение 1 часа после добавления H_2O_2 .

Список публикаций:

[1] Wang G., Zhang J., He X., Zhang Z., Zhao Y. // *Chinese Journal of Chemistry*. 2017. V. 35(6), P. 791–800.

[2] Щербаков А. Б., Жолобак Н. М., Иванов В. К. // *Биотехнология*. 2011. Т.4. № 1. С. 9-28.

[3] Патент РФ №2484832.

Гемодинамика коронарных сосудов сердца в условиях стеноза

Киреева Наталья Владимировна

Кудайбергенова Меруерт Биржановна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

natali@adrenaline.zone, mira4ka1996@mail.ru

Заболевания системы кровообращения являются лидирующей причиной смертности в развитых странах. В связи с этим значительный интерес представляет моделирование гемодинамики коронарных артерий, подвергшихся операционному вмешательству. Применение физико-математических моделей, построенных с учетом доступных данных на основе лабораторных и клинических исследований, позволяют вычислить параметры кровотока в любой точке сосудистого русла в зависимости от времени, и моделировать его изменение в результате возникшей патологии. Это является основанием к выбору того или иного метода лечения [1-3].

Одним из недостатков существующих математических моделей гемодинамики является рассмотрение сосуда как пассивной эластичной трубки. Это не позволяет моделировать ряд процессов, связанных с механическим сжатием артерий. Локальная реакция сосудов на внешние воздействия является важной частью кровеносной системы и может использоваться для диагностики различных заболеваний. Важной проблемой, ограничивающей использование математических моделей в клинической практике, является учет специфики организма пациентов. Как правило, расчеты гемодинамики требуют большого количества параметров. Получить полный набор параметров, соответствующий конкретному пациенту, при использовании стандартных диагностических процедур не представляется возможным. В связи с этим, необходим способ построения адекватной математической вычислительной модели, основанной на ограниченном наборе данных пациента, доступном в большинстве клиник [4].

В нашем исследовании проведено численное моделирование гемодинамики коронарных сосудов сердца в условиях стеноза на основе теории течения вязких жидкостей, которое применяется в клинической практике для диагностики нарушений работы сердца и позволяет прогнозировать последствия различных заболеваний и хирургических вмешательств [5].

Проведены расчеты течения крови в коронарных артериях – в сосуде без патологии и в стенозированном сосуде. Динамические характеристики крови рассчитывались посредством решения уравнения Навье-Стокса с использованием метода конечно разностных элементов программного пакета COMSOL MULTIPHYSICS.

Правая коронарная артерия (RCA) имеет три сегмента ее магистральной ветки – R1 (проксимальный, верхний, самый широкий), R2 (медиальный, средний) и R3 (дистальный, конечный, самый узкий).

Геометрические данные RCA приведены в таблице. Для расчета рассматривался элемент коронарной артерии длиной 70 мм и диаметром 2.7 мм.

Правая коронарная артерия			
Параметры	Проксимальная (ближняя) часть – R1	Медиальная (средняя) часть – R2	Дистальная (дальняя) часть – R3
Средняя длина, см	2,7	3,6	2,9
Диаметр, мм	2,75±0,6 /	2,47±0,66 /	2,14±0,61/
мужчины / женщины	2,55±0,57	2,31±0,13	2,01±0,43

Для решения уравнения Навье-Стокса использовались граничные условия давления в торрах, на левой границе – $P=1$ Торр, на правой границе – $P=0$ Торр. Подобранные давление позволяет обеспечить пульсовое течение крови с амплитудой 10-20 см/с, что соответствует литературным данным.

Диаграмма распределения давления вдоль выбранного участка коронарной артерии показывает, что давление монотонно падает от левой границы до его правой границы (рис.1).

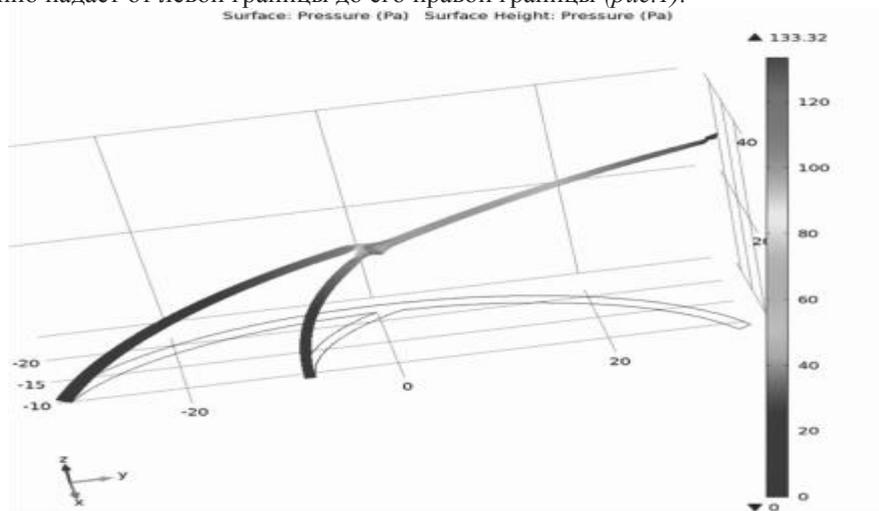


рис.1. Распределение давления на участке коронарной артерии

Распределение давления на участке артерии в случае присутствия тромба показано на рисунке 2. Давление на участке артерии без ответвления не изменилось относительно случая без патологии, но на месте разветвления при наличии патологии – понизилось (рис.2). По изменению давления можно судить о значимости стеноза для обеспечения необходимого кровотока.

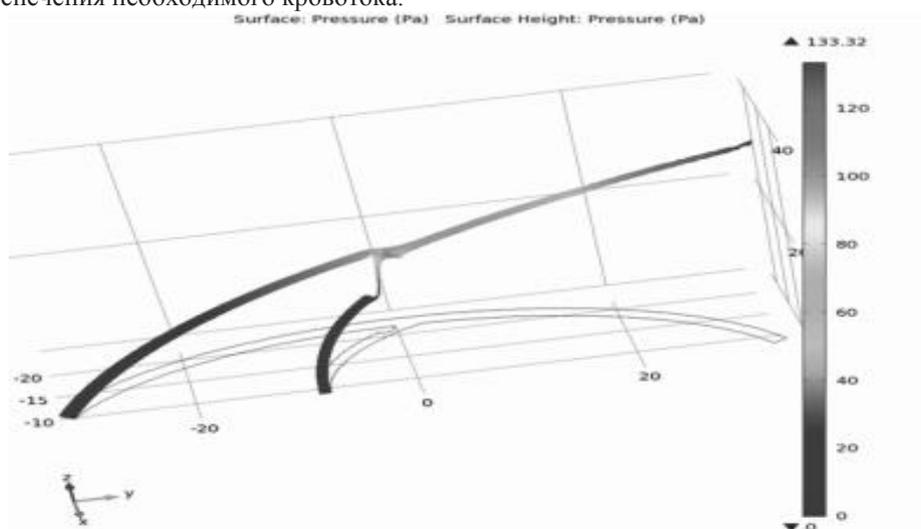


рис.2. Распределение давления на участке артерии в случае присутствия тромба

Распределение давления в коронарном сосуде является важным критерием нормальной работы сердца. Наличие стенозированных участков в коронарных сосудах приводит к резкому изменению давления вблизи сужения сосуда, что является причиной недостаточного кровоснабжения и развития ишемической болезни сердца.

Список публикаций:

- [1] Астраханцева Е. В., Гидастов В. Ю., Ревизников Д. Л. // Математическое моделирование. 2005. Т. 17. № 8. С. 61 – 80.
- [2] Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И. // Вычисл. Технологии. 2012. Т.17. № 6. 2012.
- [3] Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И. // Вычисл. Технологии. 2012. Т. 17. № 4. С. 29–55.
- [4] Гарвей В. Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных. М.–Л. Госиздат. 1927.
- [5] Лобанов А.И., Старожилова Т.К., Зарницына В.И., Атауллаханов Ф.И. // Математическое моделирование. 2003. Т. 15, № 1. С. 14–28.

Изучение зависимости радиационно-индуцированной адаптации от времени между облучениями в малой и повреждающей дозах у дрожжей *saccharomyces cerevisiae*

Коротовских Ольга Игоревна

Вазиров Руслан Альбертович, Агданцева Екатерина Николаевна, Баранова Анна Александровна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Баранова Анна Александровна

Olkoriya@yandex.ru

В современном обществе существуют множество видов деятельности, связанных с воздействием ионизирующего излучения (ИИ) в малых дозах. Это космонавты, пилоты и бортпроводники, а также медперсонал. Поэтому одним из актуальных направлений в радиобиологии является изучение действия «малых» доз ИИ на биологические объекты. За «малые» дозы принимаются такие, которые не вызывают заметных нарушений жизнедеятельности, т.е. это дозы от нескольких сГр до 1 Гр [1]. В последнее время были открыты новые эффекты воздействия ионизирующего излучения в малых дозах. Облучение в «малых» дозах способно вызывать, в том числе, индуцированную резистентность – повышение устойчивости биологических объектов к экстремальным воздействиям. Особенностью адаптивного ответа являются многократные различия в величинах адаптирующей и повреждающей доз облучения, а также фиксированные интервалы времени между двумя облучениями. Радиорезистивность проявляется через 4-6 часов и может сохраняться от нескольких часов до месяцев [1-2]. Эффект воздействия «малых» доз ИИ можно обнаружить при анализе числа жизнеспособных клеток. Эффект регистрируется уже при действии в дозе 10 сГр [3].

Было проведено исследование стимулирующего влияния «малых» доз ИИ и определение зависимости радиационно-индуцированной адаптации (РИА) от времени между воздействиями.

В качестве объекта исследования удобно выбрать винные дрожжи штамма *Saccharomyces cerevisiae*. Они обладают повышенной устойчивостью к изменению условий инкубации, характеризуются быстрым выходом на стационарную фазу (5 – 7 часов), легко подвергаются процессу окрашивания и подсчёта [4]. В качестве источника излучения адаптирующих доз был выбран изотоп ¹³⁷Cs. При повреждающем воздействии ИИ использовался поток электронов, полученных на линейном ускорителе электронов модели УЭЛР-10-10С (изготовитель ООО «НПП «КОРАД»). Для определения жизнеспособности дрожжевых культур производился подсчёт их количества при помощи камеры Горяева.

Хроническое облучение дрожжевых культур поглощенной дозой 10 сГр приводит к увеличению количества живых клеток в предварительно облученном образце по сравнению с контрольным, что свидетельствует о стимулирующем влиянии «малых» доз ИИ на скорость деления дрожжевых культур. Воздействие «малых» доз ИИ на популяцию дрожжевых клеток вызывает РИА, регистрируемую при количественной оценке по показателю ФИД (фактор изменения дозы) на интервал времени до 8 недель. Через 2 недели после облучения в «малой» дозе ФИД равен 2,0, т.е. биологический ответ снижается в 2 раза.

Список публикаций:

[1] Кудряшов Ю.Б., *Радиационная биофизика (ионизирующее излучение)*. – М.: ФИЗМАТЛИТ, (2004) .

[2] Ивановский Ю.А., *Вестник ДВО РАН*, 6, с. 86-91 (2006).

[3] Петин В.Г., Морозов И.И., Кабакова Н.М., Горшкова, *Радиационная биология. Радиоэкология*. 43, 2, с. 176-178. (2003).

[4] Меледина Т.В., *Дрожжи SACCHAROMYCES CEREVISIAE морфология, химический состав. Университет ИТМО*, (2015).

Разработка самосогласованно модели гемодинамики коронарных сосудов

Кудайбергенова Меруерт Биржановна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

mira4ka1996@mail.ru

Сердечно-сосудистые заболевания являются одной из главных причин смертности во всем мире: ни по какой другой причине ежегодно не умирает столько людей, сколько от патологий системы кровообращения. Для России эта тенденция также является актуальной, несмотря на принимаемые различные меры. К числу наиболее угрожающих болезней относят ишемическую болезнь сердца, недостаточность кровоснабжения сердечной мышцы, врожденные пороки сердца, врожденные деформации клапанов и перегородок сердца, болезни сосудов, эндотелиальная дисфункция и т.д. А также сосудистый тромбоз и атеросклероз, образование внутри сосудов кровяных сгустков или холестериновый бляшек, которые снижают транзит крови к жизненно

важным органам. Очевидно, что большинство этих заболеваний так или иначе связаны с гемореологией и патологиями гемостаза.

Большинство сердечно-сосудистых заболеваний при этом можно предотвратить путём определения факторов риска, прогнозирования рисков их развития и персонализации терапии. Следовательно, будущее кардиологии заключается в развитии предиктивной медицины, то есть способов не собственно традиционного лечения, а либо предсказания и предотвращения сердечно-сосудистой патологии, либо ее терапии на максимально ранних этапах развития.

Такая система, пусть и фрагментарно, но постепенно создаётся. В современной кардиологической практике уже одним из важнейших этапов, предвещающих лечения многих кардиологических заболеваний, связанных с сосудистой патологией, является исследование пациента методами компьютерной томографии и ангиографии. К сожалению, ограниченные возможности диагностики определения состояния коронарного сосуда при различных его поражениях, не позволяют принять однозначное решение о хирургическом вмешательстве для проведения модельной реконструкции коронарного русла.

В этом случае эффективным методом диагностики является математическое моделирование гемодинамики коронарных сосудов, основанное на анализе электрокардиограмм (ЭКГ) и изучении сигналов, регистрирующих биоэлектрическую активность сердца [1-3].

Этот комплекс методов могут дополнить данные о состоянии электрической функции сердца, получаемые в ходе электрокардиографии, поскольку, как нам представляется, во многих случаях очевидна взаимосвязь между нормальным сердечным ритмом и надлежащей перфузией жизненно важных органов, в том числе и миокарда. Например, при различного рода аритмиях возможно изменение гемостатического потенциала в сторону повышения вязкостных свойств крови.

Такое комплексное сочетание моделей электрической и насосной функций сердца, порождает несомненный научный интерес, прежде всего с фундаментальной точки зрения – установления закономерностей взаимного влияния этих двух функций в норме и при патологии.

В данной работе представлена одномерная гемодинамическая модель коронарных сосудов, основанная на закономерностях сердечного ритма и взаимосвязи его с зависимостью от времени давления $P(t)$ в разных отделах сердца. Исследована временная зависимость электрических и механических ритмов работы сердца в различных клинических случаях. Показано взаимное влияние электрических и механических импульсов и их структуры на гемодинамику сосудистой системы сердца.

Данная модель применяется для анализа работы сердца в случае ишемической болезни сердца. Она представляет собой совокупность алгоритмов, задающих физико-математическое описание процессов развития ишемической болезни сердца, связанной с частичной обтурацией коронарной артерии и, как следствие, со снижением перфузии миокарда. Модель учитывает совокупность величин и взаимосвязанных событий, имеющих место в развитии и течении ишемической болезни сердца. В качестве исходного материала использованы данные о внутрисосудистом давлении, кровяном потоке и геометрии сосудов, полученных практически на пациентах с ишемической болезнью сердца, а также найденные в научной литературе.

Полученные данные могут быть использованы для проведения большей части интересующих гемодинамических расчетов, необходимых для подбора методики персонализированного численного моделирования кровотока в коронарных сосудах, которая позволит повысить качество вычислительной оценки регионарного резерва кровотока и, соответственно, степень обоснованности экспертного заключения и рекомендаций о необходимости проведения консервативного или радикального лечения.

Список публикаций:

[1] Воробьев Л.В. // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 11. С. 152 – 156.

[2] Мусимхан М.К., Беркинбаев С.Ф., Шаназаров Н.А., и др. // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27450> (дата обращения: 23.03.2019). URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27450> 2012.

[3] Трегубов В.П., Жуков Н.К. // *Российский журнал биомеханики*. 2017. Т. 21. № 2. С. 201–210.

Суперпарамагнитные наночастицы для тераностики в онкологии

Кучма Елена Александровна

Южный федеральный университет

Солдатов Александр Владимирович

ekuchma@sfedu.ru

Одним из наиболее перспективных направлений для биомедицинских технологий является применение суперпарамагнитных наночастиц для адресной доставки терапевтических препаратов, гипертермии, магнитной резонансной томографии, в том числе для одновременной терапии и диагностики онкологических заболеваний, т.е. тераностике в онкологии. Благодаря своей биосовместимости наночастицы оксида железа являются перспективными наноматериалами для целей тераностики. Отмечается, что наибольшую эффективность в биомедицинских исследованиях проявляют сферические наночастицы оксида железа со средним размером менее 20 нм, узким распределением по размерам с высокими магнитными характеристиками (рис.1).

Магнитные наночастицы на основе оксида железа были синтезированы модифицированным методом соосаждения сульфата железа (II) 6-ти водного и хлорида железа (III) 6-ти водного с карбонатом натрия и после осаждения добавлением раствора лимонной кислоты, с использованием микроволнового облучения SP-Discovery Microwave (CEM, USA). Физико-химические характеристики (форма, размеры, структура) исследовались с помощью ряда экспериментальных методик: TEM (Transmission Electron Microscopy), XRD (X-ray Diffraction), DLS (Dynamic Light Scattering), VSM (Vibrating Sample Magnetometer), XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure), XPS (X-ray Photoelectron Spectra). Синтезированные магнитные наночастицы имеют почти сферическую форму с размерами частиц менее 20 нм (TEM) со средним размером 16.2 нм (XRD) и гидродинамическим радиусом 33.6 нм (DLS). Диагностика структуры полученных наночастиц показала γ -фазу оксида железа(III) (γ -Fe₂O₃, маггемит) (XRD, XANES). На основании мессбауэровские спектров сделан вывод о том, что полученные наночастицы оксида железа представляют собой γ -Fe₂O₃(XPS). Данные наночастицы обладают суперпарамагнитным упорядочением со значением намагниченности насыщения 67,8 emu/g при комнатной температуре (VSM). Также, результаты тестов на токсичность указывают на то, что синтезированные наночастицы не токсичны для биологических тканей. Кроме того, полученные наночастицы могут нагреваться под действием переменного магнитного поля до температур выше 40 ° С. Поэтому магнитные наночастицы оксида железа являются перспективными кандидатами для гипертермии в онкологии.

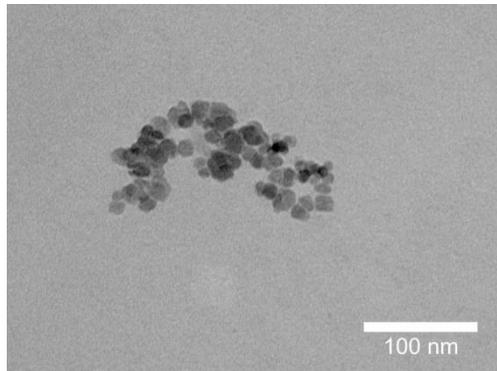


рис.1. Анализ изображения наночастиц оксидов железа методом TEM

Список публикаций:

- [1] Fuyao Liu et al, *Nature Communications* 6 (2015) 6: 8003.
- [2] C. Blanco-Andujar, *Thanh NTK. Nanoscale*. 2015, 7, 1768-1775.
- [3] Glatzel et al. *J. Electron. Spectr. Rel. Phenom.* 188 (2013)17-25.
- [4] RA. Revia, M. Zhang, *Mater Today*. 2016; 19(3):157-168.

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

Морячков Роман Владимирович

Заблуда Владимир Николаевич, Кичкайло Анна Сергеевна, Щугорева Ирина Андреевна, Томилин Феликс Николаевич,
Замай Галина Сергеевна

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Федеральный исследовательский центр “КНЦ СО РАН”

Соколов Алексей Эдуардович

mrv@iph.krasn.ru

При развитии современной персонализированной медицины стали востребованы компактные нетоксичные средства для терапии и диагностики. Такими агентами могут служить компактные (15-100 оснований) аптамеры - синтетические однопольные олигонуклеотиды на основе ДНК или РНК [1]. Их первичная последовательность определяет будущую трёхмерную структуру. Уникальная форма молекулы и особое распределение зарядов на её поверхности, способных к электростатическим и ван-дер-ваальсовым взаимодействиям и водородным связям, определяет способность аптамеров к специфическому связыванию с конкретными видами белков, например, имеющихся в клетках раковых опухолей. Но из первичной последовательности ДНК обычно нельзя однозначно построить трёхмерную пространственную модель молекулы. Нужно знать её форму, для которой уже можно подобрать единственное расположение нуклеотидов. К тому же, ДНК-аптамеры не поддаются кристаллизации и не могут быть исследованы с помощью рентгеноструктурного анализа.

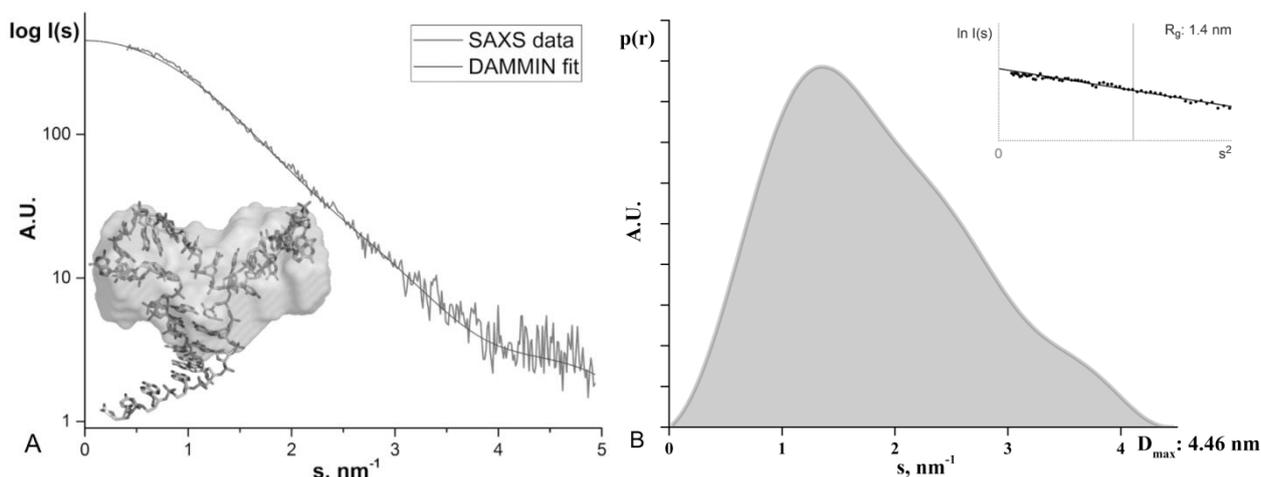


рис. 1. Исследование структуры ДНК-аптамера Gli-233. А - график МУРР, совмещённый с расчётным графиком от шариковой модели из ПО DAMMIN, вставка - молекулярная модель Gli-233, совмещённая с моделью МУРР. В - функция распределения по расстояниям $p(r)$, вставка - аппроксимация кривой МУРР в области Гинье.

В данной работе методом малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР)[2] подтверждена третичная структура ДНК-аптамера Gli-233 (рис.1). Эксперименты МУРР проводились на специализированных станциях малоуглового рассеяния на синхротронах в НИЦ “Курчатовский институт” в Москве (станция БиоМУРР) и в Европейском центре синхротронных исследований ESRF (станция BM29) в Гренобле, Франция. Вычислены структурные параметры, такие как радиус инерции ($R_g=1.4$ нм), максимальный размер молекулы ($D_{max}=4.46$ нм), объём общей электронной плотности ($V_p=11.05$ нм³) и вычисленная из неё молекулярная масса ($MW=12.44$ кДа). Произведено молекулярное моделирование молекулы аптамера, расчёт структурных параметров которой подтвердил, что найденная конформация согласуется с экспериментальной кривой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00478.

Список публикаций:

[1] Радько С. П. и др. Аптамеры как перспективные аффинные реагенты для клинической протеомики //Биомедицинская химия. – 2007. – Т. 53. – №. 1. – С. 5-24.

[2] Blanchet C. E., Svergun D. I. Small-angle X-ray scattering on biological macromolecules and nanocomposites in solution //Annual review of physical chemistry. – 2013. – Т. 64. – С. 37-54.

О моделировании динамики ДНК в вязкой среде

Низямова Алина Рамилевна

Башкирский государственный университет

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

alya.nizyamova.96@mail.ru

Фундаментальной проблемой физики живых систем является изучение внутренней структуры и функций основных биомолекул и важнейшей из них – молекулы ДНК. Двойная спираль ДНК не является статичной. Обычные тепловые флуктуации, взаимодействие с белковыми молекулами и воздействия окружающей среды приводят к нестационарным процессам и структурным изменениям в ДНК. Большие сложности в экспериментальном исследовании указанных процессов с необходимостью приводят к использованию методов математического моделирования. Особенно актуальным является моделирование нелинейной динамики внутренних движений большой амплитуды – открытого состояния, возникающего в процессе функционирования молекулы ДНК.

Анализ литературы по моделям приводит к выводу, что их можно условно разделить на две группы, отличающиеся описанием механизма образования открытого состояния. В первую группу можно отнести модели, у которых основной вклад в динамику дают вращение оснований вокруг сахаро-фосфатного остова [1]. Такие модели приводят к уравнениям типа синус-Гордон (УСГ), их модификациям и системам таких уравнений. Эта группа моделей носит название Y -моделей. В другую группу входят модели, у которых основной вклад в динамику вносят поперечные смещения оснований в направлении перпендикулярном осям сахаро-фосфатного остова. Такие модели приводят к уравнениям типа нелинейное уравнение Клейна-Гордона (УКГ), их модификациям и системам таких уравнений. Эта группа моделей носит название PB -моделей [2]. Каждая из этих групп моделей имеет свои достоинства и недостатки и может быть привлечена для описания тех или иных процессов с той или иной степенью подробности [3].

Наибольший интерес для нас представляют вращательные движения оснований вокруг сахаро-фосфатного остова ДНК, которые описываются следующей системой уравнений:

$$I_1 u_{tt} - k_1 a^2 u_{zz} + V_1 \sin u + \gamma_1 u_t - \beta_1 \sin(u - v) = 0$$

$$I_2 v_{tt} - k_2 a^2 v_{zz} + V_2 \sin v + \gamma_2 v_t - \beta_2 \sin(v - u) = 0$$

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.

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 [3]:

- 1) для пары $C-G$ $I_1 \sim 4 \cdot 10^{-44}$ кг·м², $I_2 \sim 8 \cdot 10^{-44}$ кг·м²,
 $V_1 \sim 2 \cdot 10^{-20}$ Дж, $V_2 \sim 3 \cdot 10^{-20}$ Дж,
 $k_1 \sim 1,5 \cdot 10^{-18}$ н·м, $k_2 \sim 2,2 \cdot 10^{-18}$ 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,
 $V_1 \sim 2 \cdot 10^{-20}$ Дж, $V_2 \sim 1,4 \cdot 10^{-20}$ Дж,
 $k_1 \sim 2,3 \cdot 10^{-18}$ н·м, $k_2 \sim 1,6 \cdot 10^{-18}$ 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 [4]).

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:

$$\begin{aligned} u_t - u_{xx} + \sin u - \beta_1/V_1 \cdot \sin(u - v) &= 0 \\ v_t - k_2 \gamma_1/k_1 \gamma_2 \cdot v_{xx} + \gamma_1 V_2/\gamma_2 V_1 \cdot \sin v - \beta_2 \gamma_1/ V_1 \gamma_2 \cdot \sin(v - u) &= 0. \end{aligned}$$

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 Y-модели позволяет рассматривать 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.

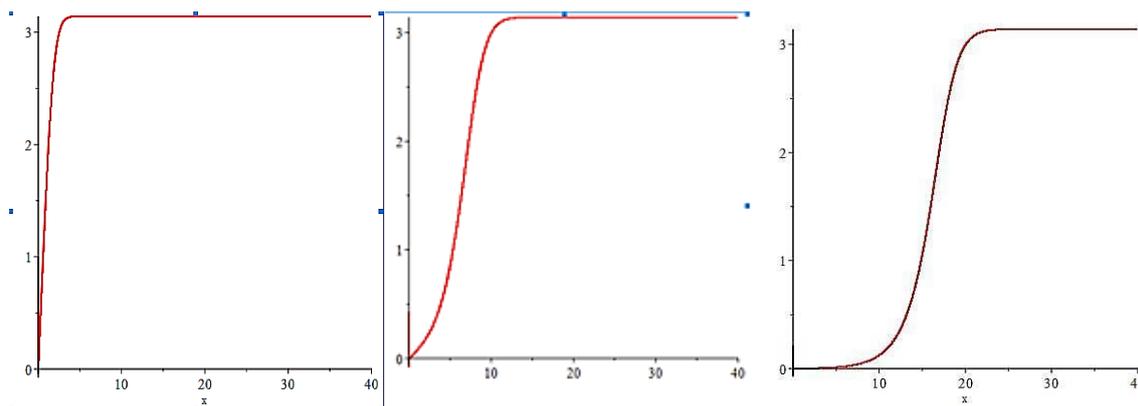


рис. 1. Динамика движения кинка в модели ДНК с большой вязкостью

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* // PHAS USA 77, 1990-P. 7222- 7220
- [2] M. Peyrard and A. R Bishop *Statistical mechanics of a nonlinear modal for DNA denature-tion* // Phys. Rev. Lett. 62, 1989,- P.2755-2758. .
- [3] Якушев Л.В *Нелинейная физика ДНК.* // М.: Ижевск: ИИЦ «РХД» 2007. 252с.
- [4] Watson J.D. et al. *Molecular Biology of the Gene.* – Pearson. 2004. 755 pp.

Модельная оценка риска потери водопроводимости клеток ксилемы хвойных в связи с замерзанием-оттаиванием воды в проводящих клетках

Никифоров Александр Алексеевич
 Сибирский федеральный университет
 Свидерская Ирина Викторовна, к.б.н.
Anik10@mail.ru

Продуктивность фотосинтеза тесно связана с эффективностью транспорта воды от корней к кроне дерева и зависит от градиента водного потенциала и гидравлической проводимости растения:

$$E = (\Psi_{soil} - \Psi_{leaf}) K_{plant}, \quad (1)$$

где E - это скорость эвапотранспирации, $(\Psi_{soil} - \Psi_{leaf})$ - это градиент водного потенциала между корнями и кроной (МПа) и K_{plant} - гидравлическая проводимость дерева. Уменьшение гидравлической проводимости может быть связано с эмболией проводящих клеток ксилемы, вызванной замерзанием-оттаиванием воды в них. Это особенно актуально для деревьев бореальных лесов.

Водопроводимость клеток ксилемы пропорциональна их поперечному размеру (диаметру). Однако известно, что с увеличением диаметра водопроводящей клетки, увеличивается риск ее дисфункции в период замерзания-оттаивания воды в дереве. Вероятность такого риска зависит от факторов внешних условий: давления, температуры замерзания воды, скорость замерзания, концентрация растворенных веществ,

количество циклов замерзания-оттаивания и др. Сейчас для оценки потери водопроводимости используются исключительно трудоемкие экспериментальные методы.

В работе представлена модель, позволяющая рассчитывать риск потери проводимости исключительно по данным о клеточной структуре годовичных колец, т.е. трахеидограммам. Установлено, что риск потери водопроводимости у годовичных колец зависит от его клеточной структуры и распределения клеток по радиальному размеру люмена. В работе предлагается и рассматривается гипотеза о существовании неизменной корреляции между процентом потери водопроводимости клеток и долей этих клеток в общем водопроведении годовичного кольца при изменяющихся внешних условиях.

Разработка комплекса компьютерных программ для проведения коррекционных тренингов на основе биологической обратной связи по ЭЭГ для детей с аутизмом

Павленко Дмитрий Владимирович

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Зуев Сергей Александрович

carboneum.d@gmail.com

Согласно статистическим данным встречаемость расстройств аутистического спектра (РАС) у детей постоянно увеличивается. Для коррекции данного нарушения обычно применяют функциональные методы, такие как терапия и тренинги. Одним из методов лечения подобных нарушений является использование биологической обратной связи по электроэнцефалограмме (БОС по ЭЭГ, нейротерапия или neurofeedback) [1]. Метод БОС заключается в применении специального оборудования и компьютерных программ для отведения, усиления и представления в подходящей форме физиологических процессов, что позволяет достичь их произвольной регуляции. В данном случае тренинги позволяют изменить ритмы ЭЭГ связанные с социальным взаимодействием и имеющие аномальные свойства у детей с РАС.

В США была разработана программа для БОС специализированная для коррекции РАС. Программа помогает детям обучиться частично, контролировать ритмы ЭЭГ, связанные с процессами социальных взаимодействий. Мощность этих ритмов в покое становится выше, но сильнее супрессируется при активации внимания, направленного на других людей. У ребенка улучшается эмоциональное восприятие других людей, общение с окружающими, ребенок начинает проявлять интерес к их внутреннему состоянию [2]. Эта технология продемонстрировала положительный терапевтический эффект, однако имела ряд недостатков. Сюжеты и игровой процесс тренинга были сложены для маленьких детьми, что является очень серьезным недостатком, поскольку любые методы коррекции практически не оказывают эффекта на детей старшего возраста. Тренинг представлен лишь одной социальной ситуацией, что исключало возможность индивидуального подхода к каждому ребенку [2].

Целью данного проекта является разработка комплекса компьютерных программ, которые обеспечивают анализ биопотенциалов головного мозга и управление сюжетом компьютерной игры. Принцип работы программ заключается в том, что при изменении амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ ребенка, программно-аппаратным комплексом формируется соответствующий сигнал БОС. Для биологической обратной связи требуется определить выраженность особого частотного компонента ЭЭГ – мю-ритма (частота 8-13 Гц, область локализации – сенсомоторный регион коры мозга) и его соотношение с другими ритмами ЭЭГ [1]. В зависимости от изменений параметров ритмов ЭЭГ будут поступать команды, управляющие игрой. Комплекс программ предназначен для серийно производимых компьютерных электроэнцефалографов серии «Нейрон-Спектр» (РФ, Иваново) или аналогичных.

Программное обеспечение оборудования «Нейрон-Спектр» передает для обработки показания ЭЭГ отдельных участков головного мозга по протоколу LSL и более распространенному TCP. Это позволило мне разработать программу на языке C#, которая получает данных ЭЭГ, фильтрует сигнал биологической обратной связи при помощи цифрового фильтра Калмана, затем выделяет частотные компоненты сигнала (ритмы) с применим алгоритм быстрых преобразований Фурье, определяет мощности необходимых ритмов и их соотношения. После получения соотношения ритмов ЭЭГ, передается в игру (тренинг) по протоколу передачи. Данная программа дает возможность выбирать целевой исследуемый участок головного мозга, управляющие ритмы, объем выборки сигнала для преобразований Фурье и в реальном времени выводить результат в виде графика спектра мощности ЭЭГ и сам график ЭЭГ. Также мной были разработаны несколько игр для проведения тренингов, управляемый данной программой. Был разработан небольшой набор программ для тестирования алгоритмов данного программного комплекса.

На данный момент разработан модуль для обработки ЭЭГ и формирования управляющего сигнала и программа, использующая для Биологической обратной связи воспроизведение видеозаписи эмоциональной

реакции человека также в разработке более простые игры для проведения тренингов. В дальнейшем планируется оптимизировать обработку результатов и расширить набор игры для тренингов. Компьютерный персонаж, отождествляемый с ребенком, у которого отводится ЭЭГ, будет получать вознаграждение, основанное на позитивном социальном взаимодействии (улыбка, рукопожатие и т.д. со стороны других игровых персонажей). Программа разрабатывается в соответствии с рекомендациями психологов, а направленность изменений ЭЭГ – на основе рекомендаций нейрофизиологов Крымского федерального университета. Работа выполняется при поддержке фонда содействия инновациям (программа «Умник»).

Список публикаций:

[1] Кропотов Ю. Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Донецк, 2010. – 512 с.

[2] Friedrich E. et al. An Effective Neurofeedback Intervention to Improve Social Interactions in Children with Autism Spectrum Disorder // J. Autism Dev. Disord. – 2015. – 45(12) – 4084-100. doi: 10.1007/s10803-015-2523-5

Модель распространения электрического тока в тканях вестибулярного лабиринта человека

Плешков Максим Олегович

Демкин Владимир Петрович, Щетинин Петр Павлович, Мельничук Сергей Васильевич, Кингма Германус, ван де Берг Рэймонд, Старков Дмитрий Николаевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

pankerams@gmail.com

Вестибулярный орган человека является сложной функциональной сенсорной системой отвечающей за передачу информации головному мозгу о положении тела в пространстве и его движении (см. рис.1). Отсутствие этой информации вызывается рядом заболеваний, частой причиной которых являются патологические процессы в органах внутреннего уха, связанные с воспалительными процессами, вызванными различными инфекциями, интоксикацией лекарствами, гемодинамическими нарушениями, травмами и др. [1-3].

В связи с ограниченностью ранней вестибулярной диагностики и отсутствием эффективных способов лечения, восстановление вестибулярной функции зачастую возможно только посредством имплантации искусственного вестибулярного органа. Идея о реализации вестибулярного импланта (ВИ) состоит в замене лабиринта искусственным детектором движения и связанным с ним электрическим стимулятором, который способен посылать сигналы в мозг, для восстановления вестибулярной функции у пациентов. Существующие в мире прототипы вестибулярных имплантов [4-6] пока не нашли широкого применения, реализация и применение ВИ в клинической практике требует дальнейших исследований. Для разработки нового ВИ с высокой передаточной функцией требуется более детальное изучение электрической проводимости биологических тканей, электрофизиологии периферического вестибулярного лабиринта и вестибулярных нервов. Подобный уровень детализации знаний о структуре и функциях вестибулярной системы основан на построении сложных математических моделей, описывающих физические процессы протекания электрического тока в биологических системах.

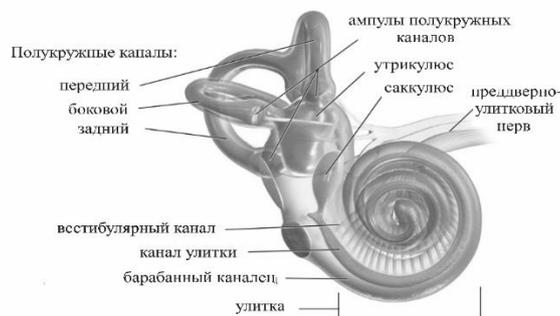


рис.1. Анатомическая структура вестибулярного органа

Электрическую схему распространения тока в вестибулярном лабиринте можно представить в следующем виде (см. рис.2): импульс тока (I), генерируемый на выходе импланта, через электрод подается на окончания вестибулярного нерва (1), и одновременно, как импульс тока наводки, он распространяется на соседние электроды и окончания других вестибулярных нервов (2) через (R,C) – элементы эквивалентной схемы замещения вестибулярного лабиринта. Здесь R1 – омическое сопротивление перилимфы; (C1, R2) и (C2,

R3) – электрические характеристики среды для первого и второго варианта прохождения тока через ткани вестибулярного лабиринта, описанные в нашей модели. Величины омических сопротивлений и значений емкостей рассчитывались по известным в литературе данным [14-22]. Средние геометрические размеры вестибулярного лабиринта определялись, исходя из специально полученной серии МРТ и КТ снимков высокого разрешения.

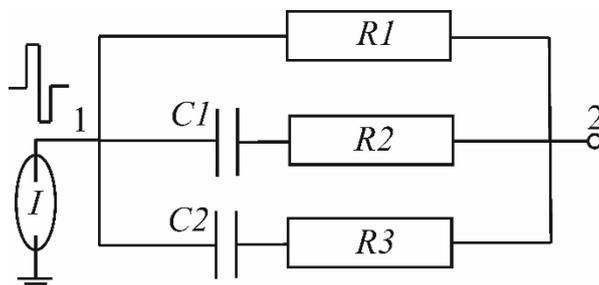


рис.2. Эквивалентная электрическая схема замещения вестибулярного лабиринта

Расчет фазовых сдвигов между напряжением и током для схемы, изображенной на рисунке 2, представляющую пятиэлементную модель Максвелла, проводился с использованием формулы, полученной в работе [12] для импеданса:

$$Z = \frac{(R1 - R1 R2 R3 C1 C2 \omega^2 + i \omega R1(R2 C1 + R3 C2))}{(1 - (R1 + R2)R3 C1 C2 \omega^2 - R1 R2 C1 C2 \omega^2 + i[(R1 + R2)C1 + (R1 + R3)C2])} \quad (1)$$

Расчеты проводились с использованием математического пакета COMSOL Multiphysics для характерных значений частот вестибулярного импланта ω : 200, 400 и 600 Гц. Проведенные расчеты показали, что значения фазовых сдвигов могут достигать заметных величин в рассматриваемом интервале частот. Таким образом, при подаче импульса тока от вестибулярного импланта на один из электродов между электродами и вестибулярными нервами могут возникать импульсные токи наводки, которые могут значительно ухудшать качество прямого сигнала. Особенностью дисперсии импеданса является возрастание фазового сдвига с ростом частоты.

Список публикаций:

- [1] Lloret-Villas A., Varusai T.M., Juty N. et al. *Pharmacometrics Syst. Pharmacol.* –2017. –Vol. 6. –P. 73–86.
- [2] Waigh, Tom A. *Applied biophysics: a molecular approach for physical scientists.* John Wiley & Sons, Ltd. –2007. – 421 p.
- [3] Gong W., Merfeld D.M. // *Annals of Biomedical Engineering*, –2000. – Vol. 28. –P. 572–581.
- [4] Nguyen T.A.K., Digiovanna J., Cavuscens S. et al. // *Journal of Neural Engineering*. – 2016. – Vol. 13. –№ 4. – AN046023.
- [5] Van de Berg, Guinand N., Nguyen T.A.K. // *Frontiers in System Neuroscience*. – 2012. – Vol. 8, –P. 1–12. doi: 10.3389/fnsys.2014.00255
- [6] Alexandrov V.V., Alexandrova T.B., Vega R. et al. /4th WSEAS International Conference on Mathematical Biology and Ecology (MABE'08). Acapulco, Mexico. 25–27 January. –2008.
- [7] Alexandrov V.V., Almanza A., Kulikovskaya N.V. et al. *Mathematical Modeling of Complex Information Processing Systems.* Moscow University Press. –2001. –P.26–41.
- [8] Guyot J-P, Sigrist A., Pelizzone M., Kos M. I. // *Annals of Biomedical Engineering*, – 2000. – Vol. 28, –P. 572–581.
- [9] Jiang D., Demosthenous A., Perkins T.A., et al. // *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, – 2011. – Vol. 5, –N. 2, –P. 147–159.
- [10] Shkel A.M.; Liu Jiayin; Ikei C. et al. // *First IEEE International Conference on Sensors (Sensors 2002)*. Orlando, FL, USA. 12-14 June, –2002. –Vol. 2. –P. 1526-1531.
- [11] Ramos-Miguel A., Ramos-Macias A., Viera Artiles J. et al. // *Journal of International Advanced Otolaryngology*. – 2015; – Vol.11(3). – P. 222-228.
- [12] Зуев А.Л., Мишиланов В.Ю., Судаков А.И., и др. // *Российский журнал биомеханики*. –2012. –Т. 18, –№ 4. –С. 491–497.
- [13] Зуев А.Л., Мишиланов В.Ю., Судаков А.И., и др. // *Российский журнал биомеханики*. –2010. –Т. 14, –№ 3 (49). –С. 68-78.
- [14] Wangemann P. // *J Physiol*. – 2006. –Vol. 576(Pt1). –P. 11–21.
- [15] *Handbook of Sensory Physiology*. Edited by Keidel W.D. and Neff W.D. – 1975. –Vol.V(1). –P. 657.
- [16] Sadovnichii V. A., Aleksandrova V. V., Aleksandrova T. B., et al. // *Moscow University Mechanics Bulletin*, – 2008, –Vol. 63, – No. 6, –P. 139–145.
- [17] Carter T. D., Zupancic G., Smith S. M., et al. // *Journal of Physiology*. –1998, –Vol. 513.3, –P. 845–855.
- [18] Santos-Sacchi J. // *Hear Res*. –1991. –Vol.52(1). –P. 89-98.
- [19] Garipcan B., Maenz S., Pham T. // *Advanced Engineering Materials*. –2011, – Vol.13, No. 1-2.
- [20] Curthoys I.S., Oman C.M. // *Acta Otolaryngol (Stockh)*. –1987; –Vol.103. –P. 254261.
- [21] Curthoys, I. S., Markham, C. H. and Curthoys, E. J. // *J. Morphol.*, –1977, –Vol.151: P.–17–34.
- [22] Puliafito A, Primo L, Celani A. // *Journal of the Royal Society, Interface*. –2017. – Vol.14 (134). –P. 32.

Моделирование передаточной функции вестибулярного импланта
Суюндукова Алмагуль Туктаровна
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
almagul.suyundukova@mail.ru

Вестибулярная система человека представляет собой сложную биологическую сенсорную систему, отвечающую за передачу информации в мозг о положении тела в пространстве и его движении. Недостаточность или полное отсутствие данной сигнальной функции вызывается рядом заболеваний, причиной которых являются разнообразные патологические процессы в органах внутреннего уха [1]. В настоящее время эффективных методов консервативного лечения вестибулярной дисфункции не существует; единственным способом радикального восстановления вестибулярной функции является имплантация: замена вестибулярного органа протезом – искусственным детектором движения и связанным с ним электрическим стимулятором, который генерирует сигналы, подаваемые напрямую на ампулярные ветви вестибулярного нерва [2].

Однако, невзирая на существенный прогресс в этой сфере в последнее время, остается еще большое количество сложностей, которым предстоит найти решение. Одной из причин этого является несовершенство передаточной функции, которая отражает качество электрического сигнала, поступающего в вестибулярный нерв от стимулирующего электрода. Стимулирующий электрический импульс от электрода, проходя через ткани вестибулярного органа, испытывает влияние импеданса биологической ткани, что приводит к изменению его амплитудно-частотных характеристик. Задача нахождения оптимального режима электрической стимуляции вестибулярного нерва является наиболее актуальной, т.к. ее нерешенность тормозит возможность совершенствования вестибулярного импланта.

В настоящей работе применены методы физико-математического моделирования, которые позволяют получить детализированную модель распространения электрического тока в вестибулярном лабиринте и описать передаточную функцию вестибулярного импланта.

Следует отметить, что качество разрабатываемой физико-математической модели зависит от степени детализации анатомической структуры, а также точности определения электрических параметров, и соответствия эквивалентной электрической схемы замещения электрофизическим свойствам тканей лабиринта.

Поэтому в качестве материала применены достоверные экспериментальные данные преобразования амплитудно-фазовых характеристик импульса тока, проходящего через различные ткани вестибулярного органа, а также данные о детальном анатомическом и гистологическом строении органа равновесия.

Главной задачей при разработке импланта является формирования оптимального электрического сигнала на основе естественной передаточной функции. Учитывая расположение трех полукружных каналов, которые перпендикулярны друг другу, передаточная функция может быть представлена трехмерной матрицей, содержащей 3D-преобразования стимулирующего импульса.

В данном исследовании нами разработана 3D-передаточная функция, описывающая преобразование стимулирующего импульса при распространении его от стимулирующего электрода вестибулярного импланта к окончанию вестибулярного нерва [3-6]. Влияние ткани вестибулярного органа на изменение стимулирующего импульса описывается с помощью дифференциального уравнения Пуассона, которое с помощью преобразования Лапласа преобразуется к алгебраическому виду. Таким образом, возможно определить амплитудно-частотные и фазовые характеристики выходного импульса на окончании вестибулярного нерва, если заданы начальные условия формы входного импульса.

Нами также показано, что проводящие свойства тканей вестибулярного органа обеспечивают не только прохождение стимулирующего импульса к вестибулярному нерву, но и прохождение этого импульса на два других электрода и соответствующие структуры других вестибулярных нервов, порождая тем самым крайне нежелательные токи наводки, которые будут вносить помехи в работу вестибулярного импланта, и следовательно, порождать искаженное восприятие мозгом информации о положении пациента в пространстве и его движении.

Созданная эквивалентная электрическая схема вестибулярного лабиринта позволяет судить о природе, выраженности такого процесса и о влиянии его на конечный импульс, полученный на вестибулярном нерве. Она также является необходимым инструментарием для разрабатываемой 3D-передаточной функции.

Сравнение полученных результатов расчета с экспериментально измеренными значениями амплитудно-фазовых характеристик импульса тока [7] дает возможность оценить точность физико-математической модели, что в свою очередь может послужить основой для проектирования нового типа вестибулярных имплантов с оптимизированной передаточной функцией.

Список публикаций:

- [1] Lloret-Villas A., Varusai T.M., Juty N., Laibe C., Le Novere N., Hermjakob H., Chelliah V. // *Pharmacol.* –2017. Vol. 6. P. 73– 86.
[2] Van de Berg, Guinand N., Nguyen T.A.K. // *Frontiers in System Neurosciense.* –2012. Vol. 8. P.1-12.
[3] Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И. // *Вычисл. Технологии.* 2012. Т. 17. № 4. С. 29–55.
[4] Марчук Г.И. // *Медицина и высокие технологии.* 2012. № 2. С. 3–6.
[5] Ризниченко Г.Ю. *Математическое модели в биофизике и экологии.* - Москва-Ижевск: Институт компьютерных наук компьютерных исследований, 2003. –184 с.
[6] Антоненко С.В., Белянская Е.С., Индюхин А.Ф., Лебедеко И.С. // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* –2013. – №1.
[7] Демкин В.П., Мельничук С.В., Светлик М.В. и др. // *Известия вузов. Физика.* 2018. Т.61. №.12. С. 109-112.

Анализ динамики Ca^{2+} математической модели астроцита

Фрицлер Яна Викторовна

Сибирский федеральный университет

Шуваев Андрей Николаевич, к.ф.-м.н.

fri.yana@mail.ru

Кальций регулирует множество клеточных и межклеточных процессов астроцитов. С помощью математического моделирования кальций-сигнальных путей астроцита возможно изучение клеточных процессов. Основные четыре модели астроцита не учитывают ряд существенных механизмов: ионные токи клеточной мембраны, различные внутриклеточные сигнальные каскады. Так, в моделях отсутствуют потенциал-зависимые каналы и рианодинорый канал, который влияет на механизм кальций индуцированного высвобождения кальция (CICR).

Целью работы является анализ динамики кальция в цитозоле и ЭПР для определения веса каждого из кальций-сигнальных путей астроцита.

В ходе анализа литературных данных определены основные Ca^{2+} -сигнальные пути астроцита для экспериментальной модели: потенциал-зависимый канал (VGCC), включающий в себя низковольтный канал (T - тип) и высоковольтные каналы (L -, N -, P -, Q -, R - типы); ORAI - порообразующая субъединица складского Ca^{2+} входного канала (SOCC), STIM - датчик Ca^{2+} ; эндоплазматический ретикулумый (ЭПР) Ca^{2+} АТФазный канал (SERCA); плазматический Ca^{2+} АТФазный канал (PMCA); глутаматный рецептор (mGluRs); инозитол 1,4,5 трис-фосфатный рецептор (IP3R) и рианодинорый рецептор (RyR).

В качестве базовой модели выбрана общая модель Де Питты [1] с глутамат-индуцированной астроцитной динамикой Ca^{2+} . Модель учитывает, как особенности синтеза, так и деградации молекул IP3. Модель включает в себя три потока: поток через IP3R, подтечку из ЭПР, поток через SERCA.

К базовой модели добавлен канал спонтанного поступления кальция во внутриклеточную среду VGCC. Добавлен канал SOCC, обеспечивающий поступление Ca^{2+} в цитозоль и ЭПР. Также добавлен канал, выводющий кальций во внеклеточное пространство PMCA. Добавлен поток через RyR, выводющий Ca^{2+} из ЭПР.

Таким образом, динамика кальция в цитозоле имеет следующий вид:

$$\frac{d[Ca^{2+}]_{cyt}}{dt} = J_{IP3} + J_{leak} + J_{VGCC} + J_{RyR} - J_{serca} - J_{pmca} + J_{in} \quad (1)$$

где J_{IP3} – поток через IP3R; J_{serca} и J_{pmca} - потоки через SERCA и PMCA соответственно; J_{leak} - подтечка из ЭПР, J_{VGCC} – поток через VGCC; J_{in} - поток Ca^{2+} через ORAI.

В модели Де Питта концентрация кальция в ЭПР постоянна, что не соответствует реальным процессам в клетке, в настоящей модели добавлена динамика кальция в ЭПР и имеет вид:

$$\frac{d[Ca^{2+}]_{er}}{dt} = -J_{IP3} - J_{leak} - J_{RyR} + J_{serca} + J_{stim} \quad (2)$$

где J_{stim} - поток через открытую пору STIM в ЭПР клетки.

Динамика IP3 в модели не изменена и имеет вид:

$$\frac{d[IP3]_{cyt}}{dt} = J_{beta} + J_{delta} - J_{3k} - r_{5P} [IP3]_{cyt} \quad (3)$$

где J_{β} - синтез молекул IP3 от субъединицы бета, J_{δ} - синтез молекул IP3 от субъединицы дельта, J_{3K} - деградация IP3 по 3K механизму, r_{5P} - константа деградации IP3 по 5P механизму.

К базовой модели добавлены VGCC, SOCC, PMCA, RyR. Астроцит является не возбуждаемой клеткой, поэтому VGCC активируются спонтанно и связаны с глутаматными стимулами. Максимальную скорость PMCA достигает в первые секунды активации, что позволяет активно удалять Ca^{2+} во внеклеточное пространство. Активный вклад SOCC в динамику цитозольного кальция с 50 по 400 сек. Уменьшение времени ответа на глутаматный стимул связан с ингибированием рианодиновым рецептором CICR (рисунок 1). Осцилляции кальция вызваны характером поведения RyR. Амплитуда осцилляций задается «хилловской» компонентой уравнения потока рецептора.

Смещение пиков в ЭПР экспериментальной модели относительно базовой связано со сложной организацией SOCC. Активность канала зависит от концентрации цитозольного и ЭПР кальция: при снижении концентрации и цитозольного, и ЭПР кальция происходит образование комплекса Ora1 – Stim, образуя поток кальция в ЭПР. Далее, при глутаматном стимуле под действием CICR кальций выводится из ЭПР. Концентрация кальция в экспериментальной модели меньше, относительно базовой модели, что связано с активацией RyR.

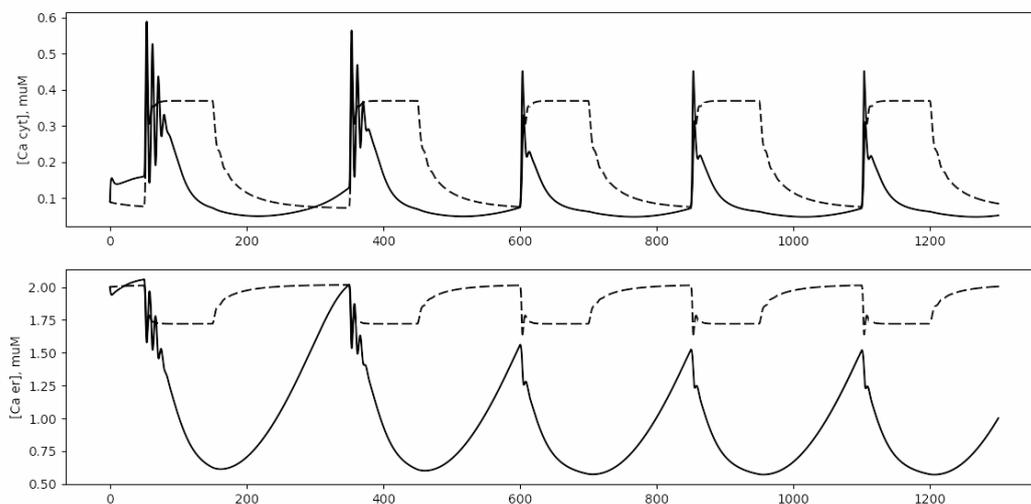


рис.1. Динамика кальция в цитозоле и ЭПР: пунктирная линия – базовая модель (с включенной динамикой Ca^{2+} в ЭПР), черная линия - базовая модель + VGCC + SOCC + PMCA + RyR

Полученная в работе математическая модель кальций-сигнальных путей астроцита позволила провести анализ динамики Ca^{2+} в цитозоле и ЭПР. В ходе модельных экспериментов подтверждены литературные характеристики сигнальных путей, определены вклады каждого пути в общий поток кальция.

Список публикаций:

I. De Pittà M. et al. Glutamate regulation of calcium and IP 3 oscillating and pulsating dynamics in astrocytes // Journal of biological physics. 2009. T. 35. №. 4. С. 383-411.

Исследование усовершенствованной оптической модели тромбоцита с использованием светорассеяния

Чеблакова Ирина Георгиевна

Новосибирский государственный университет

Литвиненко Алёна Леонидовна

cheblakovairina@gmail.com

Диагностика заболеваний кровеносной системы является одной из актуальных проблем современной медицины. Тромбоциты крови играют важную роль в системе гемостаза и участвуют в таких процессах, как тромбоз, воспаление, кровоизлияние. Главным проявлением участия тромбоцитов в этих процессах является образование тромбоцитарной пробки в ответ на повреждение стенки сосуда. Это достигается путём активации тромбоцитов под действием специфических веществ, называемых активаторами: тромбин, АТФ, коллаген. Эти активаторы появляются в кровотоке после повреждения стенки сосуда. В неактивированном состоянии тромбоцит представляет из себя сплюснутую дисковидную частицу. Данная форма достигается за счёт

периферического кольца микротрубочек, которое растягивает мембрану. При активации кольцо микротрубочек искривляется, переходя в трёхмерную структуру, что и определяет его форму в активированном состоянии. Поэтому изменение кривизны кольца микротрубочек говорит о степени активации тромбоцитов. Знание о форме тромбоцитов может помочь диагностировать заболевания кровеносной системы и различные изменения системы гемостаза.

Существует множество методов определения формы. Одним из них является измерение сигнала светорассеяния частицы. Сигнал светорассеяния возможно зафиксировать при помощи сканирующего проточного цитометра, в системе которого каждая измеряемая частица пробы освещается лазером с определенной длиной волны. После этого индикатриса светорассеяния регистрируется с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Параметры формы тромбоцита можно получить, решая обратную задачу светорассеяния для экспериментальных сигналов. Данная задача решалась с использованием метода баз данных. Для данного метода необходимо создать базу данных, состоящую из сигналов светорассеяния от массива теоретически заданных возможных форм тромбоцита. И затем используя эту базу данных, возможно определить экспериментальные размеры частиц. Обработка каждого отдельно взятого экспериментального сигнала происходит путём сравнения его со всеми теоретическими сигналами, составляющими базу данных. Теоретический сигнал, который будет иметь наибольшее сходство с экспериментальным сигналом, будет давать информацию об экспериментальном тромбоците, его объёме и форме.

Для использования метода баз данных необходимо знать теоретические сигналы светорассеяния от модели тромбоцита с заданными параметрами. На текущий момент самой распространённой моделью тромбоцита является сплюснутый сфероид. Из-за изменчивости кривизны кольца микротрубочек сфероид (модель с постоянной кривизной) не соответствует биологической форме тромбоцитов. В следствие этого существует необходимость получить сигналы светорассеяния от усовершенствованной модели тромбоцита, описанной Москаленским А. Е. [1].

Для получения теоретических сигналов реальной формы тромбоцита мы использовали специальные программные пакеты, в которых задается объём и кривизна кольца микротрубочек, а после рассчитывается поверхность минимальной энергии, соответствующая мембране тромбоцита. К сожалению, данная модель является гиперпараметризованной, поэтому она также была упрощена. Новая модель приближена к биологической форме тромбоцита, но при этом позволяет определить параметры частицы.

В данной работе показана применимость разных теоретических моделей: сплюснутый сфероид и усредненная биологическая модель, а также экспериментальная применимость данных моделей. Проверена необходимость перехода от модели сплюснутого сфероида к более сложной модели. Экспериментально проверено соответствие нашей новой модели реальной форме тромбоцита.

Список публикаций:

[1] Moskalensky A. E. // *Journal of Biomedical Optics* 2013. №1(18). С. 17001.

Исследование кристаллической структуры гидроксиапатита при костных патологиях

Черкасская Кристина Вилоровна¹

Максимова Елена Михайловна², Наухацкий Игорь Анатольевич²

¹Кольчугинская школа №1

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

kristina_cherkasskaya@mail.ru

Костные патологии составляют обширную группу болезней, угнетающих человеческую жизнедеятельность. Один из путей решения этой проблемы – применение комплексного подхода в изучении костных тканей с привлечением современных научных методов.

В последние годы заметно возросло число обращений в челюстно-лицевые отделения стационаров пациентов с нетипичными формами воспалительных заболеваний челюстей. При этом основная масса таких пациентов употребляют психотропные препараты суррогатного производства – амфетамин (винт) и его аналоги. Ряд аналогичных случаев отмечается и в зарубежных публикациях [1].

Ранее было проведено исследование, связывающее этиологию данного заболевания с действием примесей аминофосфонатной природы, которые могут присутствовать в амфетамине (метамфетомине) кустарного изготовления. Однако ранее в качестве объекта исследования использовались только бедренные кости, что было недостаточно для корректного обоснования патоморфологии данного заболевания.

Целью настоящей работы является рентгенодифрактометрическое исследование изменений кристаллической структуры костной ткани при воздействии препаратов бифосфонатной природы, приводящих к возникновению остеонекрозов нижних челюстей.

Объектами исследования являлись части нижних челюстей пациентов, принимающих препараты, содержащие бисфосфонаты.

В работе были исследованы образцы костной ткани пациентов, принимающих психотропные препараты суррогатного производства и пациентов контрольной группы, не имеющих остеонекротических изменений.

Нами было проведено структурное исследование нижнечелюстных костей, высушенных и измельченных, в соответствии с методом Дебая-Шеррера. Данные по минеральному составу рассматриваемых костных апатитов получены с помощью рентгеноструктурного анализа, проводимого на дифрактометре общего назначения ДРОН-3. Съемка производилась в угловом диапазоне 2θ от 10 до 100° с использованием медного излучения ($\lambda\bar{\alpha} = 1,542\text{\AA}$).

Анализ дифракционной картины обоих образцов показал, что основной структурной фазой исследуемой костной ткани является гидроксиапатит. На полученных дифрактограммах видно, что все пики второго образца сдвинуты относительно пиков контрольного образца в сторону больших углов, следовательно, параметры элементарной ячейки этого второго образца уменьшаются.

Расчет параметров элементарных ячеек «а» и «с» кристаллических решеток исследуемого костного гидроксиапатита проводился по «квадратичной» формуле для кристаллов гексагональной сингонии [2]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4(h^2+hk+k^2)}{3a^2} + \frac{l^2}{c^2}, \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние; h, k, l – индексы интерференции; a, c – постоянные решетки.

Величина d рассчитывается из уравнения Вульфа-Брегга:

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

где θ – угол Брегга; λ – длина волны рентгеновского излучения; n – порядок отражения.

Параметр «а» определялся в соответствии с (1) для пика с индексами (300):

$$a = \frac{6d}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Параметр «с» определялся в соответствии с (1) для пика с индексами (002):

$$c = 2d \quad (4)$$

Расчеты результирующих параметров «а» и «с» элементарных ячеек гидроксиапатита были проведены методом графической экстраполяции с прецизионной точностью и представлены в таблице:

Параметры элементарной ячейки	Контрольный образец	Образец с остеонекрозом
а	9,431 ±0,002 Å	9,312 ±0,002 Å
с	6,900±0,002 Å	6,841±0,002 Å

Видно, что параметры элементарной ячейки гидроксиапатита кости с остеонекрозом меньше соответствующих параметров для контрольного образца.

С помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-106 методом сканирующей электронной микроскопии были проведены исследования морфологии поверхности образцов. На полученных микрофотографиях пораженной костной ткани отмечается уплотненное костное вещество и уменьшение размеров костных пор.

Установлено, что исследуемый препарат обладает выраженным деструктивным действием на кристаллическую структуру кости, что является одним из факторов, объясняющих возникновение остеонекрозов нижних челюстей у лиц с наркотической зависимостью.

Список публикаций:

[1] Rustemey J. Osteonecrosis of the maxilla related to long-standing methamphetamine abuse: a possible new aspect in the etiology of osteonecrosis of the jaw / J. Rustemey, A. Melenberg, K. Junker, A. Sari-Rieger // *Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2014. – V. 18. Issue 2 – P. 237-241.

[2] Франк-Каменецкий В.А. Руководство по рентгеноструктурному исследованию минералов. – Л.: «Недра», 1975. – 396

13 - Физическая химия, химическая физика

- Абдуллаев Абылгазы Сабиралиевич, 3 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт инженерной физики и радиоэлектроники
Ориентационные структуры капель нематика допированного гомеотропным сурфактантом
Крахаев Михаил Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: ymnyihobbit@gmail.com стр. 318
- Балуда Юрий Игоревич, магистрант 2 года обучения
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, биологии и химии
Рентгеноструктурное исследование координационных соединений 3d-металлов со спейсерированными бистриазолами и дифосфовыми кислотами
Шульгин Виктор Фёдорович, д.х.н.
e-mail: yury.baluda@yandex.ru стр. 319
- Дабаева Адиса Баясхалановна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 321
- Клюев Павел Николаевич, магистрант 1 года обучения
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет, физический
Стабилизация пар цитозиннов ионами серебра в структуре ДНК: теоретическое исследование
Рамазанов Руслан Рафядинович, к.ф.-м.н.
e-mail: phillyeber@gmail.com стр. 322
- Медведев Родион Олегович, аспирант
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, химический
Переработка упорных золотосодержащих пиритовых техногенных отходов
Сачков Виктор Иванович, д.х.н.
e-mail: rodionmedvedev7@gmail.com стр. 323
- Орлов Владислав Викторович, аспирант
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, химический
Образование фторометаллатов при переработке ильменит-титаномагнетитовых руд
Сачков Виктор Иванович, д.х.н.
e-mail: Vvorlov92@mail.ru стр. 325
- Рюш Ирина Олеговна, преподаватель
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Таврический колледж КФУ
Самоорганизация треугольного кластера меди(II) в реакции бис((пиридин-2-ил)-1,2,4-триазол-3-ил)этана с перхлоратом Су(II)
Гусев Алексей Николаевич, к.х.н.
e-mail: rjush-irina@mail.ru стр. 326
- Чибинева Екатерина Сергеевна, 5 курс
Волгоград, Волгоградский государственный университет, математики и информационных технологий
Расчет УФ-спектров поглощения различных конформеров аскорбиновой кислоты
Федунов Роман Геннадиевич, к.ф.-м.н.
e-mail: chibineva2017@mail.ru стр. 327
- Шульга Николай Сергеевич, 5 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Фрактально-кластерная структура приповерхностного слоя воды
Шостка Владимир Иванович, к.ф.-м.н.
e-mail: kolya-shulga96@mail.ru стр. 329
- Шульпеков Александр Михайлович, с.н.с.
Томск, Томский научный центр СО РАН, отдел структурной макрокинетики
Изучение характеристик капиллярного перераспределения меди в процессе высокотемпературного синтеза в системе Ni-Al
Максимов Юрий Михайлович, д.т.н.
e-mail: shulp@yandex.ru стр. 330

Ориентационные структуры капель нематика допированного гомеотропным сурфактантом

Абдуллаев Абылгазы Сабиралиевич
Сибирский федеральный университет
Крахаев Михаил Николаевич, к.ф.-м.н.
Ymnyihobbit@gmail.com

Капсулированный полимером нематический жидкий кристалл (КПНЖК) представляет собой полимерную пленку с диспергированными в ней каплями нематика. В зависимости от материалов можно получить нематики с различными ориентационными структурами директора (единичного вектора, направленного вдоль длинных осей молекул). В общем случае конфигурация директора жидкого кристалла (ЖК) определяется граничными условиями, соотношением констант упругости ЖК, размером и формой капель, а также внешними электрическими (магнитными) полями [1]. При тангенциальном сцеплении (на межфазной границе директор параллелен поверхности капли) наиболее часто образуются капли с биполярной (рис. 1.а) или закручено-биполярной конфигурацией директора, характеризующейся двумя точечными дефектами (буджумами), расположенных на противоположных полюсах капли. В закручено-биполярной конфигурации директор от центра капли по экватору закручивается на угол кручения α , который зависит от констант упругости ЖК и размера капли. В случае гомеотропного сцепления (на межфазной границе директор перпендикулярен поверхности капли) в каплях нематика формируются капли с радиальной конфигурацией директора (рис. 1.б), характеризующейся одним точечным дефектом (ежом) в центре капли [1]. Изменяя граничные условия, можно получить другие конфигурации [2]. Граничные условия в композитных ЖК-пленках можно задавать различными полимерами и добавками в виде поверхностно-активных веществ – сурфактантов [2].

В данной работе для получения КПНЖК-пленок использовался полимер поливиниловый спирт (ПВС), который задает тангенциальные граничные условия, с показателем преломления $n_p = 1,5$ и ЖК 4'-н-пентил-4-цианобифенил (5ЦБ) с показателями преломления $n_{||} = 1,725$ и $n_{\perp} = 1,534$. В качестве сурфактанта, задающего гомеотропные граничные условия, использовался N^1, N^2 - дигексодецил- N^1, N^1, N^2, N^2 - тетраметилэтан-1,2-диаммоний дибромид (катионный сурфактант) (рис. 1.з). Образцы изготавливались методом эмульгирования [1] ЖК в водном растворе полимера. Весовое соотношение компонент ЖК:ПВС равнялось 1:19. Эти водные ЖК-ПВС растворы допировались катионным сурфактантом с концентрациями от 0 до 1 % (по весу) по отношению к ЖК.

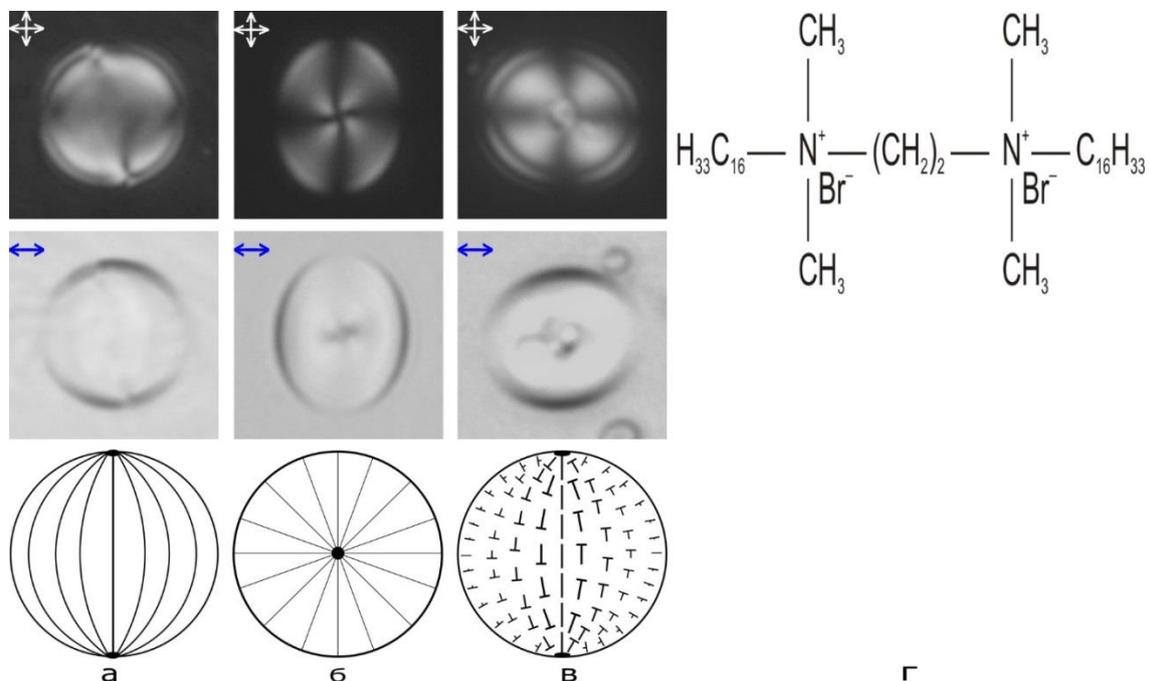


рис.1. Микрофотографии капель нематика, сделанные в геометрии скрещенных поляризаторов, с биполярной (а), радиальной (б) и закручено-биполярной с углом кручения $\alpha=90^\circ$ (в) структурами (верхний ряд) и без анализатора (центральный ряд) и схема распределения поля директора (нижний ряд). Структурная формула сурфактанта (з).

Исследование текстурных картин проводилось с помощью поляризационного микроскопа Axio Imager.A1m, Carl Zeiss в геометрии поляризаторов. Известно, что через систему скрещенных поляризаторов может пройти свет, если между ними расположить оптически анизотропную среду. В случае одноосного кристалла интенсивность проходящего излучения I определяется соотношением:

$$I = I_0 \sin^2(2\beta) \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность падающего на кристалл света; β - угол между проекцией оптической оси на плоскость поляроида и его направлением; $\Delta\varphi=2\pi\Delta nd/\lambda$ - фазовое рассогласование обыкновенного (с показателем преломления n_o) и необыкновенного (с показателем преломления n_e) лучей с длиной волны λ , прошедших образец толщиной d ; $\Delta n=n_o-n_e$ - двулучепреломление кристалла. Анализируя наблюдаемые текстуры с учетом (1), можно определить ориентацию директора ЖК в исследуемом образце.

В данной работе представлены результаты исследования ориентационных структур директора капель нематика допированного гомеотропным сурфактантом.

В композиции ПВС-5ЦБ без добавления сурфактанта капли имеют характерную биполярную структуру с двумя буджумами на полюсах (рис.1.а). При 0,1÷1 % содержании гомеотропного сурфактанта появляются капли со структурой отличные от биполярной или радиальной. Часто встречаются капли с закручено-биполярной структурой с углом кручения $\alpha=90^\circ$ (рис.1.в). При этом угол закрутки α не зависит от размера капли ЖК. Наиболее часто капли с закручено-биполярной конфигурацией появляются при концентрации сурфактанта 0,75 %. Также появляются капли с предрадальной и монополярной структурами [2]. При увеличении до 1 % концентрации сурфактанта встречаются капли с радиальной конфигурацией директора (рис.1.б). Таким образом, при допировании гомеотропным сурфактантом при концентрациях 0,17÷1 % в каплях реализуются тангенциальные граничные условия, при этом формируется закручено-биполярная конфигурация, не характерная для исследуемого ЖК.

Список публикаций:

[1] Drzaic P. S. *Liquid crystal dispersions* – Singapore: World Scientific. 1995 – p. 430.

[2] Prishepa O. O., Shabanov A. V., Zyryanov V. Ya. *Phys. Rev. E*. 2005. Vol. 72. P. 031712.

Рентгеноструктурное исследование координационных соединений 3d-металлов со спейсерированными бистриазолами и дифосфоновыми кислотами

Балуда Юрий Игоревич¹

Певзнер Наталья Соломоновна¹, Крюкова Мария Александровна², Кискин Михаил Александрович³

¹*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского*

²*Санкт-Петербургский государственный университет*

³*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН*

Шульгин Виктор Федорович¹, д.х.н.

yury.baluda@yandex.ru

Замещенные и спейсерированные 1,2,4-триазолы являются удобными матрицами для синтеза металлокомплексов. Вводя необходимые заместители и варьируя длину спейсера, можно направленно изменять структуру и свойства координационных соединений – люминесцентные, магнитные, биологическую активность (ряд производных 1,2,4-триазола используется в медицине) [1, 2]. Еще более широкие возможности для синтеза координационных соединений необычной архитектуры открывает введение в их состав дифосфоновых кислот, способных реализовывать большое количество способов связывания. Также их особенностью являются хорошая растворимость в воде, что важно при создании медицинских препаратов, и высокая биологическая активность [3]; многие соединения широко применяются в стоматологии и лечении костных заболеваний.

Объектами настоящего исследования явились гетеролигандные металлокомплексы на основе ряда бис(пиридилтриазолил)алканов ($n = 1,2,4$) и 1-гидроксиэтан-1,1-дифосфоновой, а также 1-аминоэтан-1,1-дифосфоновой кислот ($X = \text{OH}, \text{NH}_2$ соответственно, или H_4hedp и H_4aedp) (рис. 1). Несмотря на то, что комплексам с бистриазолами и дифосфоновыми кислотами по отдельности посвящено большое количество работ, гетеролигандные соединения такого рода к настоящему времени не изучены. Между тем они очень перспективны для разработки новых лекарственных средств, и кроме того, обладают и другими практически значимыми свойствами (в первую очередь, люминесцентными), что открывает путь к созданию на их основе новых гибридных материалов.

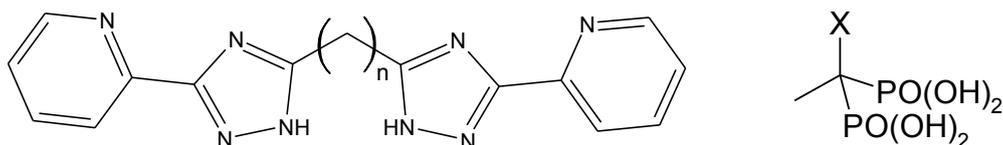


рис. 1. Структура молекул лигандов - бистриазолов и дифосфоновых кислот.

В ходе работы были синтезированы и исследованы методом рентгеноструктурного анализа: комплекс кобальта с бис(пиридилтриазолил)этаном ($n = 2$) и 1-гидроксиэтан-1,1-дифосфоновой кислотой (**1**), соединение меди(II) с бис(пиридилтриазолил)бутаном ($n = 4$) и 1-аминоэтан-1,1-дифосфоновой кислотой (**2**), а также комплекс иона ванадила с бис(пиридилтриазолил)метаном ($n = 1$) и 1-гидроксиэтан-1,1-дифосфоновой кислотой (**3**).

Установлено, что комплекс кобальта (**1**) является катионным и имеет простое биядерное строение. Два октаэдрически координированных катиона металла связаны дитопным бистриазольным лигандом, анионы кислоты являются бидентатными терминальными лигандами. Состав соответствует формуле $[\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4(\text{H}_2\text{L})(\text{H}_2\text{hedp})_2](\text{OH})_2$, где H_2L – молекула бистриазола. Межатомное расстояние $\text{Co}\dots\text{Co}$ составляет 7,70 Å. Несмотря на то, что структура комплексной частицы полностью соответствует теоретически предсказанной, неожиданным стал факт стабилизации иона кобальта в данном соединении в степени окисления +3.

Более сложным строением обладает нейтральное комплексное соединение меди(II) состава $[\text{Cu}_4(\text{H}_2\text{O})_4(\text{H}_2\text{L})_2(\text{aedp})_2]$ (**2**). Частица представляет собой димер – два фрагмента, каждый из которых образован дитопным бистриазолом и двумя катионами меди, соединены тетрадентатными анионами кислоты, каждый из которых связывает также по два катиона меди. Ионы металла имеют КЧ 5 и тетрагонально-пирамидальную геометрию окружения. Расстояние между ионами $\text{Cu}(\text{II})$, связанными анионом кислоты, равно 3,6 Å, связанными молекулой бистриазола – 9,70 Å.

Оригинальным низкосимметричным строением (рис. 2) обладает комплекс иона ванадила (**3**). Также как и в случае меди, 4 катиона связаны попарно двумя дитопными молекулами бистриазола и двумя мостиковыми анионами дифосфоновой кислоты. Один анион является пентадентатным, и связывает не два, а три катиона ванадила, один из которых, в свою очередь, собственным атомом кислорода соединен с четвертым катионом. Реализация таких неожиданных способов координации приводит к сильному искажению структуры. Более того, пентадентатный анион кислоты связывает молекулу комплекса водородной связью с соседней молекулой в димер состава $[(\text{VO})_4(\text{H}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{L})_2(\text{hedp})_2]_2$, причем параметры этой связи (расстояния $\text{O}\dots\text{O}$ и $\text{O}\dots\text{H}$, соответствующие углы) свидетельствуют о ее высокой прочности.

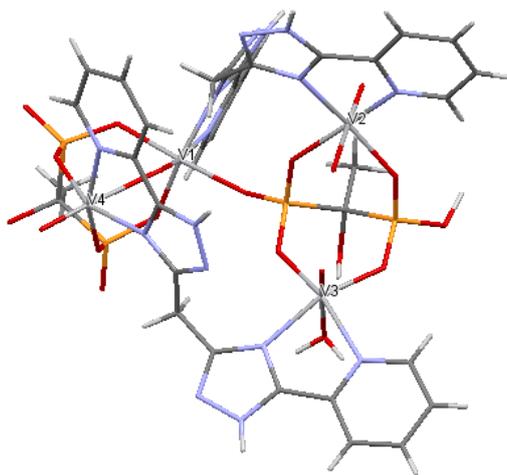


рис. 2. Структура мономера $[(\text{VO})_4(\text{H}_2\text{O})_2\text{L}_2(\text{hedp})_2]$ (**3**).

Рентгеноструктурный анализ монокристаллов соединений **1** и **3** выполнен на оборудовании РЦ РДМИ СПбГУ; монокристаллов соединения **2** – на оборудовании ЦКП ФМИ ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН.

Исследование проведено при поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 18-13-00024.

Список публикаций:

- [1] Gusev A. N., Shul'gin V. F., Linert W. et al. // *Inorganica Chimica Acta*. 2017. Vol. 456. P. 136.
 [2] Gusev A.N., Shul'gin V.F., Hasegawa M. et al. // *Synthetic Metals*. 2013. Vol. 164. P. 17.
 [3] Mostovoy S.O., Shul'gin V.F., Maksimova E.M. et al. // *Journal of Experimental and Integrative Medicine*. 2014. Vol. 4. No 2. P. 81.

Исследование характеристик горения смесей на основе перхлората аммония с добавкой бора

Дабеева Адиса Баясхалановна¹

Горбенко Татьяна Ивановна¹, Горбенко Михаил Владимирович²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Горбенко Татьяна Ивановна, к.ф.-м.н.

adisa.dabaeva.1997@mail.ru

Повышение энергетических характеристик смесевых композиций (СК) на основе перхлората аммония (ПХА) возможно за счет введения в состав металлических добавок (алюминия, магния, бора, титана и др.). Наиболее эффективной и хорошо исследованной добавкой является порошок алюминия. Добавки металлов увеличивают температуру горения СК, заметно повышают удельный импульс, увеличивают плотность СК и стабильность их горения [1, 2]. Анализ последних работ показывает устойчивый интерес к исследованию композиций с добавкой бора. По сравнению с алюминием бор имеет более высокую теплоту сгорания, воспламеняется при более низкой температуре (на частицах бора образуется оксид бора, температура плавления последнего ~ 723 К) [3]. Существенной особенностью металлосодержащих смесевых композиций является присутствие в продуктах сгорания конденсированных окислов металлов [4, 5].

В данной работе исследуются смесевые композиции на основе перхлората аммония, полимерного горючего-связующего марки СКДМ-80 и энергетической добавки бора (2 масс. %). За базовую СК принята безметалльная композиция – ПХА (77,80 масс. %) и СКДМ-80 (22,2 масс. %). Цель исследования – получение информации о характеристиках горения и конденсированных продуктах горения для базовой и модифицированной композиции.

Один из возможных способов регулирования энергетических характеристик смесевых композиций – рецептурный способ. Он связан с получением смесевых композиций с заранее заданной скоростью горения за счет количественного или качественного изменения состава СК. Рецептурное регулирование скорости горения СК достигается разными способами, например, введением в состав катализаторов горения, полной или частичной заменой перхлората аммония другими окислителями, повышением коэффициента избытка окислителя, уменьшением размеров частиц окислителя и металлического горючего, использованием высокоэнергетических окислителей и активных горючих-связующих. В данном исследовании рассмотрено влияние соотношения горючего и окислителя (коэффициента избытка окислителя) на характеристики горения.

Термодинамические исследования проведены с помощью программы высокотемпературных равновесий АСТРА (МГТУ им. Н.Э. Баумана) при давлении в камере сгорания 4 МПа, на срезе сопла – 0,1 МПа. Рассмотрено влияние коэффициента избытка окислителя ($\alpha=0,3; 0,5; 0,7$) на температуру горения ($T_{ад}$), удельный импульс (I_y) и содержание конденсированного оксида бора ($k \cdot B_2O_3$). На рисунке 1 представлена зависимость адиабатической температуры горения ($T_{ад}$) от коэффициента избытка окислителя для металлосодержащей смесевой композиции. Согласно расчетам получено, что с ростом коэффициента избытка окислителя в заданном диапазоне α происходит увеличение адиабатической температуры горения на 1369 К. При этом наблюдается значительный рост удельного импульса от 210 с до 256 с. Установлено, что введение в безметалльную смесевую композицию 2 масс. % бора приводит к увеличению адиабатической температуры на 134 градуса (при $\alpha=0,5$). Удельный импульс при этом возрастает на 10 с.

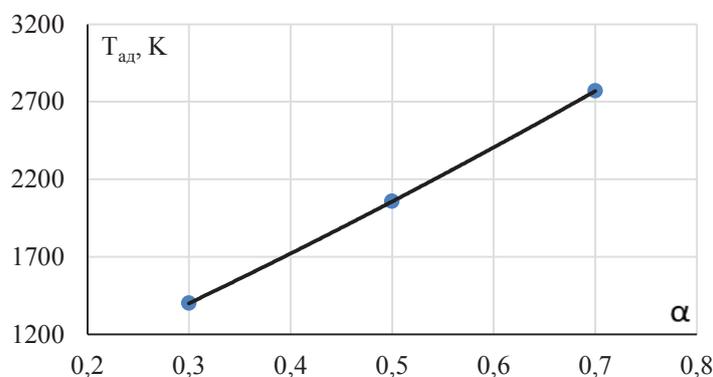


рис.1. Зависимость адиабатической температуры горения ($T_{ад}$) от коэффициента избытка окислителя (α).
СК – ПХА, СКДМ-80, В

Существенной особенностью металлосодержащих смесевых композиций является присутствие в продуктах сгорания значительного количества конденсированных окислов металлов. Для топлива, в состав

которых входят В, а продукты сгорания содержат, например, B_2O_3 , характерно сильное изменение весовой доли конденсата при равновесном расширении в сопле. В камере сгорания борный ангидрид B_2O_3 может целиком содержаться в газовой фазе и конденсироваться лишь при снижении температуры в сопле.

На рисунке 2 показана зависимость содержания конденсированного оксида бора от коэффициента избытка окислителя (α). Установлено, что для композиции – ПХА, СКДМ-80, В, при увеличении коэффициента избытка окислителя ($\alpha=0,3\div 0,7$) на 50 % снижается содержание конденсированного оксида бора. Полученные результаты имеют интерес для дальнейших экспериментальных исследований.

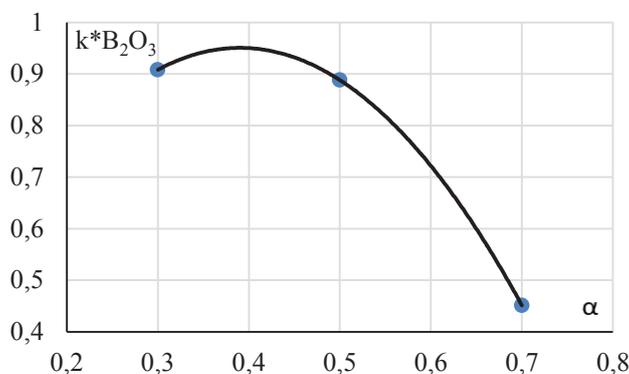


рис.2. Зависимость содержания конденсированного оксида бора от коэффициента избытка окислителя (α). СК – ПХА, СКДМ-80, В

Список публикаций:

- [1] Gorbenko T. I., et al. // *Russian Physics Journal*. 2014. V.57. № 5, P. 615-620.
- [2] L. T. De Luca, et al. // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 41 (2005), 6, P. 680-692.
- [3] Kubota N. *Propellants and Explosives. Thermochemical Aspects of Combustion*. – 2007. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. –530P
- [4] Babuk V. A., et al. // *Combustion Science and technology*, 163 (2001), P. 261-289.
- [5] Gorbenko T. I., Gorbenko M. V., Orloval M. P. and Volkov S. A. // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 919 (2017) 012022.

Стабилизация пар цитозинов ионами серебра в структуре ДНК: теоретическое исследование

Клюев Павел Николаевич

Санкт-Петербургский государственный университет

Рамазанов Руслан Рафядинович, к.ф.-м.н.

phillveber@gmail.com

Связанные ионами серебра цитозины вдоль оси спирали ДНК могут быть использованы в качестве строительных блоков для создания стабильных в растворе наноструктур [1-3]. При значениях pH близких к нейтральной позиции N_3 цитозинов депротонированы, а при добавлении соли серебра $AgNO_3$ происходит специфичное комплексообразование с ионами Ag^+ и образование сшивок типа $C-Ag^+-C$. Такие сшивки приводят к росту температуры плавления ДНК в целом, обуславливают увеличение термодинамической стабильности.

В работе проводилось исследование профиля реакции диссоциации изомеров (в цис- и транс-конфигурации) пар цитозинов, стабилизированных ионами серебра с использованием комбинированного метода QM/MM в программном пакете CP2K. С помощью методики термодинамического интегрирования по траектории молекулярной динамики по координате реакции были получены профили изменения свободной энергии (рис.1).

Было показано, что в случае мономерных комплексов с ионами серебра для обоих изомеров существует конфигурация на профиле с более низким значением энергии в сравнении с равновесными конфигурациями, относительно которого энергетические барьеры диссоциации для цис- и транс-конфигурации существенно отличаются. Относительно главного минимума цис-конфигурация выглядит предпочтительней транс-конфигурации, поскольку относительно диссоциации обладает большим энергетическим барьером. Для димеров цитозинов, стабилизированных ионами серебра, профиль изменения свободной энергии не содержит вторичных минимумом, что по-видимому определяется существенным вкладом стэкинг взаимодействия оснований и металлофильных взаимодействий ионов.

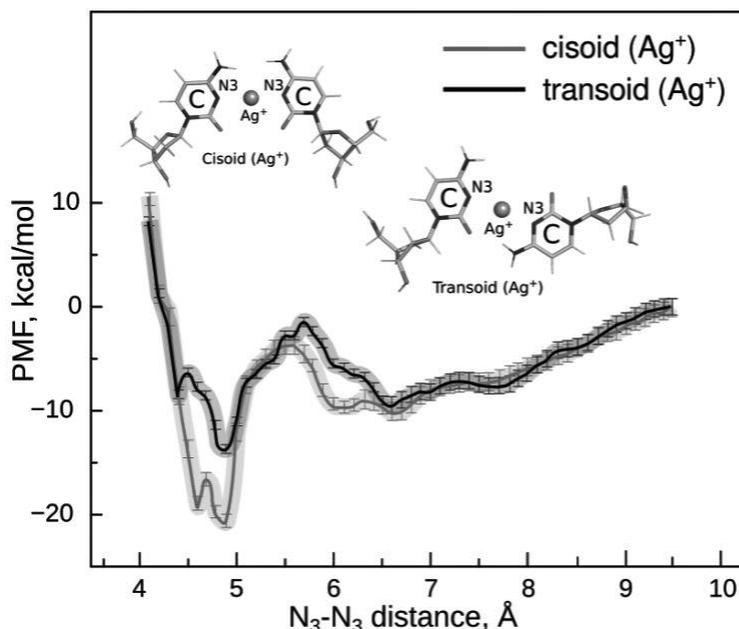


рис 1 Профиль изменения свободной энергии при диссоциации пар цитозинов стабилизированных ионами серебра.

Данная работа была выполнена в рамках проекта, поддержанного грантом РФФ №17-73-10070.

Список публикаций:

- [1] Jash, B.; Müller, J. *Metal-Mediated Base Pairs: From Characterization to Application*. *Chem. - A Eur. J.* 2017, 23 (68), 17166–17178.
- [2] Alberti, P.; Bourdoncle, A.; Saccà, B.; Lacroix, L.; Mergny, J. L. *DNA Nanomachines and Nanostructures Involving Quadruplexes*. *Org. Biomol. Chem.* 2006, 4 (18), 3383–3391.
- [3] Day, H. A.; Huguin, C.; Waller, Z. A. E. *Silver Cations Fold I-Motif at Neutral PH*. *Chem. Commun.* 2013, 49 (70), 7696–7698.

Переработка упорных золотосодержащих пиритовых техногенных отходов

Медведев Родион Олегович

Орлов Владислав Викторович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Сачков Виктор Иванович

rodionmedvedev7@gmail.com

Достижения металлургии цветных и редких металлов связаны с использованием и развитием гидрометаллургических методов извлечения ценных компонентов из сырья. Гидрометаллургический метод отличается высокой экономичностью при переработки бедного труднообогатимого сырья, убогих и забалансовых, в частности золотосодержащих материалов. Освоение сложных по составу и нетрадиционного сырья позволяет существенно расширить сырьевую базу и увеличить производство благородных металлов [1].

В настоящей работе рассмотрен способ переработки техногенных пиритовых отходов, основанный на выщелачивание золота и серебра растворами, содержащими сульфат, сульфит ионы и катионы аммония. В качестве источников сульфат ионов и катионов аммония выступает сульфат аммония. В качестве источника сульфит ионов – сульфит натрия. В данной работе изучалась влияние времени выщелачивание на извлечение целевых компонентов. Концентрацию сульфата и сульфита натрия составляла 25 г/л. Время варьировалось в диапазоне от 1 до 122 часов. Массы исследуемых образцов составляли 100г. Соотношение Т:Ж=1:2. Процесс осуществляли в агитаторах из полиэтилена объемом 1000 мл при постоянном перемешивании при комнатной температуре. Разделение фаз проводилось на нутч-фильтре.

Содержание целевых компонентов в твердом остатке определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре ICAP 6200 Duo. Содержание золота и серебра в сырье составляет соответственно 1,15 и 13,6 г/т. Результаты экспериментов представлены в виде графика зависимости содержания серебра и золота в твердой фазе от времени взаимодействия при концентрации сульфата аммония и сульфита натрия 25 г/т (рис. 1, 2).

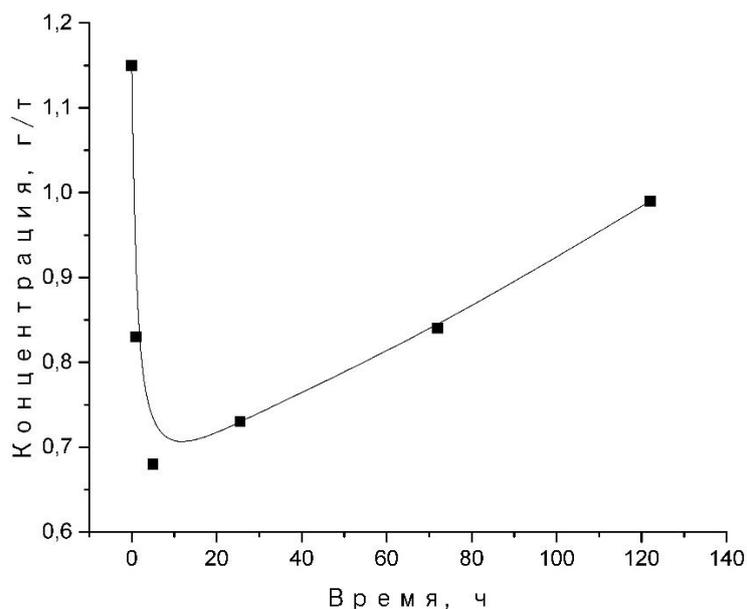


рис.1. Зависимость содержания золота от времени взаимодействия

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением времени процесса извлечение золота уменьшается. Наименьшее содержание золота в твердой фазе достигнуто в образцах сырья в первый час обработки. Затем содержание золота начало увеличиваться, что может говорить об присутствии естественных сорбентов в сырье.

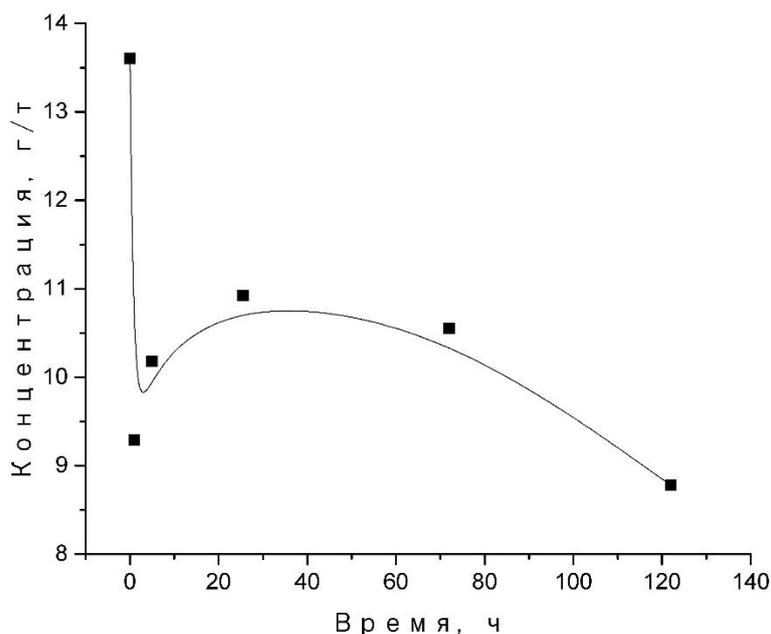


рис.2. Зависимость содержания серебра от времени взаимодействия

Содержание серебра имеет максимум на графике. Содержания серебра в первый час процесса интенсивно снижается, а затем увеличивается. После 24 часов обработки содержание серебра в сырье начинает уменьшаться. Сырье может быть эффективно переработано способом, основанным на взаимодействии пиритового сырья с раствором, содержащим сульфат аммония и сульфита натрия.

Список публикаций:

- [1] Минеев Г. Г., Панченко А. Ф. // Растворители золота и серебра в гидрометаллургии: М.: Металлургия. 1994. С. 241.
 [2] Лодейщиков В. В. // Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: Иркутск: ОАО «Иргиредмет». 1999. Т.2. С.452.

Образование фторометаллатов при переработке ильменит-титаномагнетитовых руд

Орлов Владислав Викторович

Медведев Родион Олегович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Сачков Виктор Иванович

Vvorlov92@mail.ru

Титаномагнетитовые руды – важный источник титана, ванадия и железа. Во многих странах мира они довольно широко распространены. Запасы титаномагнетитовых руд коренных месторождений значительны и достигают нескольких миллиардов тонн [1]. В данной работе применялся гидрометаллургический способ переработки титаномагнетитовой руды растворами, содержащими ионы аммония и фтора.

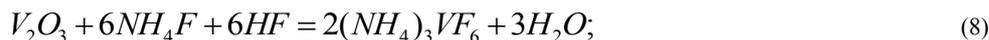
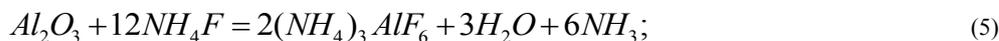
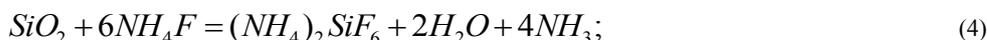
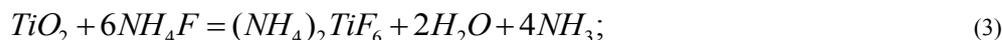
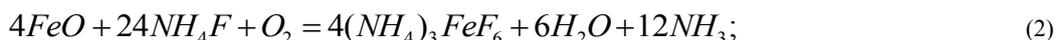
Основой процесса переработки руд фторидами аммония является то, что соединения переходных и многих непереходных элементов, содержащие кислород, при взаимодействии с фторидом аммония образуют очень удобные для переработки фторо- или оксофторометаллаты аммония [2]. Образование оксофторометаллатов более характерно для металлов V–VII групп, а также для урана и непереходных элементов V группы. Благородные металлы с фторидом аммония не взаимодействуют. Для титана (IV) известны следующие фторометаллаты аммония: $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6\cdot\text{NH}_4\text{F}$, $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ и NH_4TiF_5 [3]. Устойчивые комплексы железа $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$ и NH_4FeF_3 более характерны для степеней окисления +3 и +2 соответственно [4]. Фторометаллаты аммония благодаря своим свойствам предоставляют возможность разделить смесь соединений в процессе термической обработки с образованием нелетучих фторидов [5].

В данной работе в качестве выщелачивающего раствора применяли раствор фторида аммония и фтористоводородной кислоты. Исследования фазового состава и структурных параметров образцов проводили на дифрактометре XRD-6000 на $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PDF 4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 23.

Проба ильменит-титаномагнетитовой руды была исследована методом рентгенофазового анализа, результаты которого представлены в таблице:

Компонент	Содержание, %масс.
Fe_2O_3	49,29
FeO	24,25
TiO_2	13,16
SiO_2	5,89
Al_2O_3	4,34
MgO	1,60
CaO	1,25
V_2O_3	0,22

Компоненты руды взаимодействуют с выщелачивающим раствором по следующим реакциям:



С учетом вышесказанного, вскрытие руд фторидом аммония обладает следующими преимуществами: реакции могут протекать при относительно низких температурах, присутствует возможность регенерации фторида аммония и создания замкнутого цикла в процессе производства.

Список публикаций:

[1] Резниченко, Шабалина Титаномагнетиты, месторождения, металлургия, химическая техн-ия/ М.: Наука, 1986. – 65 с.

[2] Раков Э.Г. Фториды аммония // Сер.: Итоги науки и техники. Неорганическая химия. Т. 15. М.: ВИНТИ, 1988. 154 с.

[3] Раков Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. М. МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990. 120 с.

[4] Володкович Л. М., Петров Г. С., Далидович С. В., Вечер Р. А., Вечер А. А. Тез. докл. VI Всесоюзн. симпоз. по химии неорганических фторидов. М.: Наука, 1981, с. 147.

[5] Андреев А.А., Ворошилов Ф.А. Способ разделения системы $\text{NH}_4\text{F}\text{-TiF}_4$ сублимацией–десублимацией//Фторидные технологии: тез. докл. всерос. науч.-практ. конф. / Томский политех. университет. Изд-во Том. политех. ун-та, 2009. С. 28.

Самоорганизация треугольного кластера меди(II) в реакции бис((пиридин-2-ил)-1,2,4-триазол-3-ил)этана с перхлоратом Cu(II)

Рюш Ирина Олеговна

Гусев Алексей Николаевич, Шульгин Виктор Федорович

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Гусев Алексей Николаевич, д.х.н.

rjush-irina@mail.ru

Недавние исследования показали [1,2], что использование гибких алкильных спейсеров для связывания пиридилтриазолиловых хелатирующих фрагментов приводит к образованию новых многоядерных кластеров с необычной топологией и структурой.

В продолжение данных исследований [3] была изучена реакция перхлората меди(II) с бис((пиридин-2-ил)-1,2,4-триазол-3-ил)этана в сильно щелочной среде. Полученные данные показывают, что продуктом реакции является трехядерный комплекс $\text{Cu}_3\text{OHNa}_2(\text{L}')_6(\text{ClO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O} \cdot \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, где L' - биспиридилтриазолат-анион. Состав и строение комплекса установлены по данным ЭА, ТГ, ИК- и масс-спектрологии. Образование биспиридилтриазолат-анион возможно связано с окислительной симметризацией спейсированного триазола в щелочной среде.

Строение комплекса установлено по данным рентгеноструктурного анализа. По данным последнего комплекс имеет гетерометаллическое строение, в котором металлическое ядро образовано тремя катионами Cu(II) и двумя катионами натрия (рис. 1). Катионы натрия и меди(II) попарно соединены триазолат-анионами, а ионы меди соединены мостиковым гидроксид-анионом.

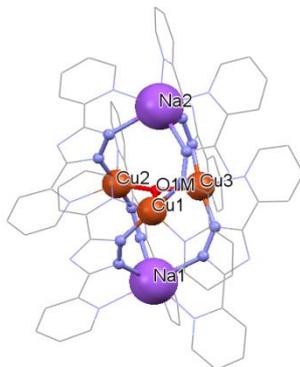


рис. 1 Строение исследуемого координационного соединения

Магнитные свойства данного трехядерного комплекса (рис. 2), демонстрируют сильный антиферромагнитный обмен между парамагнитными центрами. При охлаждении эффективный магнитный момент постоянно снижается до ≈ 100 К, после чего плато со значением 1,8 МБ достигается в диапазоне температур от 80 до 40 К. Дальнейшее охлаждение приводит к падению μ_{eff} до 1,1 МБ при $T = 2$ К. Это падение может быть объяснено антисимметричным обменом между атомами меди.

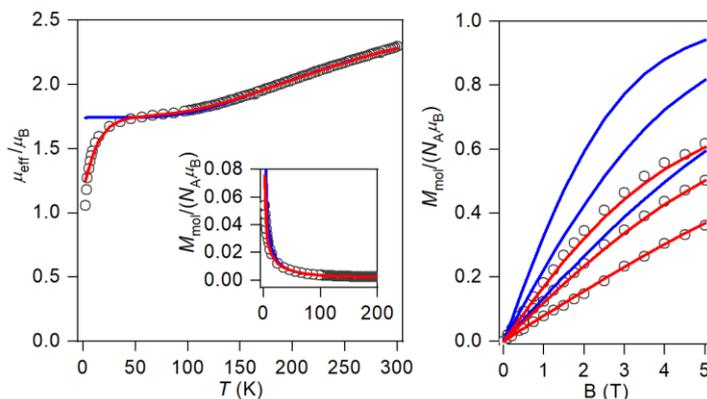


рис. 2 Температурная зависимость эффективного магнитного момента и данные изотермической намагниченности, измеренные при $T = 2, 3$ и 5 К.

Спектры электронного парамагнитного резонанса при комнатной температуре тримера полученного комплекса содержат один слабый неразрешенный пик (рис. 3). При охлаждении до 2 К, в дополнение к основному сигналу при $g = 2,04$ в спектре ЭПР появляется вторая полоса в более низких полях с $g = 1,01$.

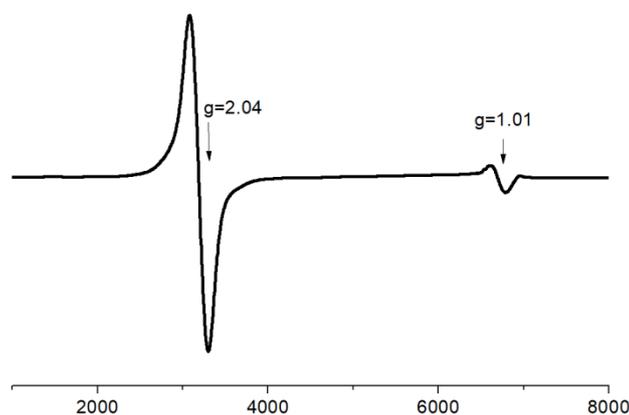


рис. 3 ЭПР-спектры в X-диапазоне поликристаллического образца комплекса при 2 К.

Эти особенности как раз связаны с наличием антисимметричного обмена, приводящего к большой анизотропии g -тензора основного состояния с эффективным спином $1/2$. Кроме того, экспериментальное значение $g_{xy} = 1,01$ хорошо согласуется со значением $g_{xy} = 0,83$, полученным при моделировании магнитных данных.

Таким образом, мы успешно синтезировали новую структуру на основе меди с использованием симметричного бис-хелатирующего лиганда 1,2-бис ((пиридин) -2-ил) -1,2,4-триазол-3-ил) этана. Было показано, что конформационная свобода и координационная гибкость полужестких лигандов оказывают существенное влияние на структуру и магнитные свойства.

Список публикаций:

- [1] A. N. Gusev, V. F. Shul'gin, E. Beyjuyev, G. G. Alexandrov, I. L. Eremenko, W. Linert., *Polyhedron*, 2015, 85, 525.
 [2] A. N. Gusev, I. Nemes, R. Herchel, E. Bayjuyev, G. A. Nyshchimenko, G. G. Alexandrov, I. L. Eremenko, Z. Travnicek, M. Hasegawa and W. Linert, *Dalton Trans.*, 2014, 43, 7153.
 [3] A. N. Gusev, V. F. Shul'gin, I. O. Ryush, M. Hasegawa, M. A. Kiskin, N. N. Efimov, K. A. Lyssenko, I.L. Eremenko and W. Linert, *Eur. J. of Inorg. Chem.*, 704 (2017).

Расчет УФ - спектров поглощения различных конформеров аскорбиновой кислоты

Чибинева Екатерина Сергеевна

Волгоградский государственный университет

Федунов Роман Геннадиевич, к.ф.-м.н.

chibineva2017@mail.ru

В качестве объектов квантово-химического исследования в данной научной работе были выбраны L-аскорбиновая и L-изоаскорбиновая кислоты. Вследствие того, что атомы водорода гидроксигрупп достаточно подвижны и при взаимодействии с полярным растворителем могут образовывать новые водородные связи, то рассматриваемые изомеры могут отличаться по своему геометрическому строению, что также может отражаться на их УФ-спектрах поглощения. В работе [1] было обнаружено смещение максимума спектра поглощения L-аскорбиновой кислоты в синюю область с ростом кислотности водного раствора. Кислотность раствора также может оказывать влияние на строение водородных связей, поэтому теоретическое исследование УФ-спектров поглощения различных конформеров аскорбиновой кислоты может дать информацию о влиянии конфигурации водородных связей на ее УФ-спектры.

Цель данной работы заключается в изучении геометрического и электронного строения различных конформеров L-изомеров аскорбиновой кислоты рассчитанных квантово-химическим методом RHF/STO-6G/B3LYP, а также расчет УФ-спектров поглощения методом TDDFT в программном пакете GAMESS(US).

В данной работе были рассмотрены несколько конформеров L-аскорбиновой и L-изоаскорбиновой кислот, которые различаются ориентацией водородов гидроксигрупп фуранового кольца (рис. 1 и 2). На рисунке 1 видно, что 3-гидроксигруппа (3-OH) L-аскорбиновой кислоты находится в цис-конфигурации относительно связи C3=C4, тогда как 4-гидроксигруппа (4-OH) находится в транс-конфигурации. На рисунке 2 показана аналогичная конфигурация для 3-OH и 4-OH L-изоаскорбиновой кислоты. Кроме того, были рассмотрены конформеры (не представленные на рисунке), в которых обе 3- и 4-гидроксигруппы находятся в транс-конфигурациях. В большинстве конформеров кислороды дигидроксиэтилового фрагмента (OCCO-

группа) находятся в цис-конфигурации (рис.1), также было рассмотрено несколько конформеров с транс-конфигурацией OCCO-группы (рис.2).

Все расчеты проводились в приближении изолированной молекулы в газовой фазе. Расчет равновесного геометрического строения основного электронного состояния каждого конформера был выполнен с оптимизацией всех геометрических параметров. Полные энергии различных конформеров L-аскорбиновой кислоты и L-изоаскорбиновой кислот приведены в таблице. УФ-спектры поглощения были рассчитаны для 5 электронных переходов. На рисунке 3 представлены линии УФ-спектров поглощения для конформеров L-аскорбиновой кислоты внизу рисунка и для конформеров L-изоаскорбиновой кислоты вверху рисунка. Для сравнения в середине рисунка представлены экспериментальные спектры L-аскорбиновой кислоты в водном растворе при различных значениях показателя кислотности [1]. Ниже, в таблице представлены полные энергии, E_0 (эВ), исследуемых кислот при различных конфигурациях групп: 3-OH, 4-OH и OCCO.

L-аскорбиновая кислота					L-изоаскорбиновая кислота				
№	3-OH	4-OH	OCCO	E_0	№	3-OH	4-OH	OCCO	E_0
I	цис	транс	цис	-18554.27	II	цис	транс	транс	-18554.12
I'	транс	транс	цис	-18554.29	II'	транс	транс	транс	-18554.16
I''	транс	цис	цис	-18553.85	II''	транс	цис	цис	-18553.81
I'''	транс	цис	транс	-18553.68	II'''	транс	цис	транс	-18553.55

Как видно из таблицы, полные энергии различных конформеров в основном электронном состоянии отличаются в пределах ± 0.5 эВ, также в широком диапазоне варьируются спектры поглощения (рис.3). Конформеры у L-аскорбиновой кислоты I и I' характеризуются минимальным значением полной энергии среди всех рассмотренных конформеров. Линии поглощения в области главного максимума 270 нм соответствуют π - π^* обусловленным изменением электронной плотности углеродов фуранового кольца и присоединенным к фурановому кольцу кислородов. Линии поглощения в области 220 нм обусловлены π - π^* изменением электронной плотности кислорода дигидроксиэтилового фрагмента. Поскольку конформеры отличаются строением водородных связей, изменение УФ-спектров поглощения при увеличении кислотности также возможно из-за увеличения интенсивности взаимодействия между водородами гидроксигрупп и растворителем. Следует отметить, что L-изоаскорбиновая кислота характеризуется меньшим значением полной энергии (конформеры II и II') по сравнению с L-аскорбиновой кислотой, однако линии поглощения всех конформеров II соответствуют главному максимуму.

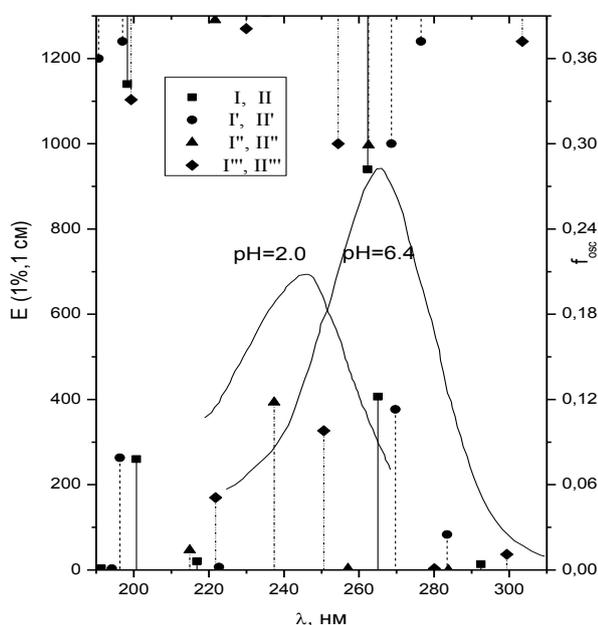
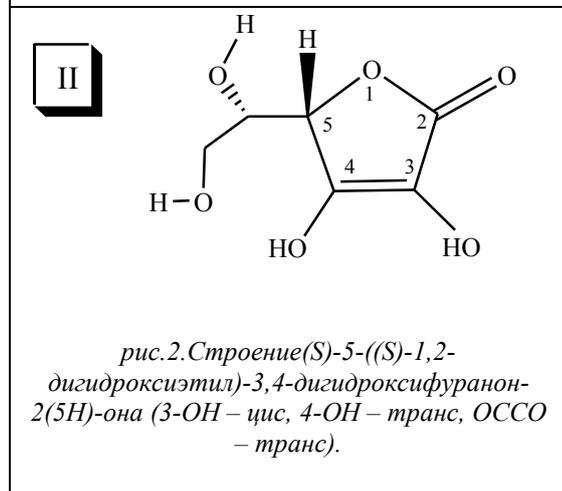
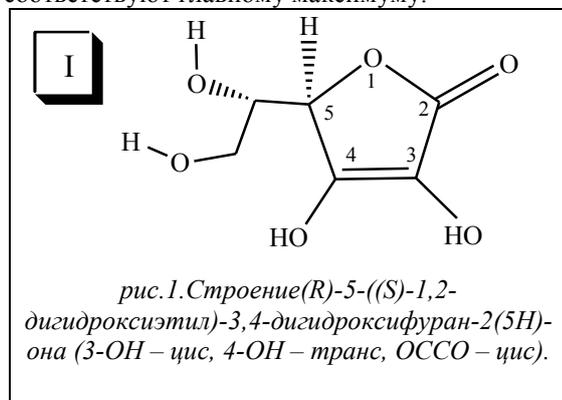


рис.3. Вертикальные линии рассчитанные УФ- спектры поглощения конформеров кислот L-аскорбиновая (низ) и L-изоаскорбиновая (верх). Кривые соответствуют экспериментальным спектрам поглощения водного раствора L-аскорбиновой кислоты.

Таким образом, при помощи методов УФ-спектроскопии сложно выявить наиболее предпочтительный конформер, однако, при некоторых условиях могут появляться существенные изменения спектра поглощения, обусловленные изменением в структуре водородных связей L-аскорбиновой кислоты.

Список публикаций:

[1] Lawendel J.S.//Ultra- Violet Absorption Spectra of L- Ascorbic Acid in Aqueous Solutions. Nature,1957, T.180.,с. 434.

Фрактально-кластерная структура приповерхностного слоя воды

Шульга Николай Сергеевич

Шостка Владимир Иванович, Шостка Наталья Владимировна, Вершицкий Владислав Иванович

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Шостка Владимир Иванович, к.ф.-м.н.

kolya-shulga96@mail.ru

В работе приводится сравнительный анализ формирования кластеров и клатратов в приповерхностном слое дважды очищенной воды, основанный на интерференции лазерных лучей, прошедших через каплю воды, помещенную в треугольную ячейку. Предпринята попытка идентификации сформированных кластеров. Наглядно показано, что вода обладает свойствами, связанными с наличием порядка в кластерных состояниях вследствие кооперативного эффекта структурных изменений в неоднородной сетке водородных связей. В сформированных кластерах в зависимости от количества взаимодействующих молекул возможны образования ассоциатов и клатратов различной формы.

Вода, широко распространенный в природе растворитель, благодаря межмолекулярным водородным связям отличающаяся от других гидридов, имеющая ассоциативную структуру и являющаяся в структурном отношении очень чувствительной системой, в которой присутствует огромное количество метастабильных состояний. Отсутствие строгих представлений о структуре воды и ее организации на молекулярном уровне тормозит развитие методов не только количественного анализа, но и качественной оценки структурированности воды. Структуру воды можно связать с наличием водородных связей и образованием гидратированных ионов, формирующих сложную трехмерную сетку. Число возможных способов их соединения друг с другом и стабильных конфигураций на их основе огромно. Отдельные молекулы, соединенные водородными связями, объединяются в ассоциаты или кластеры, размеры которых зависят от разных условий, прежде всего, от температуры [1].

Считается, что время существования устойчивых нанокластеров в объемной фазе воды не превышает 0,01 наносекунды [2]. Попадая из объемной фазы в приповерхностный слой, короткоживущие кластеры стабилизируются в ней, и время их жизни существенно возрастает. Стабилизация кластеров в приповерхностном слое воды может быть связана с высокой структурной упорядоченностью слоя. По мере удаления от поверхности раздела вглубь жидкости степень упорядоченности понижается и, наоборот, на некотором расстоянии от поверхности упорядоченность соответствует состоянию жидкости в объемной фазе [3].

Целью данной работы является применение оптических методов исследования структуры воды, как неупорядоченной жидкости, которая, несмотря на то что водородные связи в ней являются короткоживущими, способна к самоорганизации вследствие образования новых водородных связей и кооперативных эффектов.

В исследовании рассмотрен достаточно просто реализуемый метод лазерной интерферометрии, особенность которого заключалась в использовании амплитудно-фазовой модуляции расширенного лазерного пучка при прохождении через слой капли воды, позволяющий рассматривать процессы формирования и изменения неоднородной структуры в приповерхностном слое воды [4-6]. В результате проделанной работы впервые при комнатной температуре были зафиксированы устойчивые кластерные структуры, ассоциаты и клатраты, а также предложены возможные модели их образования в приповерхностном слое воды [6, 7].

Таким образом, полученные структуры могут свидетельствовать в пользу того, что в жидкой воде присутствуют устойчивые состояния, связанные с наличием порядка в ее разнообразных кластерных образованиях вследствие кооперативного эффекта структурного и динамического изменений в неоднородной сетке водородных связей.

Список публикаций

- [1] Ролдугин В.И. Фрактальные структуры в дисперсных системах. // Успехи химии, т. 72, № 10, С. 931–959, 2003;
- [2] Зенин С.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды. // Журнал физ. химии, т. 68, С. 634–641, 1994;
- [3] Запольский А.К., Перишина Е.Д., Герасимчук А.И., Каздобин К.А. Современные представления о структуре и электропроводности воды. // Науково-технічні вісті, № 3(13), С.24–40, 2013;
- [4] Shostka V.I., Lapaeva S.N., Vershinsky V.I., Vortical structure of wave caustics, Proceedings of SPIE "Advanced Optoelectronics and Lasers", Salamanca, Mexico, P. 187–195, 2004;
- [5] Шостка В.И., Шостка Н.В., Доненко И.Л., Формирование кластерных структур в воде. // Всероссийский открытый конкурс студентов вузов и молодых исследователей: сборник трудов, Тамбов, С. 41–44, 2017;
- [6] Шостка В.И., Шостка Н.В., Доненко И.Л., Визуализация кластерной структуры воды с помощью лазерного излучения. // Вестник Физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, Т.1.(67–69), №3, С.44–52, 2017;
- [7] Шульга Н.С., Шостка В.И., Шостка Н.В. Структура кластеров воды в приповерхностном слое при лазерном возбуждении // Молодая наука. Сборник научных трудов научно-практической конференции студентов и молодых ученых. / под ред. Н.Г. Гончаровой. С.126-129. 2018.

Изучение характеристик капиллярного перераспределения меди в процессе высокотемпературного синтеза в системе Ni-Al

Шульпеков Александр Михайлович

Габбасов Рамиль Махмутович, Китлер Владимир Давыдович

Томский научный центр СО РАН

Максимов Юрий Михайлович, д.т.н.

shulp@yandex.ru

Применение технологического горения для синтеза высокотемпературных металлокерамических материалов сдерживается недостаточной изученностью физико-химических процессов в волне высокотемпературного синтеза. Еще меньше изучено влияние капиллярных течений расплава металлов на неизотермические пространственные волны химического превращения в пористых гетерогенных системах. Обзор существующей литературы показывает, что описание тепло- и массообмена в пористой среде остается для ряда практически важных приложений отрывочным [1]. Классический анализ кинетики пропитки пористых тел расплавами встречает значительные трудности при интенсивном нагреве, изменении размеров частиц пористой среды и протекании химической реакции [2]. Плавление реагентов и смачивание расплавом более тугоплавких компонентов смеси увеличивает скорость тепловыделения в гетерогенной реакции и, соответственно, повышает температуру в зоне химического превращения. Одновременно увеличивается скорость термокапиллярного течения и конвективный теплоперенос. Механизм реализации термокапиллярной конвекции – эффекта Марангони в гетерогенной реагирующей среде не исследован. Результаты исследования, с одной стороны, имеют большое фундаментальное значение для развития теории нелинейных волновых процессов в гетерогенных системах, с другой, – практическое для развития технологий синтеза металлокерамических и композиционных материалов.

Обычно предполагается, что материал пропитки и материал каркаса не взаимодействуют друг с другом и могут рассматриваться как независимые фазы. Однако, как было показано авторами на примере горения систем Ti-Si-C с никелем и медью, материал пропитки взаимодействует с материалом каркаса, что приводит к изменению фазового состава материала [3, 4]. В данной работе, как крайний случай, для исследования была взята система Ni-Al-Cu, в которой мы изначально предполагали сильное химическое взаимодействие между компонентами. Из-за близости атомных радиусов Ni и Cu в этой бинарной системе образуется непрерывный ряд твердых растворов. Поэтому мы предполагали, что процесс образования пористого скелета и его пропитки могут протекать одновременно.

Целью работы являлось исследование процессов, протекающих в процессе СВС в системе Ni-Al при одновременном взаимодействии с медной проволокой, а так же макро- и микроструктура, фазовый состав образцов.

Для исследования использовали порошки Ni (ПНК1-Л17) и Al (АСД-4). Порошки смешивали в соотношении 68,5 мас. % Ni и 31,5 мас. % Al (стехиометрия NiAl). Полученную смесь выдерживали 3 часа в вакуумном сушильном шкафу при температуре 200 С. Смесь прессовали в виде цилиндра диаметром 15 мм. Относительная плотность образцов в зависимости от усилия прессования находилась в диапазоне 0.4 – 0.6. В ряде экспериментов вдоль оси образца располагалась медная проволока диаметром 1 мм. Иницирование реакции проводили с помощью электрической спирали, нагреваемой электрическим током от автотрансформатора.

Для регистрации термограмм термопары марки ВР5/20 подключали к АЦП и персональному компьютеру. Скорость распространения фронта волны горения определяли с помощью скоростной видеокамеры Motion ProX-3. Фазовый состав продуктов синтеза определяли на портативном настольном рентгеновском приборе РИКОР, (излучение $\text{CoK}\alpha$) предоставленный ТомЦКП СО РАН. Микроструктурные исследования проводили на оптическом микроскопе (Axiovert 200M, Karl Zeiss). Концентрацию меди в образцах определяли с помощью локального микрорентгеноспектрального анализа (EDAX).

Предварительно было изучено влияние усилия прессования на относительную плотность образцов без медной проволоки. Кривая состоит из трех участков с разным наклоном относительно оси x . Это может свидетельствовать о существовании трех разных макроструктур в порошковой смеси. Исходя из этого, для дальнейшего исследования образцы прессовали при трех разных усилиях, соответствующих этим областям.

В работе изучено влияние относительной плотности образцов на скорость распространения фронта и его максимальную температуру. Скорость распространения фронта монотонно увеличивается при повышении относительной плотности образца, в то время как зависимость максимальной температуры имеет максимум при относительной плотности 0.43.

Методом локального микрорентгеноспектрального анализа изучено распределение меди в радиальном направлении от центра образца. Образец в данном случае представлял цилиндр, из прессованной смеси Ni и Al, диаметром 15 и высотой 10-12 мм с впрессованной вдоль его оси медной проволокой диаметром 1 мм. После синтеза на всех образцах кроме одного с плотностью 0.4, на месте медной проволоки образуется цилиндрическая полость, диаметром около 1 мм. Медь при этом перераспределяется в радиальном направлении, и ее концентрация уменьшается от центра к краю образца (рис. 1).

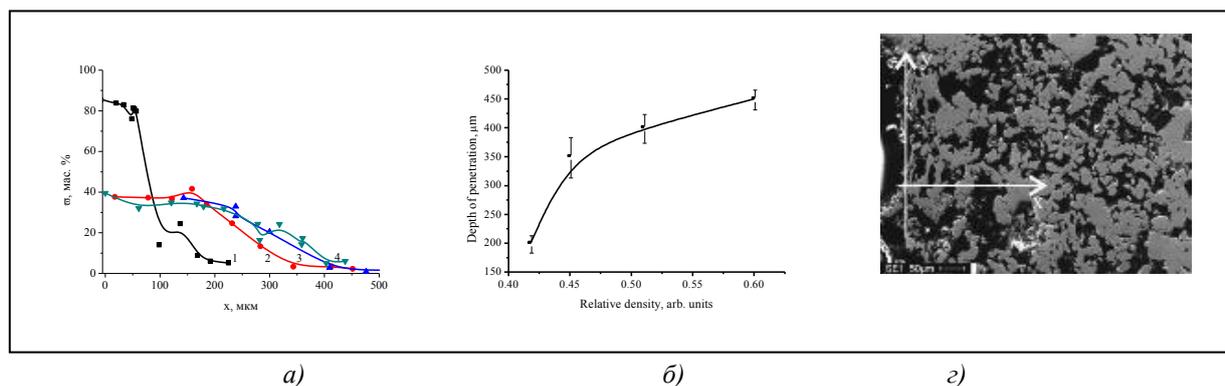


рис.1. Распределение меди вдоль радиальной оси образца (а) и глубина проникновения меди (б) в зависимости от относительной плотности образца и его микроструктура.
Относительная плотность: 1 – 0,4; 2 – 0,47; 3 – 0,51; 4 – 0,6.

Исходя из того, что предел обнаружения меди методом локального микрорентгеноспектрального анализа на превышает 0.5 мас. % и ее концентрацию ниже этого можно принять за ноль, рассчитана глубина проникновения меди в образец, которая растет с уменьшением пористости образца, что согласуется с теоретическими представлениями. В области растекания меди, согласно данным РФА, образуется твердый раствор меди на основе NiAl.

Таким образом, в результате работы исследованы процессы, протекающие при высокотемпературном синтезе в системе Ni-Al, определена глубина проникновения меди в пористый каркас NiAl.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-03-00081) и в рамках государственного задания для ТНЦ СО РАН (проект № 0365-2019-0004).

Список публикаций:

- [1] Vafai K. *Handbook of Porous Media. Third Edition. Taylor and Francis Group; New York: 2015. – 959 p.*
- [2] Попель С.И. *Поверхностные явления в расплавах. – М.: Металлургия, 1994. – 432 с.*
- [3] Латухин Е.И., Амосов А.П., Борисов Д.В., Рябов А.М., Илларионов А.Ю. // *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2017. № 1 (53) С. 143-151.*
- [4] Амосов А.П., Латухин Е.И., Рябов А.М., Умеров Е.Р., Новиков В.А. // *IOP Conf. Ser. 2018. 1115.*

14 - Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

Акбашева Алина Ильдаровна, магистрант 1 года обучения

Москва, Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, геологии и геофизики нефти и газа

Оптимальный комплекс петрофизических исследований для месторождений шельфа Северных морей

Беляков Михаил Анатольевич, к.г.-м.н.

e-mail: alinsakbasheva@gmail.com стр. 334

Аппаева Жанна Юсуповна, н.с.

Нальчик, Высокогорный геофизический институт, отдел активных воздействий

Пространственно-временное распределение основных радиолокационных характеристик одноячейковых грозо-градовых облаков Северного Кавказа

e-mail: conkordya@mail.ru стр. 335

Байгузин Рафаэль Венерович, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Исследование зависимости гидродинамической связности коллекторов от песчанистости и характеристик геологической модели

Коновалова Светлана Ильдусовна, к.ф.-м.н.

e-mail: raffbayy@gmail.com стр. 336

Болдырева Виктория Александровна, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Исследование роли аэрозолей в формировании вариаций электрического поля в приземном слое

Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.

e-mail: georgpu@rambler.ru стр. 338

Гергоков Ахмат Хисаевич, н.с.

Нальчик, Высокогорный геофизический институт, Отдел активных воздействий

Метод борьбы с аномальным радозом, при радиолокационных наблюдениях за облаками

Абшаев Магомед Тахирович, д.ф.-м.н.

e-mail: ahmat-0007@mail.ru стр. 339

Купинская Анна Игоревна, 5 курс

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 стр. 341

Максимов Глеб Сергеевич, 2 курс

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

Исследование элементного и минерального состава карстовых отложений крымской пещеры Эминне-Баир-Хосар

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

e-mail: neondreamer00@gmail.com стр. 342

Шевченко Анастасия Викторовна, 4 курс

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 стр. 343

Шпар Алексей Сергеевич, 3 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический

Моделирование теплообмена при промывке скважины

Рамазанов Айрат Шайхуллович, д.т.н.

e-mail: alekseyshpar@gmail.com стр. 345

Петрофизические исследования для месторождений шельфа Северных морей (на примере сеноманской залежи Северо-Каменномысского месторождения Обской Губы Карского моря)

Акбашева Алина Ильдаровна

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

Беляков Михаил Анатольевич, к.г.-м.н.

alinsakbasheva@gmail.com

Истощённость извлекаемых ресурсов энергетической базы - основной принципиальный вопрос современной нефтегазовой отрасли. В связи с этим активно ведётся освоение топливно-энергетического потенциала шельфа России. Для оценки запасов необходим комплекс петрофизических исследований, который указывает на параметры, необходимые для разработки месторождения.

Данная работа посвящена петрофизическим исследованиям сеноманских отложений на Северо-Каменномысском месторождении Обской Губы Карского моря. Проведены исследования керн, включающие выявление коэффициентов пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности.

В результате исследования керн выявлено, что объёмная плотность с коэффициентом пористости коллекторов связана тесной зависимостью, описываемой уравнением:

$$\delta_n = -1.65 * K_n + 2.65, \quad R = 0.99 \quad (1)$$

где K_n – коэффициент пористости, R – коэффициент корреляции.

Коэффициенты пород по газу, замеренные на сухих образцах меняются от 3-10 мД до сотен мД вплоть до одного Дарси, среднее значение $K_{пр}$ составляет 195 мД, в том числе для коллекторов, которые в данном разрезе являются высокопроницаемыми, от 100 до 1000 мД при среднем значении – 462 мД; для вмещающих пород – от 2-10 мД до 100-300 мД, в среднем – 39,6 мД. Зависимость $K_n = f(K_{пр})$ выражается уравнением:

$$lg K_{пр} = -9.96 * K_n - 0.59, \quad R = 0.74 \quad (2)$$

По существующим критериям, по которым граничное значение проницаемости K составляет порядка 0,1-1 мД, так называемые «вмещающие» породы должны быть отнесены к коллекторам. Однако при измерениях эффективной проницаемости ($K_{пр.эф.}$) на влажных образцах в присутствии остаточной воды с учётом пластовых условий вмещающие породы сеномана оказались практически неколлекторами с $K_{пр.эф.} < 1-0,1$ мД, что обусловлено присутствием в глинистой составляющей этих пород набухающих минералов смектит-монтмориллонитового состава. Эффективная проницаемость с K_n связана следующим уравнением:

$$lg K_{пр.эф.} = 17.686 * K_n - 3.47 \quad (3)$$

Коэффициенты остаточной водонасыщенности ($K_{во}$) оценивались по данным капилляриметрии и методом ядерно-магнитного резонанса, по результатам которых установлены зависимости

$K_{во} = f(K_n)$, $K_{во} = f(K_{пр})$, $K_{во} = f(K_{пр.эф.})$. Остаточная водонасыщенность в целом по данным керн меняется от 5 до 85 % при среднем значении – 39,6 %; в коллекторах – от 8 до 40 % в зависимости от содержания алевритовой фракции в породе и присутствия смектит-монтмориллонитовой группы минералов в глинистом цементе. Достаточно тесные связи наблюдаются между остаточной водонасыщенностью и проницаемостью (особенно с $K_{пр.эф.}$) в коллекторах, менее тесные во вмещающих породах. Параметр $K_{во}$ в коллекторах связан с K_n , $K_{пр}$, $K_{пр.эф.}$ следующими уравнениями:

$$K_{во} = (2,119 * K_n^{2,541} + 0,948)^{-19,57} \quad (4)$$

$$K_{во} = 0,460 * lg K_{пр} + 1,452 \quad (5)$$

$$lg(K_{во}) = (-267759 * K_{пр.эф.}^{0,203} + 1.288e + 0.6)^{0,114} - 5.076 \quad (6)$$

Результаты исследования позволили рекомендовать методы ГИС для дальнейшего определения подсчетных параметров коллекторов, установлены граничные значения открытой пористости и проницаемости.

Список публикаций:

[1] «Методическое руководство по подсчёту запасов газа месторождений континентального шельфа по данным морских сейсморазведочных работ и минимизации бурения скважин (на примере сеноманской залежи Северо-Каменномысского месторождения Обской губы Карского моря)»,

Пространственно-временное распределение основных радиолокационных характеристик одноячейковых грозо-градовых облаков Северного Кавказа

Аппаева Жанна Юсуповна

Высокогорный геофизический институт

conkordya@mail.ru

На территории Северного Кавказа одноячейковые процессы наблюдаются в 10—15% случаев образования всех градовых процессов. Это связано со специфическими условиями их образования, не характерными для других типов градовых процессов. Одноячейковые градовые облака развиваются в дни со слабым ветром и с малыми вертикальными его сдвигами в малоградиентных полях пониженного и повышенного давления. Как правило, они осесимметричны и малоподвижны или перемещаются, подчиняясь орографии. Одноячейковые градовые процессы возникают беспорядочно за счет внутримассового развития и сопровождаются выпадением слабого града в виде отдельных пятен. [1], [5], [7], [8].

Цель работы — изучение пространственно-временного распределения основных радиолокационных характеристик одноячейковых грозо-градовых облаков по данным радиолокационных наблюдений на территории Северного Кавказа.

По результатам радиолокационных исследований грозо-градовых процессов, наблюдавшихся на территории Северного Кавказа в летние сезоны 2011—2016 годов, с использованием автоматизированной системы выделены 64 конвективные ячейки (КЯ) в радиусе 100 км обзора локатора, по типу соответствующие только одноячейковым градовым процессам в данном регионе. Другие типы градовых процессов (многоячейковые упорядоченные и неупорядоченные, суперячейковые и др.) не рассматривались. Автоматизированная радиолокационная система «АСУ-МРЛ» обеспечивает трехмерный обзор пространства с периодичностью 3-3,5 мин, аналого-цифровое преобразование, осреднение и ввод радиолокационных сигналов в компьютер по 360 дискретным значениям азимута и 400 ячейкам дальности протяженностью 0,5 км. В ней программно реализовано построение карт: опасных явлений погоды, максимальной отражаемости, максимального размера града, кинетической энергии (площади выпадения града), горизонтальных сечений радиоэха (облака) на любой заданной высоте (от 0 до 16 км) с шагом 0,5 км, и вертикальных сечений радиоэха (облака) в любом заданном направлении.

Анализ каждого грозо-градового процесса начинался с просмотра карт опасных явлений погоды в данном регионе. Затем выбирались отдельные конвективные ячейки и строились вертикальные сечения через градовый очаг, в момент максимального развития облака, в любом заданном направлении, позволяющие провести анализ высоты зарождения града и времени градообразования, а также пространственно-временное распределение основных радиолокационных характеристик кучевых облаков:

- скоростей и направлений перемещения одноячейковых градовых облаков;
- расстояний перемещения КЯ;
- времени жизни градовых ячеек;
- времени достижения КЯ градового состояния;
- высоты верхней границы одноячейковых градовых облаков в период максимального развития;
- площади выпадения града.

Полученная информация заносилась в соответствующие таблицы базы данных [4]. Анализ обширного экспериментального материала позволил выявить некоторые закономерности движения и развития одноячейковых градовых процессов в регионе.

В настоящей работе сделана попытка дальнейшего развития эмпирической модели конвективных облаков различных типов, наблюдаемых на Северном Кавказе [1], [2], [3], [6]. Полученные в работе результаты отражают характер природной изменчивости формирования и развития отдельных градовых ячеек, определяют области вариации их основных характеристик. Представленные закономерности могут быть использованы в оперативной работе по засеву градовых облаков, при разработке методов сверхсрочного прогноза градовой активности, а также при сопоставительном анализе результатов численного моделирования градовых облаков с данными экспериментальных исследований.

Статистические параметры грозо-градовых облаков, полученные по радиолокационным данным, представлены в таблице:

Параметры облака (ячейки)	Среднее	Стандартное отклонение	Интервал	Вероятность попадания в интервал, %
Скорость перемещения, км/ч	12,1	6,5	2—18	84
Направление перемещения, градусы	185	94,7	149—360	66
Расстояние перемещения, км	9,8	6,7	3—15	86
Время жизни, мин	45	12,3	30—60	83
Время достижения градового состояния, мин	17	7	7—28	94
Высота верхней границы при максимальном развитии, км	9,1	1,7	7,0—11,4	83
Площадь выпадения града, км ²	9,9	14,6	1—34	92

Список публикаций:

- [1] Абишев М. Т. // Труды ВГИ. 1984. Вып. 53. С. 6—22.
 [2] Аппаева Ж. Ю., Чередник Е. А. // Сборник научных трудов третьей международной научной конференции с элементами научной школы. Ставрополь: ВГИ. 2018. С. 35—39.
 [3] Инюхин В. С., Малкаров А. С., Чередник Е. А. // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик: ООО «Печатный двор». 2013. С. 199—207.
 [4] Инюхин В. С. // Труды ВГИ. 2014. Вып. 99. С. 52—60.
 [5] Руководство по краткосрочным прогнозам погоды // Л.: Гидрометеиздат. 1987. Ч. 2. Вып. 1. 297 с.
 [6] Салуквадзе Т. Г., Хелая Э. И., Балавадзе А. Ш., Киладзе Р. И. // Труды Института геофизики им. И. Нодия. Т. LX. 2008. С. 242—246.
 [7] Федченко Л. М., Гораль Г. Г., Беленцова В. А., Мальбахова Н. М. // М.: Гидрометеиздат. 1991. 424 с.
 [8] Marwitz J. D. // J. Appl. Met. 1972. V. 11. Parts I—III. P. 166—201.

Исследование зависимости гидродинамической связности коллекторов от песчанности и характеристик геологической модели

Байгузин Рафаэль Венерович

Башкирский государственный университет

Коновалова Светлана Ильдусовна, к.ф.-м.н.

raffbayy@gmail.com

В наше время геолого-гидродинамическая модель помогает в осуществлении множества задач: от оценки запасов месторождения до получения вероятных сценариев распределения свойств в межскважинном пространстве. Неопределенность параметров модели обычно является одним из главных факторов в выборе оптимальной стратегии управления разработкой месторождения. Среди факторов, влияющих на объем коллекторов, можно выделить геологические и стратиграфические: общий объем породы, песчанность, пористость, водонасыщенность, выдержанность пласта, распределение проницаемости в пространстве, связность.

Нами была рассмотрена связность коллекторов на основе геологической модели участка пласта. Этот параметр напрямую влияет на разработку месторождений, его важно учитывать при разработке месторождений, например, при контроле за обводненностью при работе нагнетательных скважин. Вопросы связности особенно актуальны, когда речь идет о таких малоразбуренных территориях, как, например, шельфовые месторождения, где существуют экономические ограничения.

В зарубежной литературе различают связность геологических тел (песчаных тел), которая относится к наличию связей (протоков) между отдельными элементами месторождения и может быть определена как

процент соединенных между собой коллекторов от общего количества коллекторов, и связность месторождений, которая является свойством не только пласта, но и скважин. Она определяется как процент коллекторов, связанных со скважинами от общего их количества. Связность резервуара не влияет существенно на геологические запасы, но имеет важное значение для гидродинамического моделирования.

С точки зрения перколяции связность рассматривается как вероятность того, что две точки в пространстве принадлежат одному кластеру (геологическому телу). Теория перколяции — математическая теория, используемая в физике, химии и других областях для описания возникновения связанных структур в случайных средах (кластеров), состоящих из отдельных элементов. Перколяционные модели — эффективное средство для предсказания поведения связности. Порогом перколяции (порог протекания) в данном случае можно назвать момент появления такого состояния модели, при котором возникает одно большое геологическое тело, связывающее практически все элементы. Теория перколяции позволяет определить математическое выражение для поведения кривой связности вблизи порога перколяции:

$$P = \alpha(NTG - p_e)^\beta \quad (1)$$

где NTG — значение песчаности, p_e — порог перколяции, α , β — константы.

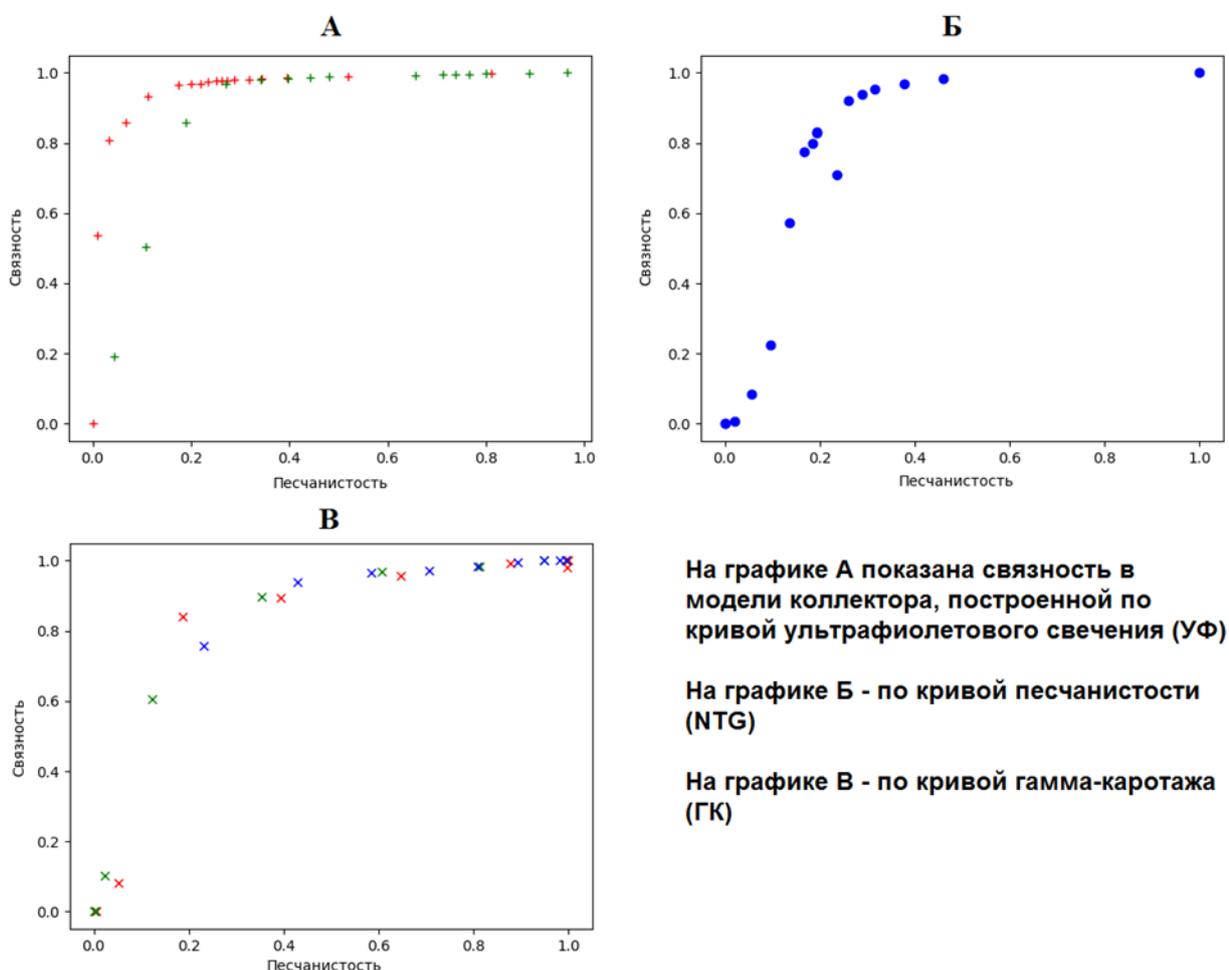


рис. 1. Кривые связности в трехмерных геологических моделях, построенных в Petrel. На каждом графике построено несколько кривых для разных участков месторождения (обозначены разным цветом).

В данной работе было рассмотрено поведение кривой связности в случае геологического моделирования в программном комплексе Petrel, используемом при разведке и разработке газонефтяных месторождений. Первым этапом было построение геологической модели на основе имеющихся данных по скважинам. По кривым ГИС и РИГИС (ГК, ультрафиолетовое свечение, кривая песчаности) были смоделированы участки, являющиеся коллектором. Затем с помощью параметра Connected volumes были выделены отдельные геологические песчаные тела, объем которых (количество элементов) зависит от значения песчаности. На основе полученных связанных объемов были построены графики для связности (рис. 1).

По ниже приведенным графикам можно сделать следующие выводы. Трехмерные геологические модели показывают результаты, схожие с двумерными моделями перколяции. Поведение связности схоже во всех выше приведенных случаях при моделировании кубов связанных объемов. Порог перколяции в трехмерных моделях ниже, чем в случае двумерного моделирования и колеблется в пределах от 0,05 до 0,20. Характерные значения параметров α , β , p_c из формулы 1 в нашем случае были найдены с использованием нелинейного метода наименьших квадратов и оказались следующего порядка: параметр «альфа» примерно равен 1, «бета» колеблется от 0,01 до 0,05, p_c (порог перколяции) – от 0,2 до 0,4.

Формы, полученных нами кривых, значения, в пределах которых они лежат, хорошо согласуются с теорией перколяции, что говорит о пригодности ее использования при моделировании месторождений. Полученные нами параметры, в особенности, порог перколяции, можно использовать как числовые характеристики месторождений, с помощью которых можно было бы определять связность коллекторов и, соответственно, давать оценку предполагаемым запасам и говорить о возможных способах разбурения месторождения.

Исследование роли аэрозолей в формировании вариаций электрического поля в приземном слое

Болдырева Виктория Александровна

Поповская Татьяна Сергеевна

Южный федеральный университет

Петрова Галина Григорьевна

georgpu@rambler.ru

Изучение влияния аэрозолей на вариации электрического поля является одной из главных задач в анализе данных, полученных в научных экспедициях лаборатории геофизических исследований Физического факультета ЮФУ. В работе представлены результаты летних экспедиций, проводимых совместно с Институтом физики атмосферы им.А.М.Обухова (ИФА РАН) на Цимлянкой научной станции (ЦНС) ИФА в зоне донских степей на юге России в августе 2014 - 2017 года и на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) ИФА, расположенной на высоте 2100 метров над уровнем моря, в августе 2018 года.

Известным в физике атмосферы методом радиоактивного коллектора были получены данные о вертикальном распределении электрического потенциала в слое до четырёх метров. Среднечасовые значения градиента потенциала для каждого слоя рассчитаны на основании разностей потенциалов между соответствующими уровнями и расстояний между ними. Градиент потенциала на уровне земли был измерен с помощью флюксметра «Поле-2» системы ГГО им. А.И.Воейкова. Регистрация концентрации аэрозолей производилась лазерным аэрозольным спектрометром ЛАС-П системы НИФХИ им. Л.Я.Карпова в шести 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. Забор воздуха осуществлялся на высоте 1 метр. Для анализа в этой работе использовались результаты 10-минутных и среднечасовых усреднений всех величин.

По результатам измерений в условиях засушливого лета в степной зоне юга России обнаружена тенденция к снижению поля вблизи поверхности земли при увеличении концентрации аэрозолей в атмосфере. Иллюстрацией могут служить эмпирические ряды регрессии градиента электрического потенциала атмосферы на уровне земли G_0 , (В/м) по значениям концентрации аэрозолей N (см^{-3}) для измерений в Цимлянске в августе 2017 года и рассчитанные по ним уравнения регрессии: $G_0 = 57 - 0,07N$ (диаметр частиц 0,1-0,2 мкм), $G_0 = 56 - 0,04N$ (диаметр частиц >0,1 мкм).

Анализ результатов наблюдений в Цимлянске позволяет заметить, что при неустойчивой стратификации в дневные жаркие часы с ветром вертикальный профиль поля наклоняется вправо и тем больше, чем выше содержание в атмосфере аэрозолей. Как видно на *рис. 1*, при более высоком содержании аэрозолей поле в целом ниже и уменьшается по мере приближения к земле значительней, чем в случае меньших концентраций аэрозоля. Наблюдаемое снижение поля по мере приближения к земной поверхности есть признак отрицательного объёмного заряда (при условии горизонтальной однородности площадки наблюдений). Объёмный заряд обусловлен, видимо, увеличением количества отрицательно заряженной пыли в атмосфере, поднимаемой ветровыми потоками с иссушенной земной поверхности: при усилении ветра до 10 м/с концентрация аэрозолей по данным 2017 года в Цимлянске возрастает вдвое.

По результатам измерений на КВНС ИФА в условиях высокой влажности и частого прохождения через площадку наблюдений облачных элементов на уровне земной поверхности, градиент потенциала при

увеличении концентрации аэрозолей обнаруживает тенденцию к росту значений. Это свидетельствует о преимущественно положительном объёмном заряде, связанном с аэрозольными частицами.

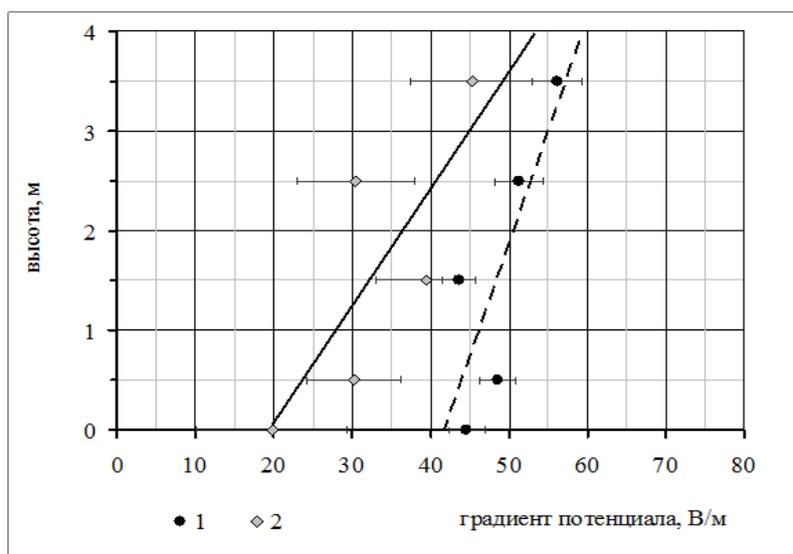


рис. 1. Вертикальное распределение градиента потенциала в Цимлянске в 2017, осреднённое для замеров с разной концентрацией аэрозолей (диаметр частиц $>0,1$ мкм): 1 – для периодов с концентрацией аэрозолей, не превышающей 200 см^{-3} , 2 – концентрация частиц более 500 см^{-3} . Планками показаны значения станд. ошибки.

Таким образом, вид вертикальных профилей электрического поля по результатам измерений градиента потенциала в приземном слое свидетельствует о присутствии слоёв объёмного заряда разных знаков в нижней атмосфере. Возможная интерпретация их появления основана на том, что объёмные заряды лёгких ионов вблизи земли адсорбируются аэрозолями. Аккумуляция заряда на аэрозолях способствует длительному присутствию в приземной атмосфере заряженных слоёв, влияющих на пространственное распределение электрического поля и его величину. Возможная интерпретация различий, наблюдающихся в разных пунктах наблюдений, может быть основана на экспериментальных данных, полученных в адиабатической камере [1]: Смирнов обнаружил, что на гигроскопических ядрах могут накапливаться объёмные заряды порядка и более 10^3 элементарных зарядов в см^3 . 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 (поваренная соль и др.) – положительные (продукты конденсации влаги на высокогорном плато Шаджатмаз).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 17-05-41121 РГО А.

Список публикаций:

[1] Смирнов В.В. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 3. С. 321-331

Метод борьбы с аномальным радиоэхом, при радиолокационных наблюдениях за облаками

Гергоков Ахмат Хисаевич

Высокогорный геофизический институт

Ahmat-0007@mail.ru

В настоящее время существует множество разнообразных автоматизированных радиолокационных метеорологических комплексов (АМРК) «Метеоячейка», «АКСОПРИ», «АСУ-МРЛ», «Мерком», «Титан». Все они предусматривают вычитание радиоэха местных предметов с тем, чтобы на дисплее отображалось лишь радиоэхо облаков и осадков.

Однако иногда в практике радиолокационных наблюдений наблюдаются ситуации, когда в безоблачные ночи (особенно в теплый период года) за счет радиационного выхолаживания земной поверхности формируется приземный слой инверсии температуры и влажности воздуха, приводящий к аномальной положительной рефракции радиоволн. При этом все перечисленные радиолокационные комплексы, обнаруживают радиоэхо местных предметов (неоднородности рельефа, возвышенности, здания и сооружения), расположенных ниже

уровня стандартного радиогоризонта. В некоторых ситуациях во второй половине ночи и утром (до 12⁰⁰ местного времени) формируются условия для положительной суперрефракции радиоволн, когда аномальное радиоэхо может иметь большую мощность, расцениваться как радиоэхо облаков, сильных ливневых осадков, гроз, града и является источником помех и ложных тревог [1].

В настоящее время существуют методы фильтрации аномального радиоэха предусматривающие запись в АМРК набора файлов местных предметов при разных условиях рефракции и последующий субъективный выбор из них подходящего для данной ситуации файла для вычитания. Однако такой подход не оперативен в применении и лишает возможности полной автоматизации радиолокационных наблюдений и подготовки сообщений в сеть штормооповещения, так как места возникновения и мощность аномальных радиоэха может меняться в зависимости от метеорологической обстановки [2].

Проблема фильтрации аномального радиоэха актуальна для всех типов метеорологических радиолокаторов, включая доплеровские, о чем говорит опыт эксплуатации сети доплеровской радиолокации в США, Германии и других странах [3].

Целью настоящей работы являлась разработка метода, алгоритмов и программ фильтрации аномального радиоэха. С этой целью были проведены:

- анализ частоты аномального радиоэха на Северном Кавказе и метеорологических условий их формирования;
- полевые радиолокационные исследования времени формирования, суточного хода интенсивности и источников (объектов орографии) аномального радиоэха в горных и равнинных и районах Северного Кавказа;
- рассчитан временной ход показателя преломления и температуры в дни с аномальной рефракцией по данным локатора Ставропольской ВС
- разработка метода, алгоритмов и программ автоматической фильтрации аномального радиоэха в рамках программного обеспечения АМРК «АСУ-МРЛ»;
- испытания и опытное внедрение метода автоматизированной фильтрации аномального радиоэха в практику ПГЗ, штормооповещения и обеспечения безопасности полетов авиации.

Для автоматической фильтрации аномального радиоэха, которое может появляться в разных секторах и удаленностях, в АМРК «АСУ-МРЛ» предусмотрено три режима:

«Мягкая фильтрация», которая отсекает все приземные радиоэхо в слое H_C , если выше этого слоя (т.е. в слое облакообразования) нет радиоэхо с радиолокационной отражаемостью $Z > 5$ dBZ, где H_C зависит от сезона года:

$$\Rightarrow H_C = H_{\text{МРЛ}} + 1,5 \text{ км при } H_0 < 0,5 \text{ км (в зимний период);}$$

$$\Rightarrow H_C = H_{\text{МРЛ}} + 2 \text{ км при } 0,5 \leq H_0 \leq 2,5 \text{ км (в переходный период);}$$

$$\Rightarrow H_C = H_{\text{МРЛ}} + 3 \text{ км при } H_0 > 2,5 \text{ км (в летний период).}$$

«Средняя фильтрация», которая отсекает все области радиоэха, если при угле обзора выше 1 градуса, не обнаруживается радиоэхо с $Z > 5$ dBZ. Эту фильтрацию можно ужесточить при повышенной рефракции, взяв вместо 1, 2 или 3 градуса;

«Жесткая фильтрация», которая применима в условиях формирования атмосферных волноводов с суперрефракцией. При этом отсекаются области радиоэха, в которых значения Z максимальны у земли и быстро уменьшаются с высотой.

Предусмотрена опция установки временных рамок действия фильтрации: по местному времени (для применения в практике ПГЗ) или по Гринвичу (для применения в практике штормооповещения).

Опыт применения метода на практике ПГЗ (в Ставропольском крае, Армении, Украине, Молдавии, Таджикистане, Македонии, Сербии), а также в практике штормооповещения (в Международных аэропортах «Гумрак», г. Волгоград и «Звартноц», г. Ереван) показал, что для исключения «аномального радиоэха» в подавляющем большинстве случаев, достаточно включить «Мягкую фильтрацию». Реже необходимо дополнительно включить «Среднюю фильтрацию» при угле 1 или 2 градуса и еще реже «Жесткую».

Применение автоматической системы фильтрации аномального радиоэха повышает удобство радиолокационных наблюдений и надежность штормооповещения за счет исключения ложных тревог.

Список публикаций:

[1] Влияние рефракции на сопоставление наземных и радиолокационных данных. Жарашуев М.В., Гергоков А.Х.

В сборнике: УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ: ПРОБЛЕМЫ, КОНЦЕПЦИИ, МОДЕЛИ. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию председателя ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», доктора технических наук, профессора П.М. Иванова. 2017. С. 137

[2] Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Малкарова А.М., Барекова М.В. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. Нальчик. 2014. С. 234.

[3] Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 512.

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

Купинская Анна Игоревна

Сидоров Алексей Владимирович

Южный федеральный университет

Петрова Галина Григорьевна

georgpu@rambler.ru

Электрические процессы в приземном слое атмосферы характеризуются большой динамичностью и пространственной изменчивостью, обусловленной действием множества факторов, связанных, прежде всего, с близостью земной поверхности. Подстилающая поверхность оказывает значительное влияние на прилегающий к ней слой атмосферы, являясь для него источником примесей, определяя его терморегим и, следовательно, условия устойчивости и вертикального перемешивания. Радиоактивное эманирование почвы, в значительной мере определяющее параметры электрического поля вблизи земной поверхности, является главным источником ионизации приземной атмосферы.

Актуальность исследования электропроводности приземной атмосферы связана с решением фундаментальных задач атмосферного электричества (проблемы глобальной электрической цепи), с задачами прикладного характера (качество радиосвязи, медицинские и биологические проблемы), с проблемами сохранения окружающей среды (загрязнение атмосферы как аэрозолями, так и радионуклидами).

В работе продолжены исследования природного проявления активности радионуклидов, влияющих на характеристики ионизации атмосферы. Проанализированы результаты атмосферно-электрических измерений лаборатории геофизических исследований Физического факультета Южного федерального университета (ЮФУ) в августе 2018г. в период совместной экспедиции с Институтом физики атмосферы им. А.М.Обухова (ИФА РАН) на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) ИФА, а также ряда экспедиций ЮФУ предыдущих лет. Экспедиционный эксперимент включает градиентные измерения комплекса электрических, радиологических и метеорологических параметров нижнего 3-метрового слоя атмосферы и верхнего слоя почвы. Измерения выполнялись традиционными методами и хорошо известными в физике атмосферы приборами. Полярные удельные электропроводности атмосферы измерялись датчиком Гердиена системы Литвинова, работающим по методу разряда. Объёмная активность радона-222 в атмосферном воздухе измерялась радон-монитором «AlphaGUARD PQ2000 PRO», который последовательно помещался на 5 уровнях измерительной мачты от 5 см до 2м. Измерение обеих характеристик производилось в течение 10 минут. Объёмная активность ^{222}Rn в почвенном газе на глубине 10, 60 и 90 см определялась с использованием внешних устройств: датчика почвенного газа «AlphaGUARD Soil GasUnit» и электронного насоса «AlphaPUMP». Метеорологические параметры измерялись также традиционными методами ежедневно.

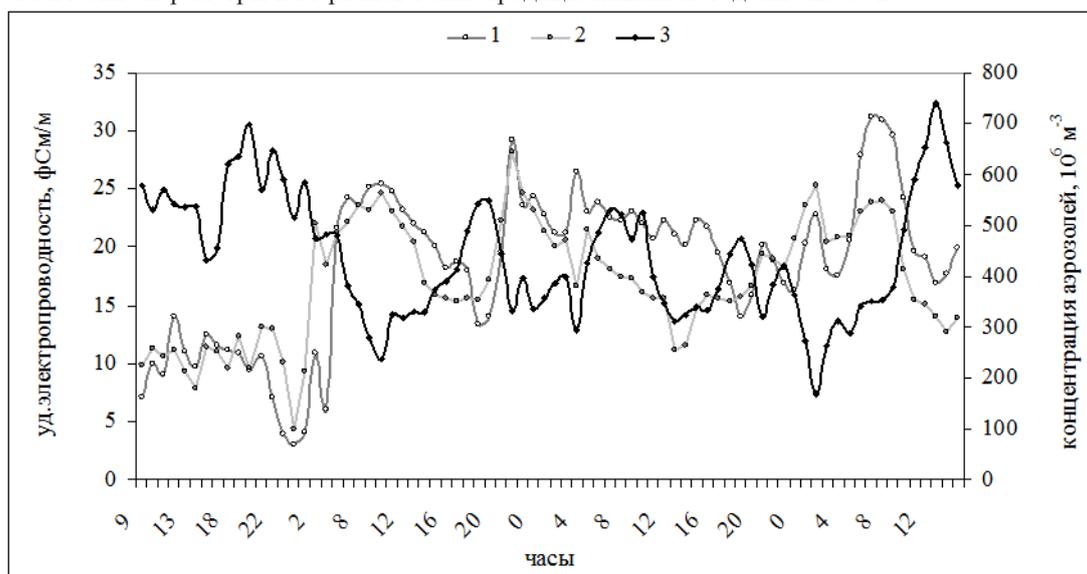


рис. 1. Вариации отрицательной (1) и положительной (2) удельных электропроводностей атмосферы и концентрации аэрозолей (3) на высоте 1 метр в период 13-16 августа 2018 года (КВНС ИФА, плато Шаджатмаз, 2100 м)

Объёмная активность радона-222 в почвенном газе на глубине 0,6 м составила $25,4 \text{ кБк/м}^3$. Для сравнения в Цимлянске в 2017 году эта величина равнялась $13,5 \text{ кБк/м}^3$. Оценка плотности потока радона-222

из почвы в атмосферу для КВНС дала 14,3 мБк/м²с, для Цимлянска соответственно 21,2 мБк/м²с. Сравнительно низкий по сравнению с Цимлянском поток радона из почвы на высокогорном плато обусловлен, по-видимому, очень влажной почвой в период измерений после сильных дождей, что снизило газопроницаемость грунта и затрудняло выход эманаций в атмосферу. В итоге содержание радона-222 в атмосфере во время экспедиции на КВНС было крайне низким и составило на высоте 1 метр в среднем 11 Бк/м³ со стандартным отклонением 6 Бк/м³.

Возможно, поэтому полярные электропроводности оказались в среднем невысокими: отрицательная 14,6 и положительная 16,8 фСм/м, - и аналогичны значениям этих величин для Цимлянской станции [1]. Из-за пониженного по сравнению с равниной давления на высокогорном плато подвижности ионов по оценкам оказались в 1,5 раза выше, чем в Цимлянске. Оценки выполнены для обеих станций ИФА на основании одновременных измерений полярных электропроводностей атмосферы и концентрации лёгких атмосферных ионов. Таким образом, концентрация лёгких ионов, которая характеризует интенсивность процессов ионообразования в атмосфере, на КВНС в 1,5 раза ниже цимлянской. Это оказалось несколько неожиданным, поскольку интенсивность ионизации от космических лучей в горных условиях выше, чем на равнине. Ещё один фактор, влияющий на ионизационный режим атмосферы, это её аэрозольная компонента. На *рис.1* представлены вариации полярных электропроводностей атмосферы и концентрации аэрозолей в период измерений на высокогорном плато в августе 2018 года. Как можно заметить, повышение содержания аэрозолей сопровождается уменьшением полярных электропроводностей, что обусловлено снижением концентрации лёгких атмосферных ионов из-за их присоединения к аэрозолям. Коэффициенты корреляции полярных электропроводностей с концентрацией аэрозолей по данным, полученным на Шаджатмазе, оказались отрицательными и высокими: для аэрозолей разных размеров они находятся в интервале значений от -0,5 до -0,7.

Таким образом, получены новые данные о процессах ионизации атмосферы на КВНС ИФА и оценены важные факторы, определяющие ионизационный режим атмосферы в пункте наблюдений: объёмная активность радона-222 в воздухе, а также его поток из почвы в атмосферу, и содержание аэрозолей субмикронного и микронного диапазона размеров в приземной атмосфере. Низкое содержание радона в атмосфере сделало этот фактор малозначительным для ионизации приземного слоя. На этом фоне очень ярко проявилось влияние на ионизационный режим атмосферного аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 17-05-41121 РГО А.

Список публикаций:

[1] Купинская А.И., Болдырева В.А. // *Материалы ВНКСФ-23. Екатеринбург. 2017. С. 338-339*

Исследование элементного и минерального состава карстовых отложений Крымской пещеры Эмине-Баир-Хосар

Максимов Глеб Сергеевич

Науцацкий Игорь Анатольевич, Тимохина Елизавета Игоревна

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

neondreamer00@gmail.com

Карстующимися породами представлено порядка 84 % территории Крыма. Проблема их исследования весьма актуальна в связи с активным строительством дорог и жилья на полуострове, поиска воды. Изучение минерального и химического состава карстовых пещерных отложений позволяют выявить особенности термического и водного режимов процессов минерализации, что особенно актуально для Крыма, поскольку более 80 % запасов подземных вод сосредоточены в карстовых коллекторах. Современное научное оборудование позволяет обеспечить высокую точность и локальность такого рода исследований.

В работе было исследовано четыре образца карстовых образований из пещеры Эмине-Баир-Хосар и, для сравнения, три образца из кальцитовых жил, найденных в окрестностях этой пещеры. Пещера Эмине-Баир-Хосар находится на горном массиве Чатыр-Даг, расположенном посередине Главной гряды Горного Крыма. Карстующиеся породы на Чатыр-Даге представлены верхнеюрскими известняками кимеридж-лузитанского и титонского возраста (160-145 млн.лет), занимающими верхний структурный этаж (до глубин 250-1250 м) геологического разреза массива. Пещера Эмине-Баир-Хосар имеет протяженность 1630 м, глубину 125 м, объем 160,5 тыс. м³ и представляет собой разноуровневую систему ходов, разделенных между собой обвальными и

натечными отложениями на залы. В Эмине-Баир-Хосаре встречаются различные генетические типы пещерных отложений: остаточные, обвальные, органогенные, хемогенные и др.

Исследование элементного состава образцов проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на высокомоощном настольном волнодисперсионном рентгеновском флуоресцентном спектрометре последовательного действия Supermini200 (Rigaku), минеральный состав изучался методом рентгенофазового анализа с помощью современного дифрактометрического рентгеновского комплекса. Описание образцов и основные результаты элементного анализа представлены в табл.1.

Таблица 1. Описание и состав образцов.

Образец	Местонахождение образца	Пять основных элементов в составе образцов в порядке убывания, масс. %
№1. Фрагмент сталактита с полым питающим каналом	Зал Дублянского, п. Эмине-Баир-Хосар	Ca – 97.129; Si – 1.053; Al – 0.765; Mg – 0.480; Ti – 0.316
№2. Темноцветная корка	Образование на стенке зала Идолов, п. Эмине-Баир-Хосар	Ca – 84.711; Si – 4.620; Mn – 3.95; Fe – 2.963; Al – 2.604; K – 0.574
№3. Галька темно-бурого - черного цвета, замыта в глине	Зал Идолов п. Эмине-Баир-Хосар, ниша с глиной в нижней части зала (на пути к тоннелю)	Fe – 73.400; Mn – 8.630; Si – 7.290; Ca – 7.260; P – 2.030
№4. Кальцитовые «цветы»	Образования тёмного цвета (навесная дорожка) на стенке зала Идолов, п. Эмине-Баир-Хосар	Ca – 84.600; Mn – 6.380; Fe – 4.860; Si – 2.240; Ti – 0.716
№5. Полупрозрачный ромбоэдрический кальцит	Район п. Эмине-Баир-Хосар, фрагмент кальцитовой жилы	Ca – 97.600; Si – 0.998; Fe – 0.919; K – 0.239; P – 0.120
№6. Медовый кальцит	Район п. Эмине-Баир-Хосар, фрагмент кальцитовой жилы	Ca – 97.600; Fe – 1.760; Si – 0.309; Mn – 0.215; P – 0.0171
№7. Белый мелкокристаллический ромбоэдрический кальцит	Район п. Эмине-Баир-Хосар, фрагмент кальцитовой жилы	Ca – 98.100; Si – 0.726; Fe – 0.493; K – 0.132; P – 0.124

Установлено, что основной фазой всех исследованных образцов является кальцит (CaCO_3), за исключением гальки, замытой в глине, из нижней части зала Идолов. В этом образце содержится большое количество железа и его основными кристаллическими фазами являются когенит ($\text{FeO}(\text{OH})$) и кварц (SiO_2). Химический состав жильных кальцитов из окрестностей пещеры Эмине-Баир-Хосар соответствует классическому составу кальцитов. Различная окраска этих образцов обусловлена химическими примесями. Так, в составе «медового» кальцита представлен марганец, которого нет в двух других кальцитах (белом и прозрачном); большее содержание железа, нет хлора. В кальцитах из окрестностей пещеры нет, например, титана в отличие от образцов пещерных отложений, в состав которых он входит. Скорее всего, это обусловлено содержанием Ti в подземных водах, питающих исследованный карст.

Экспериментальные исследования вертикального атмосферно-электрического тока вблизи земной поверхности

Шевченко Анастасия Викторовна

Болдырева Виктория Александровна

Южный федеральный университет

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

georgpu@rambler.ru

Анализ данных экспедиционных наблюдений показывает, что в прилегающем к земле метровом слое атмосферы плотность тока проводимости значительно изменяется по высоте. В итоге, вблизи земли образуется объемный заряд легких ионов, пропорциональный вертикальной составляющей дивергенции тока проводимости. При появлении в атмосфере аэрозоля происходит адсорбция легких ионов аэрозольными частицами, в результате может появиться объемный заряд тяжелых ионов, имеющий значительную локальную плотность [1,2]. Наличие неравномерного распределения объемного заряда вблизи земной поверхности приводят к появлению диффузионной составляющей тока механического переноса в атмосфере и на границе атмосфера-земля, плотность которого изменяется под влиянием ряда факторов, определяющих аэрозольное и термодинамическое состояние приземной атмосферы. Такими факторами можно считать концентрацию

аэрозоля субмикронного диапазона и метеорологические параметры, определяющие интенсивность турбулентного перемешивания в приземной атмосфере.

С целью выяснения наиболее существенных физических параметров, влияющих на плотность тока механического переноса и оценки степени их влияния на перенос зарядов в атмосфере и из атмосферы на земную поверхность, были продолжены экспедиционные измерения атмосферно-электрических токов в комплексе с другими атмосферно-электрическими и метеорологическими характеристиками. Измерительный комплекс [3] в 2017 году пополнился лазерным счетчиком аэрозолей ЛАС-ПЮ,1, с помощью которого получены ежеминутные значения концентрации субмикронных аэрозолей в шести размерных диапазонах.

В настоящей работе обсуждаются результаты, полученные в августе 2017 года в Ростовской области на Цимлянкой научной станции Института физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН и в августе 2018 года на территории Кисловодской высокогорной научной станции ИФА (плато Шаджатмаз, высота над уровнем моря 2100 м). Следует отметить существенное различие метеорологических условий в этих пунктах измерений. Цимлянская научная станция находится в степном засушливом районе на юго-востоке Ростовской области, во время измерений было сухо, жарко и ветрено. На плато Шаджатмаз в течение всего периода измерений наблюдалась сравнительно низкая температура, высокая влажность воздуха, часто отмечались туманы. В таблице 1 приводятся среднестатистические характеристики метеорологических величин, ответственных за термодинамическое состояние приземного слоя атмосферы в пунктах наблюдений.

Таблица 1. Среднестатистические характеристики массивов метеопараметров за период измерений

Пункты наблюдений	Статистическая характеристика	Температура воздуха на высоте 2 м °С	Скорость ветра на высоте 2 м м/с	Градиент температуры °С/м		Влажность воздуха %	Коэффициент турбулентности м ² /с
				день	ночь		
Шаджатмаз 2018 62 часовых серии	Среднее значение	12,1	3,0	-0,10	0,19	76	0,12
	Станд. отклонение	3,1	1,9	0,16	0,21	15	0,07
Цимлянск 2017 37 часовых серий	Среднее значение	28,4	4,4	-0,24	0,34	35	0,16
	Станд. отклонение	5,1	1,7	0,34	0,31	14	0,08

Для выяснения достоверности влияния метеорологических характеристик и концентрации аэрозолей на перенос заряда под действием механических сил, а также оценки силы этого влияния применялся метод однофакторного дисперсионного анализа. Обнаружено, что в обоих пунктах наблюдений влияние концентрации аэрозолей на вариации плотности тока механического переноса оказалось достоверным с высоким уровнем значимости. Показатель силы влияния этого фактора, рассчитанный по методу Снедекора [4] в Цимлянске оказался равным 16%, на плато Шаджатмаз – 13%.

Рассчитаны ряды регрессии абсолютного значения плотности тока механического переноса по концентрации аэрозолей (рис.1). Полученные эмпирические зависимости аппроксимируются линейной функцией и показывают, что с ростом концентрации аэрозолей поток заряда под действием механических сил из атмосферы на земную поверхность увеличивается.

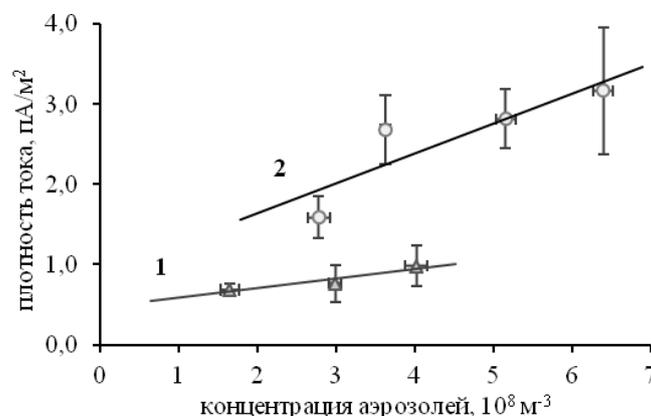


рис. 1. Ряды регрессии абсолютного значения плотности тока механического переноса по концентрации аэрозолей: 1 – Цимлянск, август 2017 г., 2 – Шаджатмаз, август 2018 г. (планками показаны значения стандартной погрешности)

Дисперсионный анализ показал, что для периода измерений в Цимлянске влияние метеофакторов на абсолютную величину плотности тока механического переноса можно считать достоверным. Критерий Фишера, рассчитанный по данным измерений на плато Шаджатмаз, оказался ниже табличного значения практически для всех метеопараметров, что указывает на низкую чувствительность механического переноса зарядов к метеоусловиям в данном пункте.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-41121 РГО_a.

Список публикаций:

- [1] Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Петров Н.А. // Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки, №3 2010 г, стр. 47-52
 [2] Петрова Г.Г., Петров А.И., Панчишкина И.Н. // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 11-12. С. 803-819.
 [3] Критский Д.А.//Материалы XXIV Всероссийской научной конференции студентов-физиков (ВНКСФ-24).2018.-С.396-397
 [4] Лакин Г.Ф. // «Высшая школа», М.,1990, 350 с.

Моделирование теплообмена при промывке скважины

Шпар Алексей Сергеевич

Башкирский государственный университет

Рамазанов А.Ш., д.т.н.

alekseyshpar@gmail.ru

В ряде ситуаций на практике необходимо применение такой процедуры, как промывка скважины – циркуляция (непрерывная или периодическая) промывочного агрегата (газа, воды или бурового раствора). В частности, использование промывки уместно для удаления газогидратной пробки путем нагрева поступающим в скважину буровым раствором; прогрев ствола скважины для предотвращения выпадения парафинов; охлаждение геофизических приборов. Чтобы использовать этот метод наиболее эффективно необходимо знать, каким образом происходит теплообмен в скважине.

Цель моей работы – исследовать теплообмен в скважине при прямой и обратной промывке для разных режимов (рис.1).

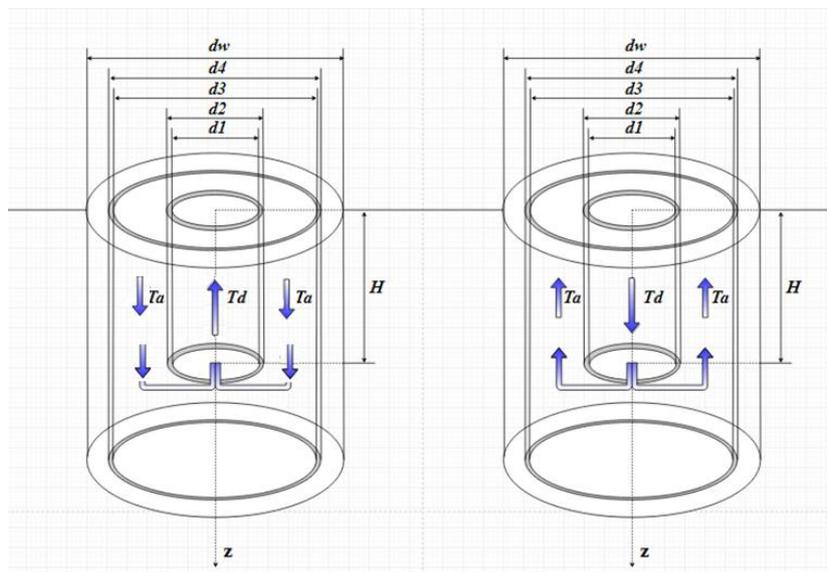


рис.1 Режимы промывки. Прямая (справа) и обратная (слева)

Создана модель, позволяющая теоретически исследовать теплообмен между двумя встречными движущимися потоками и окружающей средой [1]. Математически данная модель задаётся при помощи системы дифференциальных уравнений.

$$c_m G \frac{dT_d}{dz} = h_t (T_a - T_d) \quad (1)$$

$$-c_m G \frac{dT_a}{dz} = -h_t (T_a - T_d) + h_a (T_f - T_a) \quad (2)$$

Где c_m – теплоёмкость рабочей жидкости, G – массовый расход бурового раствора, h_a – коэффициент теплообмена между потоком в затрубном пространстве и породой, h_t – коэффициент теплообмена между двумя встречными потоками в НКТ и в затрубном пространстве, T_d – температура рабочей жидкости в НКТ, T_a – температура рабочей жидкости в затрубном пространстве, T_f – температура пород.

Проанализировано влияние продолжительности промывки. Время промывки учтено в формулах нахождения коэффициентов теплообмена h_a и h_t опираясь на [2].

Общие допущения для модели – уравнения теплопереноса записано для средней по сечению температуры жидкости, в силу турбулентного течения рабочей жидкости в НКТ и затрубном пространстве; в потоке рабочей жидкости по вертикали учитывается только конвективный теплоперенос и не учитывается кондуктивный теплоперенос вследствие большой скорости течения жидкости [3].

Для модели было получено аналитическое решение:

$$T_d(z) = C_1 e^{\lambda_1 z} + C_2 e^{\lambda_2 z} + T_0 + \Gamma z - ВГ \quad (3)$$

$$T_a(z) = В\lambda_1 C_1 e^{\lambda_1 z} + В\lambda_2 C_2 e^{\lambda_2 z} + ВГ + T_d(z) \quad (4)$$

Где λ_1 и λ_2 – корни характеристического уравнения, C_1 и C_2 – константы, которые находятся при учёте граничных условий:

$$T_d|_{z=0} = T_{d0} \quad (5)$$

$$T_d|_{z=H} = T_a|_{z=H} \quad (6)$$

$$T_f = T_0 + \Gamma z \quad (7)$$

Где z – глубина, T_{d0} – температура рабочей жидкости на глубине $z=0$, T_0 – температура нейтрального слоя, Γ – геотермический градиент.

На основе решения была создана программа (калькулятор), позволяющая до начала промывки рассчитать её влияние на скважину и окружающую породу. Данная программа может быть использована при выборе режима промывки скважины для решения поставленных задач.

Функционал программы (калькулятора) позволяет на данным полученными от пользователя программы - параметры скважины и НКТ (геометрические и теплопроводные), параметры рабочей жидкости (плотность, теплопроводность, динамическая вязкость и др.), параметрам породы (полученными в ходе ГТИ) – получить конечные числовые значения температуры рабочей жидкости в НКТ и затрубном пространстве в каждой конкретной точке от устья скважины до максимальной глубины спуска НКТ. Данные предоставляются в виде таблицы распределения температур от глубины (шаг глубины, с которым будут предоставляться значения температур выбирается пользователем). На основе полученных данных строится график, визуализирующий изменения температуры рабочей жидкости на заданной глубине исследований.

Список публикаций:

[1] Рамазанов А.Ш., Акчурип Р.З. // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. № 2. – 269-273 с.

[2] Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи – М.: Энергия, 1977 – 344 с.

[3] Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. – М.: Недра, 1965. – 238 с.

15 - Радиофизика

Безверхняя Екатерина Ивановна, 4 курс

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 стр. 348

Винник Дмитрий Сергеевич, магистрант 2 года обучения

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Коммутатор питания магнитных элементов канала транспортировки пучка из Бустера в Нуклотрон ускорительного комплекса NICA

Беликов Олег Витальевич, к.т.н.

e-mail: d.s.vinnik@inp.nsk.su стр. 349

Голицын Александр Андреевич, преподаватель / н.с.

Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет/ИФПМ СО РАН

Построение тепловизионных приборов

e-mail: aag-09@yandex.ru стр. 350

Донсков Альберт Владимирович, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Вариации максимальной наблюдаемой частоты на КВ трассе Inskip- Rome

Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.

e-mail: donskov.97@mail.ru стр. 351

Звягин Владимир Сергеевич, магистрант 1 года обучения

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Разработка полосового фильтра СВЧ диапазона на основе микрополосковых резонаторов с увеличенным подавлением в дальней зоне

Зеленчук Павел Анатольевич,

e-mail: vzyugin11@gmail.com стр. 353

Кузьмин Евгений Валентинович, аспирант

Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, отд. электроники

Сравнение методик измерения диаграмм направленности антенн для устройства сбора энергии

Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.

e-mail: 7777744444@mail.ru стр. 354

Кутлубаев Ильшат Салаватович, магистрант 2 года обучения

Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт

Визуализация единичных молекул асфальтенов

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

e-mail: k.ilshat.95@gmail.com стр. 356

Мельник Антон Сергеевич, 3 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Компьютерное моделирование и электродинамический анализ полосно-пропускающего фильтра на U-образных резонансных диафрагмах

Крутиев Сергей Владимирович,

e-mail: antonmelnik@gmail.com стр. 357

Соловьев Богдан Данилович, магистрант 1 года обучения

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

Расчеты функции ослабления и напряженности поля в акватории моря Лаптевых

Мельчинов Виктор Петрович, к.ф.-м.н.

e-mail: Solovevbogdan@gmail.com стр. 359

Цапик Дмитрий Константинович, магистрант 2 года обучения

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

Полосковый измеритель электрофизических параметров фуллереносодержащих материалов

Полетаев Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н.

e-mail: ts-dm@yandex.ru стр. 360

Температурная зависимость диэлектрических свойств почв Васюганских болот

Безверхняя Екатерина Ивановна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

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

bezverhnyaya.ekaterina@mail.ru

Тема исследования поверхности Земли в арктической зоне вызывает большой интерес, потому что там происходят процессы, которые оказывают сильное влияние на климат планеты. Наиболее важный из них – это таяние вечной мерзлоты, приводящий к эмиссии углеводородных газов в атмосферу. Наблюдать за этими процессами можно по температуре почв, которые в этом регионе относятся к классу арктических и торфяников. В надежде повысить площадь анализируемой поверхности Земли можно наблюдать с помощью беспилотных аппаратов и спутников. Для того, чтобы это увеличить точность интерпретации данных дистанционного зондирования, необходимо знать зависимость диэлектрической проницаемости (ДП) почв и растительного покрова от частоты, влажности, температуры и других влияющих факторов. Данная работа связана с лабораторными исследованиями образцов, взятых на Васюганских болотах во время экспедиции на научно-исследовательскую базу ТГУ в Центральной части Западной Сибири, близ поселка Ханымей.

В работе применен метод измерения в коаксиальной измерительной ячейке, которая с помощью фазостабильных кабелей подключается к двум портам векторного анализатора цепей PNA E8363B, после чего измеряются комплексные параметры матрицы рассеяния. Блок-схема установки приведена на рисунке 1.

Измерительная ячейка, подсоединенная к коаксиальной измерительной линии, помещается в камеру тепла-холода ТХК80 фирмы TESTA. Температурные измерения проводятся в диапазоне от +40 до – 30 градусов Цельсия.

Для того чтобы исследовать наши образцы мы используем модель среды по Л.М. Бреховских. Прохождение волны через слой, который мы будем предполагать непоглощающим, скорость распространения волн будет больше, чем в среде, из которой падает волна. Если бы слой был бесконечно толстым, то при углах падения, превышающих критический, в нем происходило бы полное внутреннее отражение. Однако в случае слоя конечной толщины полного отражения происходить не будет, а будет иметь место частичное проникновение через слой. Такая модель поведения изображена на рисунке 2.

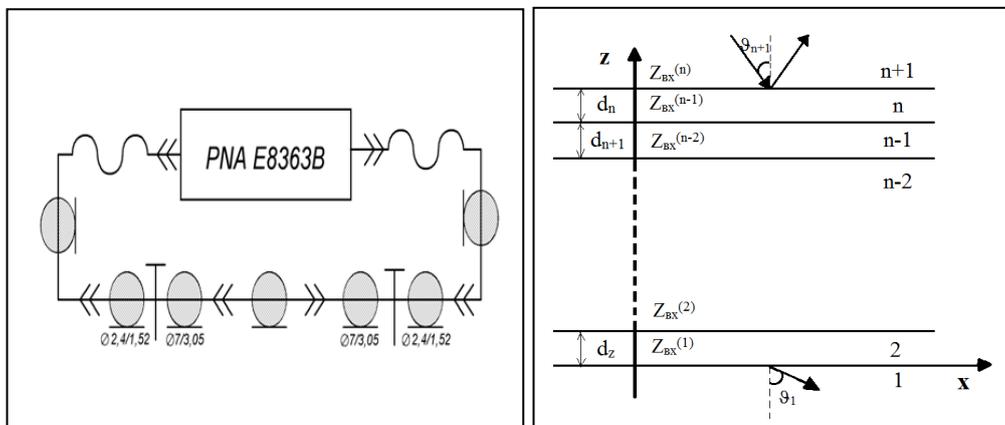


рис.1. Блок-схема измерения диэлектрических свойств материалов в коаксиальной ячейке
рис.2. Модель слоистой среды. Коэффициент отражения и прозрачности системы слоев[2]

Характеристики, которые мы получаем при прохождении электромагнитной волны, называются S-параметрами и содержат в себе АЧХ и ФЧХ тестируемого устройства. Характеристика передачи S_{12} рассчитывается по формуле 1:

$$\frac{1}{S_{12}} = \prod_{i=0}^{i=3} \frac{Z_i + Z_{ex(i+1)}}{Z_{(i+1)} + Z_{ex(i+1)}} e^{-jk_i d_i}, \quad (1)$$

где комплексный входной импеданс структуры $Z_{вх1}$ и импедансы $Z_{вх2}$ и $Z_{вх3}$ вычисляются по аналогичной формуле 2:

$$Z_{exi} = \frac{Z_{ex(i+1)} + Z_i th(jk_i d_i)}{Z_i + Z_{ex(i+1)} th(jk_i d_i)} Z_i, \quad (2)$$

в которых индекс слоя $i = 2, 3$, $Z_{вх4} = Z_4 = Z_0$, $Z_i = Z_0 / \sqrt{\epsilon_i}$ (Z_0 – волновое сопротивление линии); j – мнимая единица; $k_i = k_0 \sqrt{\epsilon_i}$ – комплексное волновое число i -го слоя, где $\epsilon_i = \epsilon' - j\epsilon''$ комплексная диэлектрическая проницаемость i -го слоя, $k_0 = 2\pi f / c$ – волновое число в вакууме (c – скорость света); d_i – толщина i -го слоя; $Z_i = Z_0 / \sqrt{\epsilon_i}$.

На температурной зависимости диэлектрической проницаемости торфа, изображенной на рисунке 3, явно видна область фазового перехода. Данная область относится к температуре ниже нуля, что естественно для почв. Вода, которая в ней содержится, находится в связанном состоянии, поэтому она не сразу переходит в лед, в отличие от воды, находящейся в чистом виде и замерзающей при нуле градусах Цельсия. Также можно наблюдать гистерезис. С понижением температуры мнимая часть возрастала, затем резко понизила свои значения. Объяснить это можно тем, что при замерзании образцов, поглощательные свойства уменьшились. Действительная часть диэлектрической проницаемости, с понижением температуры не менялась, а при температуре замерзания почвы, повысила свои значения по той же причине.

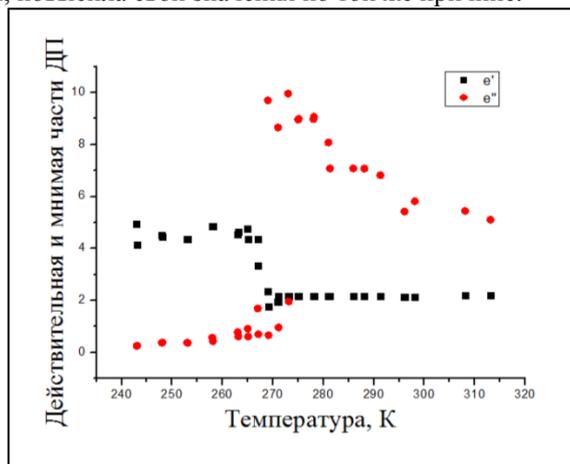


рис.3. Зависимость комплексной диэлектрической проницаемости торфа от температуры

Список публикаций:

- [1] Неприн С.В. Физика почв / С.В. Неприн, А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1967. 584 с.
- [2] Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1973. 343 с.
- [3] Брандт А.А. Иссл-ие диэлектриков на сверхвысоких частотах / А.А. Брандт. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. 406 с.
- [4] Милкин С.С. Об автоматизации экспериментальных исследований взаимодействия электромагнитных волн с гетерогенными жидкими средами на сверхвысоких частотах / С.С. Милкин, А.В. Стародубов, С.Б. Вениг // Журнал технической физики. 2014. Т. 84, Вып. 1. С.1-6.

Коммутатор питания магнитных элементов канала транспортировки пучка из Бустера в Нуклотрон ускорительного комплекса NICA

Винник Дмитрий Сергеевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Беликов Олег Витальевич, к.т.н.

d.s.vinnik@inp.nsk.su

В рамках мегасайенс-проекта «Комплекс NICA» [1] Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск) разрабатывает систему питания магнитных элементов для перевода пучка заряженных частиц из Бустера в Нуклотрон.

Импульсное питание системы из магнитных элементов базируется на релаксационном разряде емкостного накопителя источников питания в магниты. Предложен проект коммутатора разряда накопителя в магнит с возвратом накопленной в нём энергии. Для увеличения срока эксплуатации накопителя используется мостовая схема включения на тиристорах, управляемых двухканальными драйверами. Драйвер, включающий в себя генератор управляющих сигналов на основе CPLD матрицы, позволяет отслеживать параметры системы питания и регулировать подачу импульсного питания на магнитные элементы. Номинальное напряжение накопителя 1,8 кВ, ёмкость 3060 мкФ. Параметры выходного импульса: амплитуда тока 600 А, относительная стабильность амплитуды тока 0,05 %, длительность 21 мс, частота повторений импульсов не более 250 МГц.

На текущем этапе фазовое управление тиристорным мостом осуществляется с помощью 13-разрядного АЦП, через делитель снимающего данные по напряжению с емкостного накопителя (пропускная способность –

312,5 kSPS). Программная задержка открытия первой пары тиристоров предназначена для гарантированного отключения зарядного устройства от системы питания. Открытие второй пары тиристоров происходит при выполнении условия, что разность потенциалов между анодом и катодом тиристоров из второй пары достигло определённой отрицательной величины, что создаёт условия для протекания тока через вторую пару тиристоров.

Дополнительно для получения данных о системе питания будет задействован прецизионный датчик тока. В качестве готового решения планируется использовать магнитный компаратор на второй гармонике, ранее разработанный для ускорителя ВЭПП-2М в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. Работа такого датчика тока изложена в [2]. Данные о токе, проходящем в индуктивной нагрузке, будут приниматься АЦП и обрабатываться в CPLD матрице, после чего передаваться оператору системы питания для отображения состояния системы и для регулирования подачи импульсов.

Список публикаций:

1. *Официальный сайт, посвящённый мегапроекту NICA: <http://nica.jinr.ru/ru/>*

2. *Веремеенко В. Ф. Прецизионные элементы систем питания магнитных структур накопителей заряженных частиц. Новосибирск, 1989.*

Построение тепловизионных приборов

Голицын Александр Андреевич

*Новосибирский государственный технический университет,
Филиал ИФП СО РАН «Конструкторско-технологический институт
прикладной микроэлектроники»
aag-09@yandex.ru*

Тепловизионные приборы – это устройства, предназначенные для наблюдения объектов путем восприятия исходящего от них теплового (инфракрасного) излучения. Приборы, позволяющие получить подобное изображение и представить его наблюдателю, называются тепловизорами [1]. Тепловизионная техника имеет достаточно широкое применение. Сейчас это и специальные медицинские тепловизоры, и приборы для проведения энергоаудита, предназначенные для поиска утечек тепла в зданиях, для проверки состояния теплотрасс и т.д., и всевозможные приборы наблюдения, применяемые спасателями для поиска людей в условиях дыма и полной темноты, при охране территории, а также используемые охотниками с целью обнаружения животных. По очевидным причинам в стороне не осталось и сугубо военное применение. Сейчас в качестве специальных средств и вооружений тепловизоры используются не только как приборы наблюдения, но также в качестве прицелов [2], в составе головок самонаведения, в виде визирных каналов для беспилотных аппаратов и т.д.

На рисунке представлены примеры тепловизионных приборов (в разном масштабе) – медицинская тепловизионная камера, тепловизионный прицел и охлаждаемый тепловизионный прибор для вертолета.



рис. 1 Внешние виды тепловизионных устройств

Основным элементом каждого тепловизора является тепловизионный фотоприемник – устройство, преобразующее поток излучения в электрические сигналы изображения. Наибольшее распространение получили фотоприемники диапазона 8–14 мкм и диапазона 3–5 мкм, что связано с прозрачностью земной атмосферы именно в этих спектральных диапазонах. По принципу действия фотоприемники делятся на два типа – фотонные и тепловые [3]. Иногда в литературе можно встретить разделение фотоприемников на охлаждаемые и неохлаждаемые. Раньше традиционно при проектировании тепловизионных систем использовались фотонные фотоприемники, так как технологии не позволяли серийно производить неохлаждаемые детекторы, обладающие достаточной чувствительностью и имеющие достаточное количество элементов. Но за последние десять лет произошел резкий скачок развития в данной области, и появились

болومترические тепловизионные фотоприемники чувствительности до 50 мК (при чувствительности охлаждаемых фотоприемников 20 мК), относительно большого разрешения (от 1024×768).

Вторым составляющим элементом тепловизионного прибора является модуль цифровой обработки данных. Он осуществляет не только управление тепловизионным фотоприемником, но также производит получение с фотоприемника изображения, его оцифровку и преобразование изображения к виду, удобному для наблюдения пользователем или для передачи на сторонние устройства. Пример блока цифровой обработки изображений для болومترического тепловизора описан в [4], пример реализованного алгоритма по улучшению изображения описан в [5].

Список публикаций:

[1] Голицын А.А., Глазом тепловизора // Наука из первых рук, 2014, Т. 57-58, № 3-4, с. 198–203.

[2] Бутримов И.С., Голицын А.А. Тепловизионные прицелы для стрелкового оружия: итоги выставки «Комплексная безопасность 2014» // Спецтехника и связь, 2014, №5, с. 12–16.

[3] Джемисон Дж.Э. и др. Физика и техника инфракрасного излучения / Пер. с англ. под общ. ред. Васильченко Н.В. – М.: Книга по Требованию, 2013, 640 с.

[4] Голицын А.А. и др. Тепловизионный канал на базе неохлаждаемой матрицы микроболометров // Оптический журнал, 2013, Т. 80, № 6, с. 8–13.

[5] Голицын А.А., Цивинский М.Ю., Сглаживание изображение при электронном увеличении в тракте видеобработки прибора наблюдения // Успехи прикладной физики, 2018, Т.6, № 1, с. 75–82.

Исследование вариаций ото дня ко дню максимально наблюдаемой частоты на КВ трассе

Донсков Альберт Владимирович

Соловьёв Андрей Андреевич

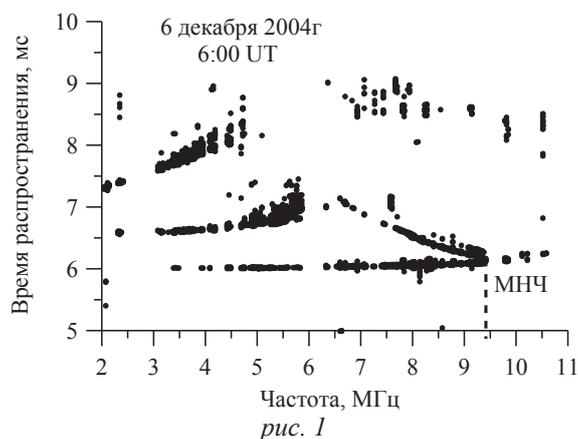
Южный федеральный университет

Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.

Donskov.97@mail.ru

Одной из особенностей ионосферной связи является исключительная изменчивость ионосферного канала. Знание временных вариаций характеристик канала позволяет оценить ожидаемую глубину упреждения прогноза и сократить информационную избыточность в работе канала связи. Наклонное зондирование считается наиболее эффективным инструментом для оперативного определения характеристик КВ канала. Среди измеряемых с помощью наклонного зондирования характеристик важнейшей является максимальная наблюдаемая частота (МНЧ). На ее основе прогнозируется на заданное время упреждения максимальная применимая частота (МПЧ) на КВ трассе.

Целью данной работы было оценить наблюдаемые вариации ото дня ко дню МНЧ на основе экспериментальных данных. Используемые экспериментальные данные – это ионограммы наклонного ЛЧМ-зондирования на среднеширотной трассе Inskip (53.5°N; 2.5°W) – Rome (41.8°N; 12.5°E) протяженностью 1710 км (азимут 133 град). Мощность излучения на передаче составила 100 Вт. Обработаны ионограммы за 11 дней в октябре 2005 года. Число солнечных пятен составило в этот период W=26. Ионограммы снимались круглосуточно с интервалом в 5 минут. Объем обработанных экспериментальных данных составил порядка 3100 ионограмм. Для обработки результатов измерений использовалось программное обеспечение, разработанное на кафедре радиофизики физического факультета ЮФУ [1,2]. Пример обрабатываемых ионограмм приведен на рис. 1.



Результаты измерений обрабатывались в следующей последовательности. 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. 2. Для фиксированных моментов времени находились средние значения МНЧ. Полученные таким образом точки соединялись кривой, которая рассматривалась как усредненный за месяц суточный ход МНЧ (сплошная кривая), рис. 3. Обработка во всех случаях велась без исключения возмущенных условий распространения на трассе.

15 октября 2005

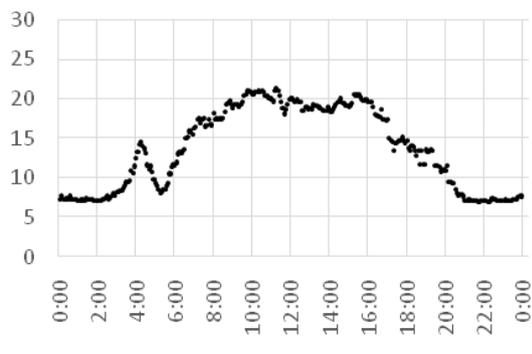


рис. 2

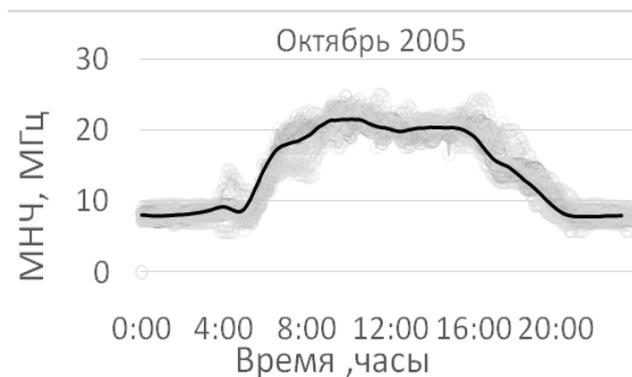


рис. 3

Для оценки вариации ото дня ко дню МНЧ использовалась следующая методика. 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. Для каждого временного интервала вычислялось скользящее среднее значений МНЧ с окном 2 часа и шагом следования 5 мин. И далее рассчитывались среднеквадратичные отклонения (СКО) мгновенных МНЧ от усредненных МНЧ со скользящим средним за 2 часа. Проводилось усреднение по всему периоду наблюдения. Эти данные позволяют судить о суммарных (быстрых и медленных) вариациях МНЧ. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Табл. 1

Временной интервал	СКО	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10	17.10	20.10	21.10	22.10	среднее
00-04	%	4,6	5,6	3,4	2,5	2,6	4,5	1,8	4,1	1,4	4,0	3,1	3,4
	МГц	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3
12-16	%	4,0	2,7	2,1	3,1	3,6	2,5	4,3	5,4	3,2	4,9	2,5	3,5
	МГц	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	0,5	0,9	1,1	0,6	1,0	0,5	0,7
06-10	%	5,5	4,1	4,7	4,0	6,4	3,8	3,5	8,8	5,3	5,5	5,6	5,2
	МГц	1,0	0,8	0,9	0,8	1,0	0,6	0,7	1,4	0,9	1,0	1,0	0,9
19-23	%	4,4	8,2	4,8	3,7	5,6	6,2	9,1	4,9	6,4	5,4	5,8	5,9
	МГц	0,4	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	0,9	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В результате обработки порядка 3100 ионограмм ЛЧМ-зондирования получены экспериментальные суточные зависимости максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) для октября 2005г.
2. При обработке по предложенной методике не наблюдалось значительной зависимости амплитуды вариаций от времени суток.
3. Были получены следующие количественные результаты. Суммарные вариации ото дня ко дню МНЧ составили в октябре в дневные часы 3,5 % (~1 МГц) и ночью 3,4% (0,3 МГц), вечерние 5,9% (0,6 МГц) и утренние 5,2% (0,9 МГц).
4. В дневные часы максимальное измеренное значение составило 24,2 МГц и минимальное 16,5 МГц.

Таким образом, проведенные исследования позволили провести количественную оценку вариации ото дня ко дню максимально наблюдаемой частоты.

Авторы выражают свою благодарность IstitutoNazionale di Geofisica e Vulcanologia [3] за предоставленный экспериментальный материал.

Список публикаций:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Электронный ресурс <http://www.ingv.it/it/>

Разработка полосового фильтра СВЧ диапазона на основе микрополосковых резонаторов с увеличенным подавлением в дальней зоне

Звягин Владимир Сергеевич
Южный федеральный университет
Зеленчук Павел Анатольевич
vzygin11@gmail.com

Современные радиосистемы различного назначения предъявляют высокие требования к частотно-избирательным устройствам по вносимым потерям, габаритным размерам, ширине полосы заграждения и перестройке по частоте. Это объясняется усложнением электромагнитной обстановки, связанной с увеличением числа помех и возрастанием их энергетических уровней. Таким образом, задача качественного приёма слабого полезного сигнала в условиях сложной помеховой обстановки является актуальной проблемой современной радиотехники [1-2].

Основой любой частотно-избирательной системы являются фильтры, обеспечивающие прохождение полезного сигнала в заданной полосе рабочих частот и подавление побочных сигналов и помех вне этой полосы.

Среди микрополосковых фильтров особое место занимают полосно-пропускающие фильтры (ППФ), являются важнейшими элементами систем связи, радиолокации, различной измерительной и специальной радиоаппаратуры. Одним из важных требований, предъявляемых к таким системам, является отсутствие паразитных полос пропускания, которые влияют на общую шумовую картину. Однако, в силу того, что микрополосковые ППФ являются, по сути, фильтрами на основе распределённых элементов, они неизбежно имеют паразитные полосы пропускания кратные центральной частоте. Данное противоречие является серьёзным сдерживающим фактором развития радиоэлектронных систем. Решение данной проблемы является важнейшей задачей современной радиотехники.

В данной работе приводится расчет и реализация ППФ СВЧ на основе микрополосковых линий передачи с использованием топологии на короткозамкнутых резонаторах. И с целью обеспечить широкую полосу заграждения в дальней зоне я разработал и получил реальную модель фильтра, состоящего из ППФ и ФНЧ на радиальных шлейфах.

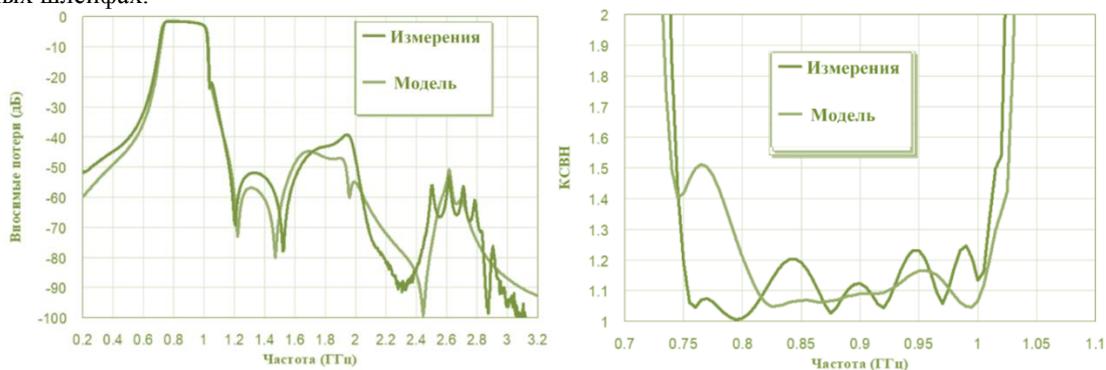


рис.1 Сравнение характеристик реального фильтра и модели в узкой полосе частот

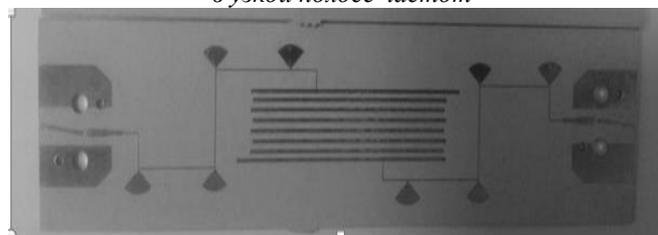


рис.2 фотография реального фильтра ППФ 1470

В данной работе произведен расчет фильтра L диапазона и его полный электромагнитный анализ в программе: “CST microwave studio”. Устройство реализовано на подложке (ArlonAR 1000) с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon = 10$, высотой подложки 0,61 (мм) и тангенсом диэлектрических потерь, равным 0,003. Фильтр получен с применением Чебышевской аппроксимации. Характеристики полученного фильтра: ППФ реализован с применением 8 порядка ППФ и 9 порядка ФНЧ.

- центральная частота: 880(МГц)
- полоса пропускания 200 (МГц)

- сопротивление по входу и выходу 50 Ом
- геометрические размеры: 24 x 50 (мм)

Из графика видно хорошее совпадение расчетных характеристик с реально измеренными S₂₁ параметрами.

Список публикаций:

- [1] Седельников Ю. Е., Веденькин Д. А. *Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств – Учебное пособие / Под ред. Ю.Е.Седельникова.* – Казань: ООО "Новое знание", 2016. – 344 с.
- [2] Андриющенко М. С., Гусаковский В. Е. и др. *Методы расчета средств защиты радиоэлектронных систем от электромагнитного излучения. / Под ред. С.С. Щесняка.* – СПб.: Изд-во ВВМ, 2016. – 310 с.
- [3] David M. Pozar «*Microwave Engineering*» “John Wiley & Sons, Inc.” 2011.

Сравнение методик измерения диаграмм направленности антенн

для устройства сбора энергии

Кузьмин Евгений Валентинович

Платонов Сергей Владимирович

Институт электронных и информационных систем,

Новгородский государственный университет

Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.

77774444@mail.ru

Антенна, вне зависимости от конструкции, обладает свойством обратимости (может работать как на прием, так и на излучение). Часто в радиорелейных трактах одна и та же антенна может быть подключена одновременно к приемнику и передатчику. Это позволяет излучать и принимать сигнал в одном направлении на разных частотах.

Основная характеристика любой антенны — это диаграмма направленности (ДН). Из нее вытекает множество вспомогательных параметров и такие важные энергетические характеристики, как коэффициент усиления и коэффициент направленного действия. ДН – это зависимость напряженности поля, создаваемого антенной на достаточно большом расстоянии, от углов наблюдения в пространстве.

Способы измерения ДН подразделяются на группы в соответствии с зоной (дальней, промежуточной, ближней) проведения измерений [1]. Наиболее отработанными и простыми являются способы измерения в дальней зоне.

Когда говорят о ДН антенны, обычно подразумевают ДН антенны в дальней зоне. Граница дальней зоны определяется соотношением размеров антенны и длины волны [2]:

$$r \geq 2 \frac{D^2}{\lambda}, \quad (1)$$

где r – расстояние от фазового центра антенны; D – максимальный габаритный размер антенны (размер апертуры); λ – длина волны.

При большой длине волны или больших линейных размерах антенны для удовлетворения этому условию используют способ вышки и облетный способ на специально созданных полигонах. При малой длине волны и малых размерах антенны можно организовать измерения в безэховых камерах на незначительных расстояниях между приемной и передающей антенной.

Для измерения ДН антенн устройства сбора энергии СВЧ диапазона были разработаны и собраны макеты. Макет для измерений диаграмм направленности для устройства сбора энергии СВЧ диапазона согласно первого способа измерений показан на рис. 1а [3].

На передающую антенну, закрепленную на штативе, подается сигнал мощностью 10 мВт на частоте 2,44 ГГц с первого порта ИККПО «Обзор – 804». На второй штатив, оборудованный угломером, закреплена приемная антенна, расположенная на расстоянии 2 метра от приемной антенны. В качестве приемной антенны использовалась дипольная антенна TP-LINK TL-ANT2408CL [4]. С помощью второго порта измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения (ИККПО) «Обзор – 804», снимались значения коэффициента направленного действия (КНД), изменяя угол расположения передающей антенны по отношению к приемной с шагом в 10 градусов с помощью угломера на втором штативе.

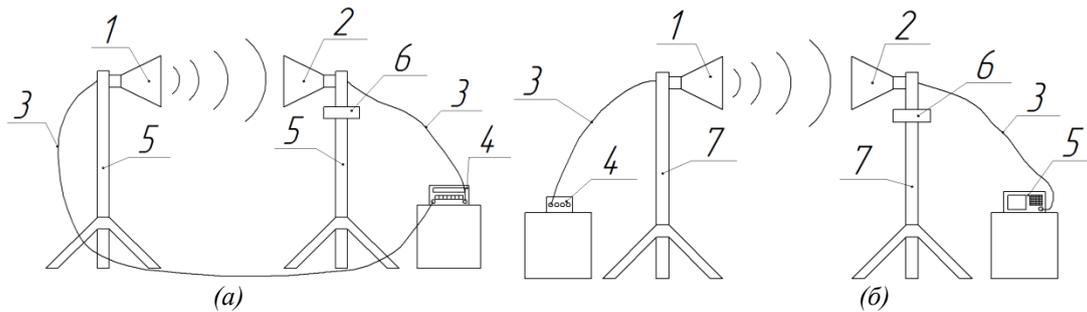


рис. 1. а – Схема макета измерений диаграмм направленности для устройства сбора энергии СВЧ диапазона по первому способу. 1 – передающая антенна; 2 – приемная антенна; 3 – СВЧ-кабель; 4 – Измеритель комплексных коэффициентов передачи и отражения (ИККПО) «Обзор – 804»; 5 – штатив; 6 – угломер, б – Схема макета измерений диаграмм направленности для устройства сбора энергии СВЧ диапазона по второму способу. 1 – передающая антенна; 2 – приемная антенна; 3 – СВЧ кабель; 4 – генератор сигнала «Обзор – 804»; 5 – анализатор спектра «SIGLENT АКПП-4205»; 6 – угломер; 7 – штатив.

Макет для измерения диаграмм направленности для устройства сбора энергии СВЧ диапазона согласно второго способа измерений показан на рис. 1б [1]. На передающую антенну с помощью передающей части системы сбора радиочастотной энергии, используемой в качестве генератора сигнала, подавался сигнал мощностью 10 мВт на частоте 2,44 ГГц. На второй штатив, оборудованный угломером, закреплена приемная антенна, расположенная на расстоянии 7 метров от приемной антенны. В качестве приемной антенны использовалась та же дипольная антенна TP-LINK TL-ANT2408CL. С помощью анализатора спектра «SIGLENT АКПП-4205» снимались значения коэффициента направленного действия (КНД), изменяя угол расположения передающей антенны по отношению к приемной с шагом в 10 градусов с помощью угломера на втором штативе.

Существенная разница в способах измерения состоит в расстоянии между приёмной и передающей антеннами. На частоте 2,44 ГГц длина волны в пространстве составит примерно 0,123 м. Для корректного измерения ДН требуются расстояния от точки излучения до точки приёма не менее 10 длин волн, что в нашем случае составит около 1,23 м. Первый способ, использующий для измерений только панораму «Обзор – 804», находится на краю ближней зоны измерений (16 длин волн), но тем не менее согласно рекомендациям приведённым в [3], такие измерения могут быть проведены. Этот способ требует только один измерительный прибор, приёмный и передающий каналы которого хорошо откалиброваны. Второй способ широко применяется и не вызывает каких-либо сомнений (57 длин волн), использует два прибора генератор и анализатор спектра. В лабораторных условиях существенным является фактор расстояний. Поэтому проверка способа измерений на небольших дистанциях оказывается существенной для таких устройств как устройства сбора энергии. В этих устройствах приёмная и передающая антенны располагаются обычно на небольших расстояниях – от нескольких сантиметров до нескольких метров, что делает актуальным проведение исследований способов измерения ДН на небольших расстояниях.

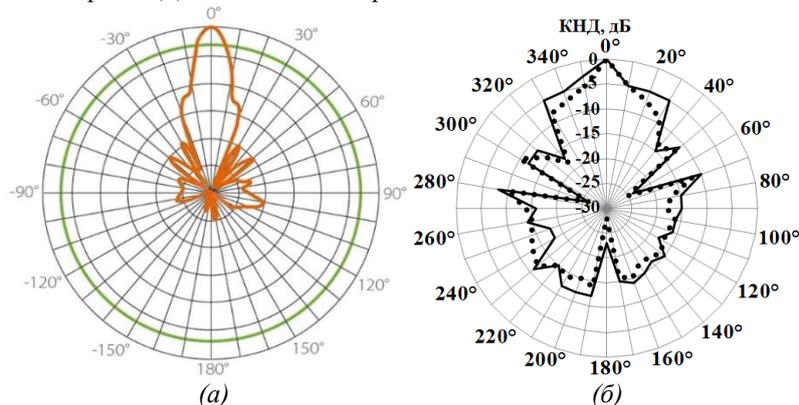


рис. 2. Параболическая антенна. а – диаграмма направленности, приведённая в паспорте изделия, б – диаграммы направленности измеренные двумя способами

На рис. 2 представлены диаграммы направленности исследуемой параболической антенны (а) согласно её паспортных данных, и (б) полученные с помощью двух различных способов измерений. Из рис. 2 видно, что диаграмма направленности имеет характерную форму, один основной лепесток и несколько боковых. Полученные разными способами диаграммы направленности очень схожи. Диаграмма направленности, полученная с помощью первого способа, является более плавной, без резких изменений угловых значений. При сравнении диаграмм направленностей с паспорта антенны и измеренных, более близкой характеристикой

обладает диаграмма направленности антенны для устройств сбора энергии СВЧ диапазона, полученная вторым способом. В то же время, т.к. нас интересует только основной лепесток и его направленность в случае антенн для устройств сбора энергии, то может быть применён и первый способ измерений без существенной потери качества. Лучшая точность измерений достигается вторым способом измерений. Расхождения в характеристиках двух способов измерений не превосходят пяти процентов в зоне основного лепестка.

Список публикаций:

- [1] Фрадин А.В., Рыжков Е.В. // *Измерение параметров антенно-фидерных устройств* - М., Связь, 1972.
 [2] Иванов А.А. // *Применение сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием в системах ближней локации*. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2010. № 78. С. 88–102.
 [3] Электронный ресурс // Код доступа: <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-3343RURU.pdf?id=3006924>
 [4] Электронный ресурс // Код доступа: <https://www.tp-link.com/ru/products/details/TL-ANT2408CL.html>

Визуализация единичных молекул асфальтенов

Кутлубаев Ильшат Салаватович¹

Шарипов Талгат Ишмухамедович,¹ Бахтизин Рауф Загидович¹, Нурахметов Турлыбек Нурахметович², Салиходжа Жусупбек Мухамеджанович²

¹Башкирский государственный университет

²Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан

Шарипов Талгат Ишмухамедович к.ф.-м.н.

k.ilshat.95@gmail.com

В последние годы резко возрос интерес к изучению асфальтенов. Это не удивительно, ведь в перспективе возможно использование их соединений в электронике, а так же в других сферах. С помощью метода электронной феноменологической спектроскопии были исследованы электронные спектры асфальтенов различного происхождения. И выявлено, что асфальтены крекинг-остатка и гудрона западно-сибирской нефти проявляют свойства полупроводников (ПИ = 4,70÷4,74 эВ; СЭ = 2,07÷2,10 эВ), а асфальтены гудрона и асфальта деасфальтизации западно-сибирской товарной нефти, асфальтены нефти Сургутского месторождения и асфальтены нефти месторождения Киенгоп являются диэлектриками (ПИ = 5,17÷5,85 эВ, СЭ = 1,61÷1,89 эВ) [1]. Из этого можно сделать вывод, что асфальтены могут быть применены в полупроводниковой электронике. На сегодняшний день проводится большое количество экспериментальных работ по исследованию данных объектов на самых разных уровнях: макроуровне (пленки разной толщины) [2], надмолекулярном (агрегаты и кластеры) [3], молекулярном (единичные молекулы и взаимодействие между ними) [4] и субмолекулярном (орбитали) [5] уровнях. В настоящее время при анализе научной литературы встречается не так много работ, в которых визуализируются единичные молекулы асфальтенов, а так же нет достоверной информации о параметрах единичной молекулы. По результатам некоторых исследований ученые утверждают, что размер молекулы зависит от месторождения и способа выделения асфальтенов из нефти. И мы хотели бы внести свой вклад в решение проблемы наблюдения единичной молекулы и дальнейшего исследования ее некоторых параметров.

В нашей работе, применив метод атомно-силовой микроскопии, мы исследовали асфальтены, растворенные в толуоле, в концентрации 40 мг/л. Этот раствор мы наносили на свежий скол слюды капельным методом. Далее методом центрифугирования получали тонкую пленку асфальтенов на поверхности слюды. Затем полученный образец исследовали с помощью атомно-силовой микроскопии и в результате получили следующие АСМ-изображения:

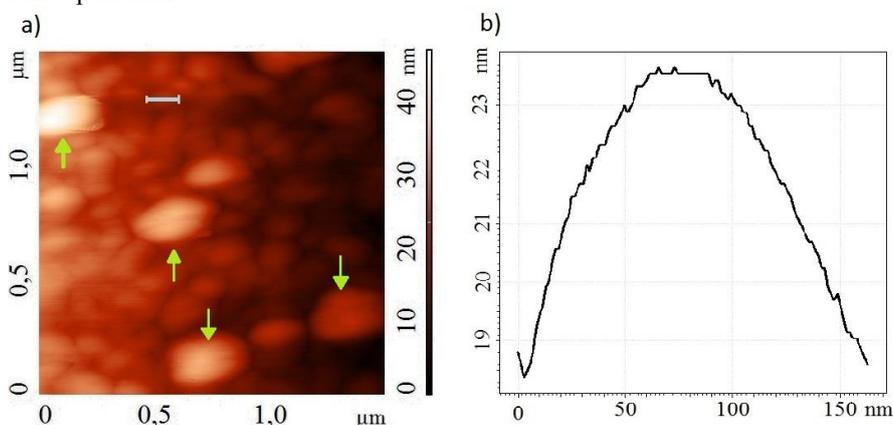


рис. 1. а) АСМ-изображение пленки асфальтенов гудрона, б) профиль сечения, выполненного по линии, показанной на рис. 1а

Наблюдается объекты эллипсоидные формы разных размеров. Латеральные размеры наименьших объектов были измерены и составили около 100 нм, а высота около 4-5 нм. На изображении так же присутствуют агрегаты (отмечены стрелками), отличающиеся большим размером, нежели предполагаемые единичные молекулы. Размеры по латерали этих агрегатов оказались равными 250 - 300 нм. Из данных изображений можно вывести среднестатистические параметры единичных молекул, а так же сопоставить их с результатами компьютерного моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-42-020616, проекта № AP05132165 «Разработка технологии получения асфальтенов из нефтяного сырья в качестве органических полупроводников для наноэлектроники» Республики Казахстан и частично при поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым на 2019 год.

Список публикаций:

- [1] М. Ю. Доломатов, С. А. Шуткова, А. Г. Кавыев и др. Особенности электропроводимости и свойств аморфных полупроводников на основе асфальтенов // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2013. №3. с. 109-110.
- [2] Коржов Ю.В., Орлов С.А. Агрегирование и коагуляция асфальтенов в пленке нефти: физические характеристики продуктов поверхностных отложений // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327. № 12. 62–74
- [3] T I Sharipov, M Yu Dolomatov and R Z Bakhtizin. The study of supramolecular structure of asphaltenes by atomic force microscopy // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 443 (2018) 012028
- [4] Asphaltene flocculation and collapse from petroleum fluids, Valter Antonio M. Branco, G. Ali Mansoori, Luiza Cristina De Almeida Xavier, Sang J. Park, Hussain Manafi, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 32 (2001) 217–230
- [5] Schuler B., Meyer G, Pena D., Mullins O. C., Gross L. Unraveling the molecular structures of asphaltenes by atomic force microscopy // *Journal of the American Chemical Society*. 2015. 137 (31). Pp. 9870-9876.

Компьютерное моделирование и электродинамический анализ полосно-пропускающего фильтра на U-образных резонансных диафрагмах

Мельник Антон Сергеевич
Южный федеральный университет
Крутиев Сергей Владимирович
antonsmelnik@gmail.com

Волноводные фильтры широко используются в различных устройствах радиосвязи и радиолокации. Известно, что основным недостатком волноводных устройств являются их большие массогабаритные показатели, что ограничивает их применение в бортовых системах авиационного и космического базирования.

Разработка новых компактных волноводных частотно-селективных устройств является одним из перспективных направлений современной радиофизики. При создании полосно-пропускающих фильтров на волноводах используют тонкие металлические резонансные диафрагмы, которые закрепляются между двумя отрезками четвертьволнового волновода. Резонансные диафрагмы проявляют необычные свойства в окрестности резонансной частоты при воздействии на них электромагнитных полей определенных диапазонов частот. В данной работе проводится электродинамический анализ и синтез волноводных полосно-пропускающих фильтров на сложных резонансных диафрагмах с U-образной апертурой в прямоугольном волноводе с размерами, $a=23$ мм, $b=10$ мм. (рис.1).

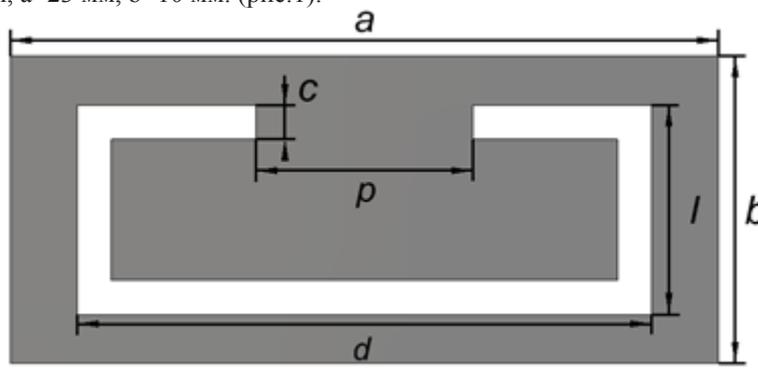


рис.1. Поперечное сечение резонансной диафрагмы с U-образной апертурой в прямоугольном волноводе

На первом этапе разработки полосовых фильтров на резонансных диафрагмах анализируются характеристики одиночных диафрагм с U-образной апертурой. На рисунке 2 показана зависимость модуля

параметра матрицы рассеяния $|S_{21}|$ в дБ от размера зазора p в U-образной диафрагме с учетом сохранения центральной симметрии.

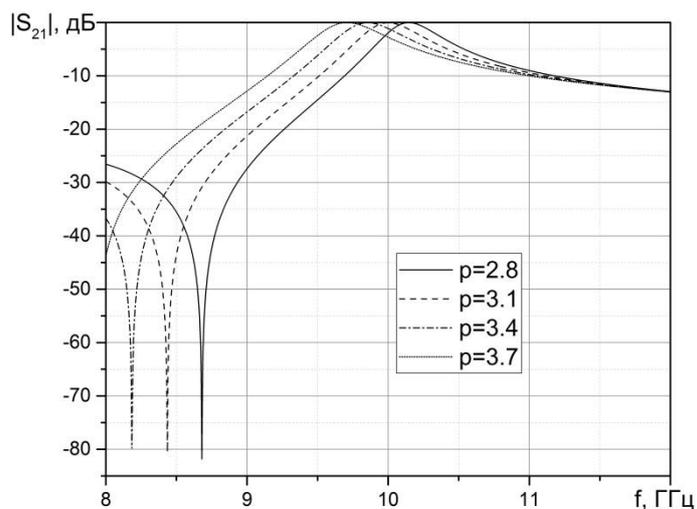


рис.2. Зависимость $|S_{21}|$ в дБ при разных значениях размера p

Как видно из рисунка 2 видно, данный тип резонансного окна обладает резонансом полного пропускания, следовательно, данный тип диафрагм может быть применен для синтеза полосно-пропускающих диафрагм. Так, например, при увеличении параметра p резонансные частоты смещаются в область низких частот и пологость кривых увеличивается, что приводит к расширению полосы пропускания.

Были изготовлены элементы полосно-пропускающего фильтра путем нанесения металлизации на тонкий диэлектрик с малой диэлектрической проницаемостью. На рисунке 3 представлены синтезированный трехзвенный полосно-пропускающий фильтр, его общая длина $L=18.00$ мм и АЧХ. Результаты экспериментальных измерений АЧХ фильтра показаны на рисунке 3 маркерами.

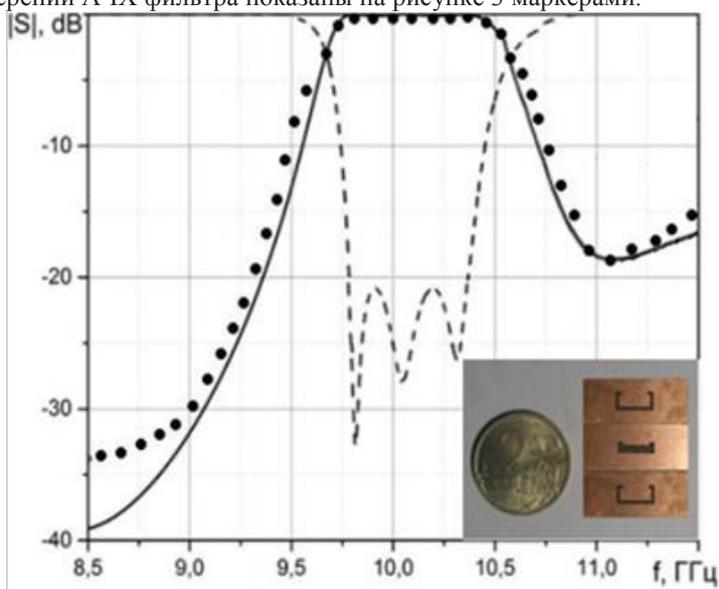


рис.3. U-образные диафрагмы трехзвенного полосно-пропускающего фильтра и его АЧХ

В этой работе была изучена возможность проектирования полосно-пропускающих волноводных фильтров на основе сложных резонансных диафрагм с U-образной апертурой, позволяющих уменьшать массогабаритные свойства устройств.

Список публикаций:

- [1] А.Б. Клецнеков, С.В. Крутиев, В.В. Земляков // Инженерный вестник Дона, №1 (2016)
- [2] H. Bahrami, M. Hakkak, A. Pirhadi // Progress In Electromagnetics Research, PIER 80, 107–122, 2008
- [3] Г.Ф. Заргано, В.В. Земляков, А.А. Гадзиева, С.В. Крутиев // Известия вузов. Физика., 2013. - Т. 56, № 8/3. - С. 48-50.
- [4] В.В. Земляков, Г.Ф. Заргано, С.В. Крутиев // Электромагнитные волны и электронн системы., 2014. -Т.19, № 9.-С. 37-41.
- [5] V.V. Zemlyakov, G.F. Zargano, S.V. Krutiev // Journal of Communications Technology and Electronics. - 2015. - Vol. 60, No. 12. - P. 1305-1310.

Расчеты функции ослабления и напряженности поля в акватории моря Лаптевых

Соловьев Богдан Данилович

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

Мельчинов Виктор Петрович, к.ф.-м.н.

Solovevbogdan@gmail.com

Из теории распространения радиоволн над земной поверхностью следует, что при распространении радиоволн ДВ-СВ диапазонов над землей возникают так называемые поверхностные волны [1]. Условием появления и распространения поверхностных волн является сильноиндуктивный характер поверхностного импеданса подстилающей среды. Слоистые природные среды на преобладающей поверхности суши земли имеют индуктивный или слабоиндуктивный характер вплоть до емкостного. Для однородной подстилающей среды фаза поверхностного импеданса равна -45° и носит слабоиндуктивный характер. Сильноиндуктивные значения импедансов соответствуют значению фазы импеданса меньше -50° . В работе [2] установлено, что структура «лед на воде» обладает сильноиндуктивным импедансом, причем значение модуля и фазы импеданса зависят от толщины льда:

$$\delta = \delta_B + ikh, \quad (1)$$

где δ_B -импеданс однородного слоя с воды, k - волновое число, h -толщина льда.

Нами были выполнены расчеты поверхностного импеданса структуры «лед-море» по формуле (1) при разной толщине льда по карте ледовой обстановки моря Лаптевых [3]. По полученным значениям поверхностного импеданса были выполнены расчеты модуля функции ослабления $|W|$ и напряженности поля в ДВ-СВ диапазонах в зимнее и летнее времена года. Расчеты $|W|$ проводились методом решением интегрального уравнения Хаффорда над многокусочными трассами следуя работе [4].

На рис.1 приведены модельные расчеты модуля функции ослабления и расчеты в напряженности вертикальной электрической составляющей электромагнитного поля в мВ/м при излучаемой мощности передатчика 1 кВт по формуле:

$$E = \frac{300\sqrt{P}}{R} |W|, \quad (2)$$

где P - мощность излучения в кВт, R - расстояние пункта наблюдения в км.

Передатчик предполагался расположенным в открытом море на о. Котельный. Исследуемая радиотрасса имеет широтное направление.

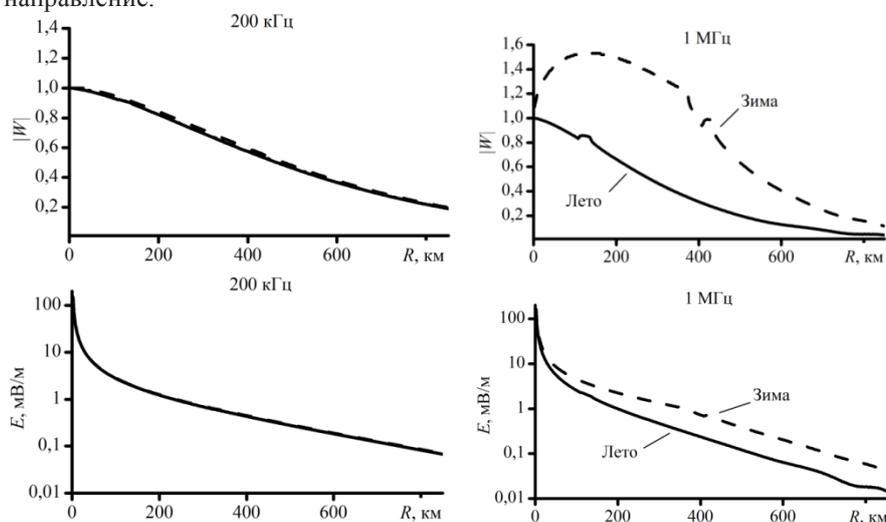


рис. 1 - Модельные расчеты $|W|$ и напряженности поля по ледовой радиотрассе.

Как видно из (рис. 1) малая толщина льда (0,7 м) в декабре месяце почти не влияет на распространение длинных волн -200 кГц. Зато на частоте 1 МГц функция ослабления превышает 1 в зимнее время года, что связано с возбуждением поверхностной электромагнитной волны. Если ориентироваться на рекомендации МСЭ-Р пункт BS.1615 для напряженности поля уверенного приема цифровой радиосвязи СВ-диапазона в 40 дБ(100 мкВ/м), то дальность связи составит более 700 км при излучаемой мощности в 1 кВт, что в разы превысит дальность действия аналогичных систем связи на суше.

Список публикаций:

- [1] Макаров Г.И., Новиков В.В., Распространение электромагнитных волн надземной поверхностью. Наука, 1991. – 196 с.
- [2] Башкуев Ю.Б., Ангархаева Л.Х., Дембелов М. Г. и др. Методы и результаты расчетов напряженности поля земной волны для ДВ,-СВ,-КВ- каналов связи на высокоширотных многокусочных импедансных трассах// Техника радиосвязи 2015, вып 1(24)
- [3] НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Сайт http://planet.iitp.ru/Oper_pr/Oper_Ice.html(дата 10.01.2019).
- [4] Проскурин Е.П., Пылаев А.А., Тихомиров Н.П., Штейнберг А.А. Распространение радиоволн над электрически и геометрически неоднородными трассами. // сб. Распространение радиоволн над земной поверхностью и ионосфере. Вып. 18 Л, 1981, С.171-183 .

Полосковый измеритель электрофизических параметров фуллереносодержащих материалов

Цапик Дмитрий Константинович

Кратко Александр Олегович

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

Поletaев Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н.

ts-dm@yandex.ru

Применение фуллерена в качестве полупроводникового материала является достаточно перспективной идеей, поскольку он обладает шириной запрещенной зоны около 1.5 эВ и его свойства аналогичны традиционным полупроводникам. Например, использование фуллерена достаточно актуально для построения фотоэлементов, поскольку фуллерен имеет малое время фотоотклика по сравнению с кремнием. Таким образом, можно прийти к выводу, что исследования характеристик фуллерена достаточно актуально, однако получение чистого фуллерена достаточно сложно и дорого, поэтому в исследовании были использованы фуллереносодержащие материалы.

Для исследования свойств фуллереносодержащих материалов (ФСМ) был использован ручной анализатор спектра Keysight N9344C и подключенный к нему полосковый фильтр, изготовленный из фольгированного стеклотекстолита. Фильтр был вытравлен в водном растворе хлорного железа, дорожки покрыты оловянно-свинцовым припоем ПОС-60 для защиты от коррозии и возможности припаивания центральной жилы высокочастотного кабеля. Экран высокочастотного кабеля винтами прижат к стальной подложке. Для подключения к анализатору спектра были использованы разъемы 2NMC-12S. Подключение полосового фильтра с анализатором спектра согласовано. ФСМ предварительно были растворены в органических растворителях и нанесены на покровное стекло толщиной 0,3 мм. Используются следующие органические растворители: толуол, бензол, дихлорметан, хлороформ, тетрахлорметан.

Полосковый фильтр изображен на рис. 1 и обладает следующими техническими характеристиками: центральная частота - 5,04 ГГц, нижняя частота - 4,95 ГГц, верхняя частота - 5,14 ГГц.

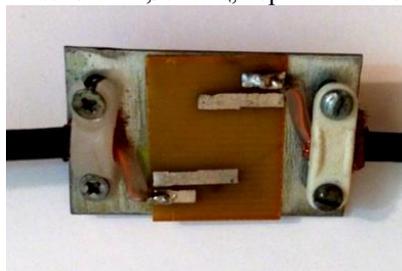


рис. 1. Фотография полоскового фильтра СВЧ

Исследуемые образцы на покровном стекле диэлектрическими струбцинами прижимаются к поверхности полосового фильтра. В ходе проведения эксперимента получены данные, изображенные на рисунках 2-4.

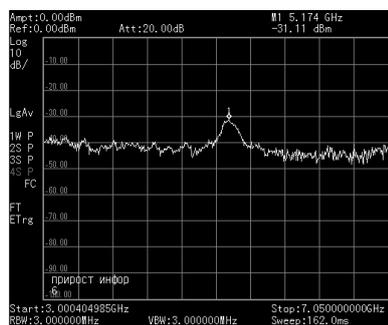


рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика фильтра

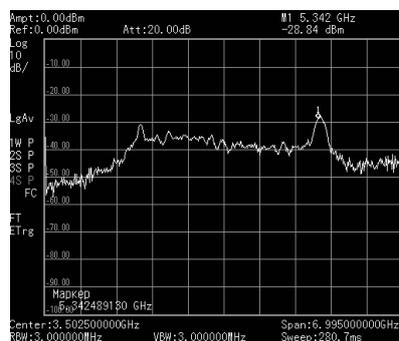


рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика фильтра с покровным стеклом

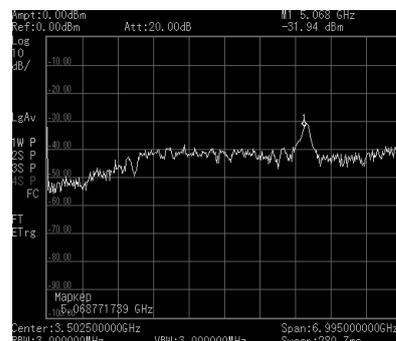


рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика фильтра со стеклом, покрытым алюминием

16 - Акустика, гидро- и газодинамика

- Дьякова Софья Анатольевна, 3 курс
Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический
Квазистационарный рельеф на поверхности сыпучей среды при высокочастотных колебаниях воздуха над ней
Козлов Виктор Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: postmaster@pspu.ru стр. 362
- Ильин Владимир Алексеевич, доцент
Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, физический
Хаос в маломодовых моделях электроконвекции
e-mail: ilin1@psu.ru стр. 363
- Кибардина Мария Олеговна, 3 курс
Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический
Экспериментальное исследование движения сферического тела во вращающейся полости с жидкостью
Козлов Виктор Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: kibardina31998@gmail.com стр. 364
- Кошечкина Даяна Олеговна, 2 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, радиоэлектроники и информ-х технологий
Акустические характеристики упругих волн в биотканях как индикатор здоровья или болезни
Петренко Наталья Владимировна, к.ф.-м.н.
e-mail: vlisiutin@mail.ru стр. 365
- Крапивницкая Олеся Евгеньевна, 2 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, радиоэлектроники и информ-х технологий
Резькаменация Козени-Кармана соотношений для пористой среды с сетевой структурой порового пространства
Лисиутин Виктор Александрович, к.ф.-м.н.
e-mail: vlisiutin@mail.ru стр. 367
- Латыпова Резеда Рамилевна, 3 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Экспериментальное исследование течений в микроканалах модели порового дублета
Замула Юрий Сергеевич,
e-mail: latypova.rezeda98@mail.ru стр. 369
- Лебедева Галина Михайловна, 3 курс
Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический
Изучение пороговых переходов тела в полости с жидкостью, совершающей поступательные вибрации
Щипицын Виталий Дмитриевич, к.ф.-м.н.
e-mail: Lebedeva.pspu@gmail.ru стр. 369
- Мавлютова Юлия Ринатовна, 3 курс
Пермь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический
Изучение траекторий движения эллиптического цилиндра в вибрирующей полости с жидкостью в зависимости от относительной плотности тела
Щипицын Виталий Дмитриевич, к.ф.-м.н.
e-mail: mavlyutova.pspu@gmail.com стр. 370
- 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 стр. 371
- Харчевский Антон Александрович, н.с.
Москва, ООО "НПФ "Материя Медика Холдинг", научных исследований и разработок
Исследование скорости распространения акустических волн ультразвукового диапазона в растворах NaCl в температурной динамике
e-mail: harchevskiyaa@materiamedica.ru стр. 373

Квазистационарный рельеф на поверхности сыпучей среды при высокочастотных колебаниях воздуха над ней

Дьякова Софья Анатольевна

Ганеева Эльвира Салаватовна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Козлов Виктор Геннадьевич, д.ф.-м.н.

diakova.s@mail.ru

Экспериментально исследуется устойчивость поверхности сыпучей среды при высокочастотных тангенциальных колебаниях воздуха вблизи этой поверхности. Для этого изготовлена экспериментальная установка, состоящая из горизонтальной трубы и динамика (рис.1).



рис. 1 Экспериментальная установка

В трубе возбуждается стоячая звуковая волна, при этом столб воздуха в пучностях совершает продольные колебания большой амплитуды. Амплитуда и частота колебаний столба воздуха в произвольной точке канала измеряется по длине треков частиц, взвешенных в воздухе и совершающих аналогичные колебания. На дне трубы находится сыпучая среда. Параметры и свойства этой сыпучей среды варьируются, наряду со средой малой плотности и частицами сравнительно большого диаметра (в опытах использовалась манная крупа), эксперименты проводятся на стеклянных частицах различного размера.

Обнаружено, что сыпучая среда переходит в оживенное состояние при повышении интенсивности колебаний воздуха вблизи поверхности. Частицы на поверхности сыпучей среды при этом совершают продольные колебания. Это происходит пороговым образом по мере повышения амплитуды колебаний столба воздуха. Переход в оживенное состояние зависит от амплитуды и частоты колебаний, а также от свойств сыпучей среды. При переходе сыпучей среды в оживенное состояние, на ее поверхности образуются квазистационарные холмы (рис. 2).

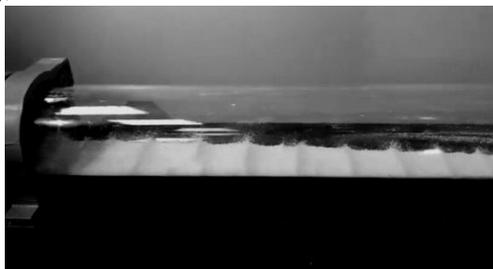


рис.2 Квазистационарный рельеф (вид сбоку)

Рельеф представляет собой систему двумерных холмов, вытянутых поперек направления колебаний столба воздуха, регулярно расположенных по длине трубы (рис.3).

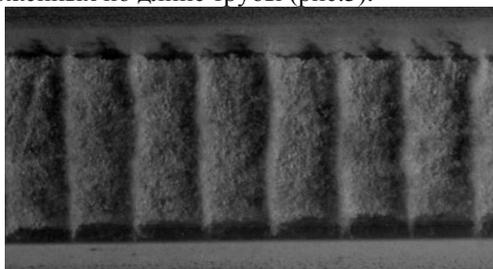


рис.3 Квазистационарный рельеф (вид сверху)

Длина волны зависит от амплитуды и частоты колебаний воздуха, а также от свойств сыпучей среды. Наблюдения показывают, что в каждом из холмов сыпучая среда совершает циркуляцию, поднимаясь в центре холма и опускаясь вдоль его склонов. При этом сами холмы остаются на одном месте. Это квазистационарные

структуры. По мере удаления от пучности наблюдается уменьшение их высоты, а также монотонный дрейф холмов в направлении узлов стоячей волны.

Исследованы: пороги возникновения рельефа в зависимости от частоты и амплитуды тангенциальных колебаний столба воздуха; зависимость порога устойчивости от размера и относительной плотности частиц сыпучей среды; надкритическая динамика поведения холмов в зависимости от амплитуды и частоты колебаний.

Анализ полученных результатов свидетельствует что неустойчивость поверхности ожиженной среды связана с развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Механизм возникновения квазистационарного рельефа на сыпучей среде исследовался ранее в системах сыпучая среда-жидкость в полости совершающей тангенциальные границам раздела колебания [1,2].

Показано, что структуры возникают на поверхности ожиженной сыпучей среды и не имеют общих свойств с привычными нам дюнами, которые формируются на поверхности песка при однонаправленном движении воздуха.

Список публикаций:

[1] Kozlov V. G. // *Experimental investigation of vibrational convection in pseudoliquid layer // Proceed. of 1st Int. Symp. Hydromechanics and heat/mass transfer in microgravity. Perm-Moscow. 1991. P.57-61*

[2] Иванова А.А., Козлов В.Г. // *Граница раздела песок-жидкость при вибрационном воздействии // Механика жидкости и газа. 2002. №2. С. 120-138*

Хаос в маломодовых моделях электроконвекции

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 [1–4]. 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.

Основоположником электрогидродинамики в нашей стране принято считать Г. А. Остроумова [1]. На сегодняшний день вопросами электрогидродинамики занимается множество исследователей [2–4]. 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 [4]. Непредсказуемость этих эффектов обусловлена нелинейным и сложным характером физико-химических процессов, что вызывает трудности их исследования.

В 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.

Настоящая работа является продолжением исследований [5–7]. В [6] получена и изучена маломодовая модель электроконвекции слабопроводящей жидкости в конденсаторе с твёрдыми граничными условиями в переменном электрическом поле произвольной частоты; в [7] эта модель преобразована и изучена в случае высокочастотного электрического поля. В работе [5] 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. Эти модели являются обобщением трёхмодовой модели Лоренца. Маломодовые модели решались численно методом пошагового интегрирования Рунге – Кутты – Мерсона. В моделях были обнаружены и исследованы разные сценарии перехода к хаосу: через квазипериодичность, перемежаемость или сценарий Фейгенбаума (субгармонический каскад удвоений периода).

В настоящей работе продолжено исследование, начатое в [5], но методы и закономерности являются общими для разных маломодовых моделей электроконвекции. Расчеты проводились при разных значениях амплитуды и частоты поля для числа Прандтля $Pr = 100$. Исследованы различные нелинейные режимы: синхронные, квазипериодические и хаотические колебания жидкости. По временным сигналам находились спектры Фурье и делалось вейвлет-преобразование. По временной эволюции и спектрам Фурье колебаний выяснялся тип колебаний и сценарий перехода к хаосу. По вейвлетам выявлялась эволюция частот колебаний во времени. Особенно это актуально для перемежаемости, когда периодические колебания прерываются вспышками хаотичности. Исследовано поведение системы в окнах периодичности.

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] Саранин В. А. *Устойчивость равновесия, зарядка, конвекция и взаимодействие жидких масс в электрических полях*. М.–Ижевск: НИЦ РХД, 2009. 332 с.
[4] Жакин А. И. *Электрогидродинамика*// УФН. 2012. Том 182, №5. С. 495–520.
[5] 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.
[6] Ильин В. А., Картавых Н. Н. *Модель электротермической конвекции слабопроводящей жидкости в горизонтальном конденсаторе*// Электронная обработка материалов. 2017. Т. 53, № 3. С. 73–78.
[7] Ильин В. А., Пономарёва Л. А. *Модель электроконвекции слабопроводящей жидкости в высокочастотном электрическом поле*// Прикладная механика и техническая физика. 2018. Т. 59, №2. С. 12–22.

Экспериментальное исследование движения сферического тела во вращающейся полости с жидкостью

Кибардина Мария Олеговна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Козлов Виктор Геннадьевич, д.ф.-м.н.

kibardina31998@gmail.com

Задачей является экспериментальное изучение движения сферического тела в заполненной вязкой жидкостью вращающейся полости, а также изучение структуры потоков жидкости вокруг этого тела. Во вращающихся системах проявляются дополнительные силы инерции, такие как: сила Кориолиса и центробежная сила, которые качественно изменяют поведение жидкости и тела.

Экспериментальная установка представляет собой прозрачную вертикальную трубу, в которой находится сферическое тело (*рис.1*). Плотность тела меньше плотности жидкости. Когда тело всплывает, оно движется вдоль оси вращения, где оно располагается под действием центробежной силы. В случае вращения движение тела коренным образом отличается от случая, когда полость не вращается. Экспериментально мы обнаружили, что при достаточно высокой скорости вращения полости скорость всплытия может уменьшиться на несколько порядков по сравнению с тем, как тело ведет себя в отсутствие вращения. Изучению этой проблемы, а именно, зависимости скорости всплытия тела от скорости вращения полости, вязкости жидкости и разности плотностей посвящено данное экспериментальное исследование. Помимо исследования скорости движения тела мы с помощью PIV метода изучали поля скоростей жидкости вокруг сферического тела.

Цилиндрическая полость может вращаться свободно вокруг своей оси. Вращение сообщается шаговым двигателем модели FL86STH65-2808A, который управляется драйвером SMD-42, скорость вращения варьируется от 0 об/с до 30 об/с и задается с точностью 0.01 долей об/с. Исследование проводилось на водных растворах глицерина. Вязкость растворов в экспериментах варьировалась. Исследование полей скорости выполнялось в поперечном сечении. При этом лазерным лучом мы рассекали кювету в диаметральной сечении, а наблюдения выполняли через прозрачное дно. Для регистрации потоков использовалась скоростная камера, которая располагалась снизу.

Было обнаружено, что с повышением скорости вращения полости скорость всплытия тела замедляется, по сравнению со свободным телом. На *рисунке 2* представлена зависимость скорости всплытия тела от частоты вращения. Видно, что с повышением скорости вращения скорость всплытия тела в поле силы тяжести резко понижается. Эксперименты выполнялись в трубе диаметром $d=50.1$ мм. В качестве рабочей жидкости выступал раствор вязкостью $\eta=2.82$ Ст. Диаметр тела $d=25.2$ мм, плотность $\rho_m=0.03$ г/см³.



рис.1. Фотография экспериментальной установки

Из сравнения со случаем ламинарного движения тела в неподвижной жидкости следует, что скорость всплытия тела при вращении на несколько порядков меньше скорости тела в отсутствие вращения.

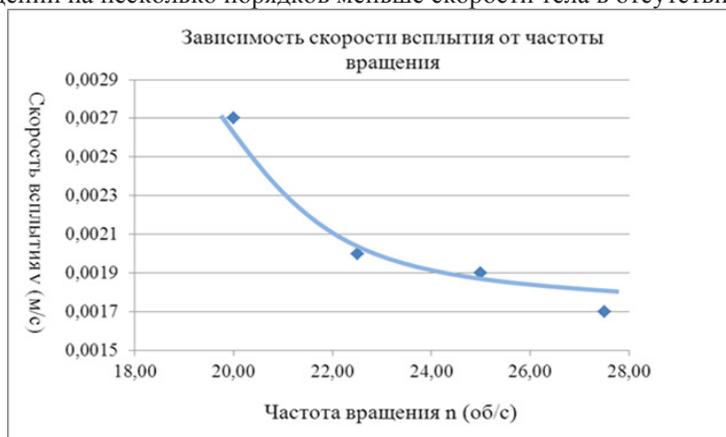


рис.2. Зависимость скорости всплытия шарика от частоты вращения цилиндра

Наблюдения показывают, что во вращающейся полости вблизи движущегося тела образуется столбик Тейлора – Праудмена, совпадающий по диаметру с диаметром тела. Он вытянут по длине полости. Таким образом, тело не обтекается потоками жидкости, как это происходит в неподвижной жидкости, а толкает перед собой этот столб жидкости. Это связано с действием силы Кориолиса и напрямую связано с понятием столбика Тейлора - Праудмена.

Список публикаций:

[1] Greenspan H.P. *The Theory of Rotating Fluids*. Cambridge University Press. New York, 1968. 328 p.

Акустические характеристики упругих волн в биотканях как индикатор здоровья или болезни

Кошечкина Даяна Олеговна

Севастопольский государственный университет

Петренко Наталья Владимировна

vlisiutin@mail.ru

Остеопороз - системное заболевание скелета, характеризующееся потерей костной массы, ухудшением микроархитектуры костной ткани с последующим увеличением хрупкости и восприимчивости костей к разрушению. Методы количественного ультразвукового исследования костей (QUS) с 1990-х годов играют постепенно возрастающую роль в оценке степени остеопороза и прогнозировании риска переломов [1,2].

В настоящее время QUS измеряет два основных параметра – скорость звука (SOS) и наклон частотной зависимости затухания (широкополосное ультразвуковое затухание, BUA). Развитие QUS по-прежнему ограничено, поскольку интерпретация потенциально доступной информации, требует разработки акусто-медицинской теории, связывающей акустические характеристики волн с физическими характеристиками среды, а затем с биологическими и медицинскими характеристиками объекта исследования. Взаимодействие между ультразвуком и костью остаются плохо понятными из-за сложного характера кортикальной кости, которая имеет вязкоупругую пористую микроструктуру, охватывающую масштабы в несколько длин волн [1,2].

Измерения показали, что частотная зависимость коэффициента затухания α (BUA) линейно зависит от частоты, $\alpha \sim \omega^{\epsilon}$, $\epsilon \approx 1$, в широкой полосе – от 200 кГц до 2 МГц. Пропорциональность затухания и частоты должна соответствовать совершенно определенному закону дисперсии фазовой скорости (SOS) – второму информационному параметру QUS. Однако, в отличие от мягких тканей, где фазовая скорость является возрастающей функцией частоты (что правильно), в костях неожиданно обнаружилась как положительная, так и отрицательная, аномальная дисперсия. Дисперсия не коррелировала с наклоном коэффициента затухания. Причем у одного пациента – положительная, у другого – наоборот, но $\alpha \sim \omega^1$ у обоих. Заметим, что такая же частотная зависимость затухания характерна для сухих гранулированных сред, горных пород, почв и неконсолидированных морских осадков – мелкого песка, ила, глины. Специально для описания процесса распространения упругих волн в морских осадках разработана теория GS+EC и GS+ED [3,4]. Применим эту теорию для объяснения дисперсионно-диссипативных кривых QUS.

Рассмотрим данные, приведенные в [5]. На рис. 1 показаны экспериментальные и теоретические дисперсионные кривые и частотные зависимости коэффициента затухания для трех образцов губчатой кости, различающихся пористостью: №1, $P = 74,4\%$ – красные квадраты; №2, $P = 78,9\%$ – зеленые кружки; №3, $P = 81,9\%$ – синие звездочки. Остальные входные параметры следующие: $\rho_g = 1960 \text{ кг/м}^3$, $K_g = 2 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ – соответственно плотность и модуль упругости твердого материала из которого составлен пористый скелет кости; $\rho_f = 1000 \text{ кг/м}^3$, $K_f = 2.23 \cdot 10^9 \text{ Па}$ – плотность и модуль упругости насыщающего поры флюида; $\eta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ – вязкость флюида; $\kappa = 10 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$ – проницаемость пор; $\xi = 1.4$ – извилистость пор.

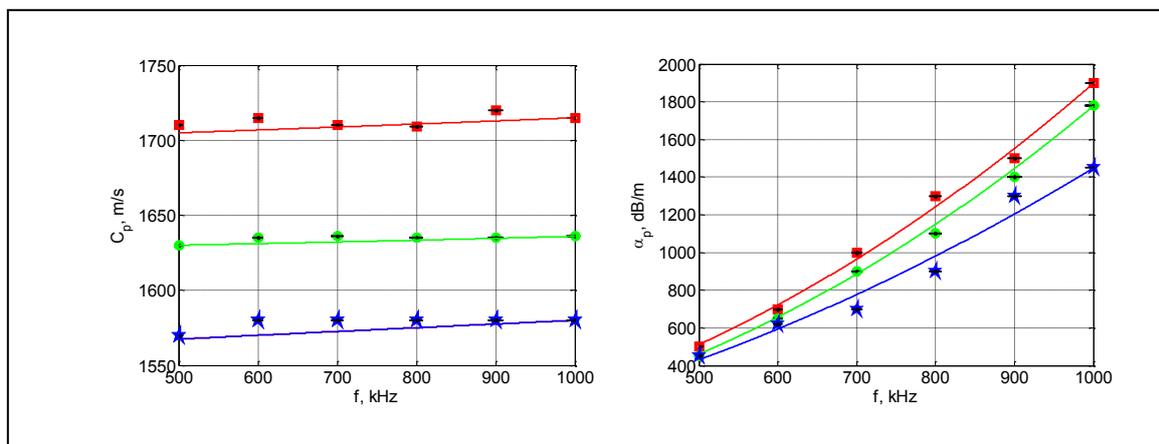


рис.1. Частотные зависимости скорости звука (SOS) и коэффициента затухания (BUA) для трех фантомов губчатой кости

Результаты инверсии следующие. Образец №1, $P = 74,4\%$, $\gamma = 1.4 \cdot 10^3 \text{ Па}$ – жесткость, аналог механической прочности всей флюидонасыщенной костной структуры в целом, $n = 0.78$ – показатель стресс-релаксации, параметр, характеризующий баланс между упругими и вязкими силами при объемной деформации. Величина показателя стресс-релаксации заключена в пределах $0 < n < 1$. Чем ближе n к нулю, тем больше проявляются упругие свойства среды, чем ближе к единице – тем больше проявляются вязкие свойства. Показатель стресс-релаксации связан с показателем в степенном законе коэффициента затухания соотношением: $\alpha \sim \omega^{1+n/2}$.

Образец №2, $P = 78,9\%$, $\gamma = 103 \text{ Па}$, $n = 0.97$.

Образец №3, $P = 81,9\%$, $\gamma = 3.14 \cdot 10^3 \text{ Па}$, $n = 0.77$. Заметим, что хотя этот образец показывает самую низкую скорость, но и самый меньший наклон BUA, что и отразилось в результатах инверсии.

На самом деле, графики на рис. 1 удивительны. Для морских осадков типа песка большей скорости (SOS) соответствует меньшее затухание (BUA), здесь – все наоборот! Из результатов инверсии видно, насколько

чутко модель реагирует на изменение SOS и BUA. Твердость 103 Па – это очень мало – полный остеопороз, тысячи Па – мало, но уже лучше.

Заключение. Проведенный математический эксперимент показал высокую чувствительность и избирательность теории GS+EC для инверсии входных параметров QUS по измеренным SOS и BUA.

Список публикаций:

- [1] Lee K., Roh H-S., Yoon S. *Correlations between acoustic properties and bone density in bovine cancellous bone from 0.5 to 2 MHz* // *J. Acoust. Soc. Am.* 2003. V. 113. N. 5. P. 2933 - 2938.
- [2] Bossy E., Laugier P., Peyrin F., Padilla F. *Attenuation in trabecular bone: A comparison between numerical simulation and experimental results in human femur* // *J. Acoust. Soc. Am.* 2007. V. 122. N. 4. P. 2470 - 2475.
- [3]. Лисютин В.А. *Простая акустическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним и вязким трением* // *Экологический вестник научных центров ЧЭС.* 2018. Т. 15, № 3. С. 39–51. <https://doi.org/10.31429/vesnik-15-3-39-51>
- [4]. Лисютин В. А. *Обобщенная реологическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним трением и эффективной сжимаемостью* // *Морской гидрофизический журнал.* 2019. Т. 35, № 1. С. 85–100. doi:10.22449/0233-7584-2019-1-85-100
- [5]. Lee K., Roh H-S., Yoon S. *Acoustic wave propagation in bovine cancellous bone: Application of the Modified Biot–Attenborough model* // *J. Acoust. Soc. Am.* 2003. V. 114. N. 4. P. 2284 - 2293.

Резкзамеңация Козени-Кармана соотношений для пористой среды с сетевой структурой порового пространства

Крапивницкая Олеся Евгеньевна

Севастопольский государственный университет

Лисютин Виктор Александрович

vlisiutin@mail.ru

Неконсолидированные морские осадки состоят из частиц несферической формы, гранулометрический состав которых может изменяться в широких пределах – от самых тонкодисперсных глин до крупнозернистых песков и гравия. Вследствие пористости, осадки являются флюидонасыщенными, причем флюид способен двигаться относительно гранул. При относительном движении флюида между твердой и жидкой компонентами среды будут возникать силы межфазного инерционного и вязкого взаимодействия.

Специально для описания процесса распространения упругих волн в морских осадках разработана теория GS+ES и GS+ED [1,2]. Входные параметры теорий следующие: пористость P ; проницаемость κ , m^2 ; размер пор a , м; извилистость ξ .

Модель частицы – сфера, или в 2D – круг – рис.1. Здесь C – центр масс, площадь внутреннего круга равна площади частицы, внешний круг описан вокруг крайних точек. Пористость среды, составленной такими частицами будет равна

$$P = 1 - (1 - P_0) \left(\frac{d + 2\delta}{d + 4\delta} \right)^3 \quad (1)$$

где $P_0 \approx 0.37$ – пористость среды из сферических частиц при их случайной упаковке, d – диаметр частицы, δ – среднеквадратичная шероховатость. Сопоставляя измеренную пористость хорошо отсортированной среды с (1) можно определить осредненную шероховатость – т.е. выявить степень отклонения реальной среды от модельной.

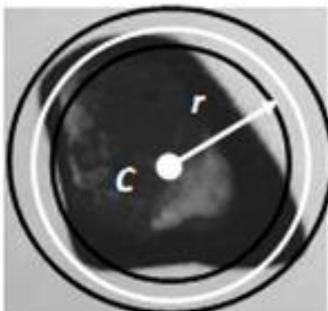


рис.1. Модель частицы

Формула Козени-Кармана имеет вид:

$$\kappa = \frac{1}{36k_0\xi} \frac{P^3}{(1-P)^2} d^2, \quad (2)$$

где k_0 – геометрический параметр порового пространства, подлежащий определению. Для сферических гранул принято считать $k_0 = 5$, $\xi = 1,5$.

На рис. 2 показаны соотношения между пористостью и размером гранул, восстановленные по результатам измерений, опубликованных в открытой печати и по результатам собственных измерений двух типов песков, собранных на пляжах п.г.г. Черноморское и г. Феодосия (117 км). На рисунке кружками отмечены результаты измерений с использованием стеклянных шариков, другими фигурами – пески с различными формами гранул, округлыми, угловатыми. Черные 5-ти и 6-ти конечные звезды – Черноморское и Феодосия. Учитывая модель частицы – шероховатую сферу, можно уточнить формулу (1), связывающую пористость и размер гранул:

$$P = 1 - 0.625 \left(\frac{d + 2\delta}{d + 4\delta} \right)^3, \quad (3)$$

Результат, даваемый (3) при $\delta=0$ показан на рис.2 сплошной линией.

Инвертируя (3) относительно шероховатости можно получить:

$$\delta = d \frac{1 - [(1 - P)/0.625]^{1/3}}{4[(1 - P)/0.625]^{1/3} - 2}, \quad (4)$$

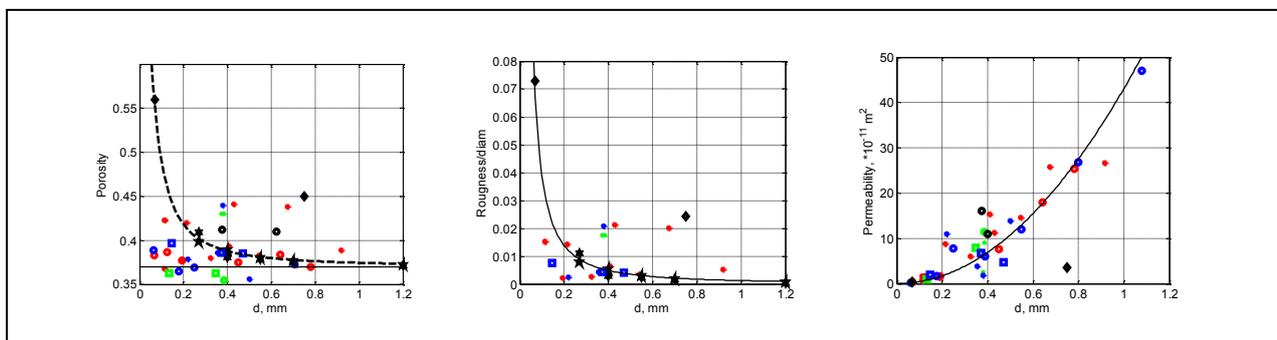


рис.2. Зависимости пористости, относительной шероховатости и проницаемости от диаметра гранул

На рис. 2 показаны результаты инверсии некоторых однотипных песков. Результаты наших измерений четко следуют теории и позволяют получить эмпирическую формулу, связывающую осредненную шероховатость и диаметр гранул:

$$\frac{\delta}{d} = 0.012 \left(\frac{2.2}{10d} \right)^{1.5}. \quad (5)$$

Как видно из рис.2 пористость – ненадежный параметр. Взяв за основу соотношение (2) определим $k_0\xi$. На рис. 2 показаны графики зависимости проницаемости от диаметра гранул. Проведенная по формуле (2) при $P=0,37$ линия соответствует $k_0\xi = 8.25$, что дает

$$\kappa = 4.297 \cdot 10^{-4} d^2, \quad (6)$$

где d , м.

Список публикаций:

- [1]. Лисютин В.А. Простая акустическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним и вязким трением // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2018. Т. 15, № 3. С. 39–51. <https://doi.org/10.31429/vestnik-15-3-39-51>
- [2]. Лисютин В. А. Обобщенная реологическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним трением и эффективной сжимаемостью // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 1. С. 85–100. [doi:10.22449/0233-7584-2019-1-85-100](https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-1-85-100)

Экспериментальное исследование течений в микроканалах модели порового дублета

Латыпова Резеда Рамилевна

Замула Юрий Сергеевич, Батыршин Эдуард Сафаргалиевич, Абрамова Ольга Александровна

Башкирский государственный университет

Замула Юрий Сергеевич

Latypova.rezeda98@mail.ru

Интерес в изучении течения жидкости в пористых средах вызван необходимостью решения проблем, возникающих в нефтегазовой сфере [1], при производстве композитных материалов [2], а также при разработке медицинских, био-, микро-, и многих других технологий [3].

Одной из актуальных областей применения модели двойной пористости является нефтяная промышленность. В настоящее время более половины залежей нефти и газа при разработке месторождения остаются в недрах, то есть относятся к трудно извлекаемым запасам. Таким образом, актуальным является внедрение эффективных способов оптимизации процесса разработки и закачки новых агентов в пласт для увеличения объемов добычи нефти.

В работе представлены результаты экспериментального изучения свойств однофазных течений в поровом дублете с использованием методов микрофлюидики и оптической микроскопии. Поровый дублет (pore doublet model), представляет собой канал, разветвляющийся на два капилляра различного диаметра с прямоугольным поперечным сечением, который затем смыкается обратно в один. Такая геометрия является привлекательной для изучения некоторых закономерностей процессов фильтрации в пористых средах [4].

Были созданы микрофлюидные устройства из полидиметилсилоксана (ПДМС) методом «мягкой» литографии с различными моделями двойной пористости. В экспериментах использовались три модели с различным соотношением ширины каналов 1:1, 1:2 и 1:3, ширина прямого участка канала составляла 150 мкм, а высота по всей длине рассматриваемого образца равнялась 30 мкм. Визуализация потоков в моделях производилось с помощью исследовательского микроскопа Olympus IX-71 с использованием трассеров (твердых флуоресцентных частиц диаметром 1 мкм). Видеорегистрация процессов велась с помощью высокоскоростной камеры Photron FASTCAM SA5.

В результате исследования были получены характеристики однофазных течений при изменении соотношения поперечных размеров микроканалов. Изучены картины течений жидкости в местах разветвления и смыкания микроканалов, а также свойства потоков при изменении скорости течения жидкости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20102. Список публикаций:

Список публикаций:

[1] Chatzis I., Dullien F. A. L. // *Journal of Colloid and Interface Science*. 1983. Т. 91. № 1. С. 199-222.

[2] Abdelwahed M. A. B. // *arXiv preprint*. 2012. arXiv: 1207.4184.

[3] Нусан А. // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. 2013. №. 5. С. 182-195.

[4] Moore T. F. // *Producers Monthly*. 1956. Т. 20. №. 10. С. 20-30.

Изучение пороговых переходов тела в полости с жидкостью, совершающей поступательные вибрации

Лебедева Галина Михайловна

Мавлютова Юлия Ринатовна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Щипицын Виталий Дмитриевич

Lebedeva.pspu@gmail.com

В работе представлено экспериментальное исследование поведения цилиндрического тела неосесимметричной формы в прямоугольной полости, заполненной вязкой жидкостью и совершающей поступательные гармонические колебания. Опыты выполняются с тяжелым цилиндром, плотность ρ_s которого больше плотности жидкости ρ_l (относительная плотность $\rho \equiv \rho_s / \rho_l > 1$).

Исследуются пороговые переходы тела, вблизи дна полости, которые обнаружены при повышении (понижении) частоты вибраций при заданной амплитуде (рис. 1, а). В ходе вибрационного воздействия были обнаружены характерные переходы тела вблизи дна полости: пороговый поворот тела своей большой осью

сечения перпендикулярно нижней стенке кюветы; отрыв тела от дна полости при повышении частоты вибрации; обратный разворот тела, и его возвращение ко дну полости – при понижении частоты вибрации. Все экспериментальные результаты по изучению пороговых переходов цилиндра построены на плоскости параметров (b, f) , где b – это амплитуда колебаний полости, f – частота вибраций. Эксперименты выполнены в широком диапазоне безразмерных частот вибраций, что достигается путем варьирования вязкости рабочей жидкости (водоглицериновый раствор), амплитуды и частоты вибраций. Обнаружено, что во всех пороговых переходах наблюдается гистерезис (заштрихованная область на *рис. 1, а*).

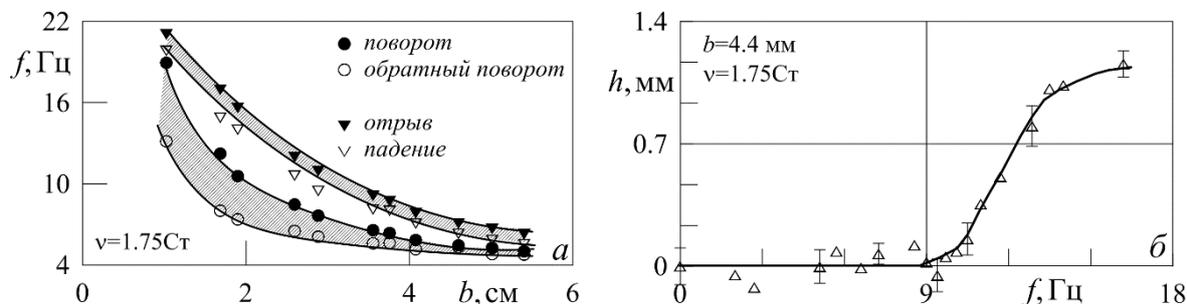


рис. 1. Пороговые переходы тела (а) и зависимость величины зазора от частоты вибраций (б).

С помощью фоторегистрации процесса с последующей обработкой на компьютере была исследована зависимость величины зазора между цилиндром и дном полости от частоты вибраций (при фиксированной b) (*рис. 1, б*). Эксперименты выполнены на жидкостях различной вязкости, для различных амплитуд и частот колебаний полости. Обнаружено, что характерная величина зазора во всех экспериментах не превышает толщину вязкого пограничного слоя Стокса δ , что хорошо согласуется с результатами исследований вибрационной динамики круглого цилиндра при поступательных вибрациях [1].

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-71-00122.

Список публикаций:

[1] V.D. Schipitsyn, V.G. Kozlov. *Oscillatory and Steady Dynamics of a Cylindrical Body Near the Border of Vibrating Cavity Filled with Liquid // Microgravity Sci. Technol. (2018) 30: 103-112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12217-017-9583-4>.*

Изучение траекторий движения эллиптического цилиндра в вибрирующей полости с жидкостью в зависимости от относительной плотности тела

Мавлютова Юлия Ринатовна

Лебедева Галина Михайловна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Щипицын Виталий Дмитриевич

mavlyutova.pspu@gmail.com

Экспериментально исследуется поведение тяжелого эллиптического цилиндра 1 (*рис. 1*) вблизи дна вибрирующей полости 2 , полностью заполненной вязкой несжимаемой жидкостью. Эксперименты выполняются в постановке, подробно описанной в работе [1]. Полость, представляющая собой прямоугольный параллелепипед, изготовленный из плексигласа, совершает поступательные гармонические колебания вдоль своей горизонтальной границы. Опыты проводятся с телами с относительной плотностью $\rho \equiv \rho_s / \rho_L > 1$, где ρ_s – плотность тела, ρ_L – плотность жидкости. В качестве рабочей жидкости используется водоглицериновый раствор. Вязкость раствора варьируется путём изменения массовой доли глицерина в нем. Частота и амплитуда колебаний полости в экспериментах варьируется в широком диапазоне. Также изменяется относительная плотность тел.

Обнаружено, что в отсутствие вибраций, а также при их малой интенсивности тело в поле силы тяжести находится на дне кюветы. Повышение частоты вибраций (при заданной амплитуде колебаний полости) приводит к развороту тела своей большой осью поперечного сечения перпендикулярно дну полости. При дальнейшем увеличении частоты между телом и нижней стенкой полости пороговым образом появляется зазор. Обратные переходы тела происходят также пороговым образом при понижении частоты вибраций. В переходах наблюдается гистерезис. Эксперименты фиксируются с помощью скоростной видеосъемки с дальнейшей покадровой обработкой результатов посредством специализированного ПО. Получены зависимости координаты продольных колебаний кюветы и тела, зазора между телом и дном полости, а также угла поворота тела от времени.

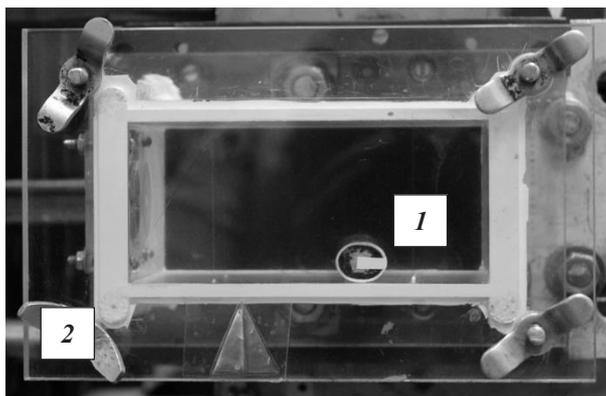


рис.1. Кювета, вид с торца.

Построены траектории колебаний тяжелого эллиптического цилиндра в вибрирующей полости с жидкостью. Все временные зависимости осциллирующего движения тела получены для характерных режимов колебаний цилиндра в полости: у дна полости, до его отрыва от нижней границы; после его разворота вблизи дна полости; и на некотором расстоянии от дна полости, после его всплытия.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-71-00122.

Список публикаций:

[1] Иванова А.А., Козлов В.Г., Щипицын В.Д. Подъемная сила, действующая на цилиндрическое тело в жидкости вблизи границы полости, совершающей поступательные колебания // ПМТФ. 2014. № 5. С. 55–64.

Однопузырьковая сонолюминесценция

Матюшенко Сергей Алексеевич

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

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

sergey199622@mail.ru

Акустическая кавитация – это процесс образования заполненных газом пузырьков в жидкости при распространении в ней звуковой волны. Во время этого процесса относительно низкая средняя плотность энергии звуковой волны трансформируется в высокую плотность энергии, заключенную в малых объемах схлопывающихся пузырьков. Это приводит к следующим физическим эффектам: излучению и рассеянию света; излучению и рассеянию звука; эрозии поверхностей твердых тел, соприкасающихся с жидкостью; химическим реакциям. Свечение кавитационных пузырьков впервые наблюдалось Френцелем и Шульцесом [1] и было названо сонолюминесценцией (звукolumинесценцией) поскольку они считали, что излучение не связано с нагреванием. Сейчас это явление называется многопузырьковой сонолюминесценцией. В настоящее время для объяснения механизма многопузырьковой сонолюминесценции существуют две теории: тепловая и электрическая [2]. В 1985 году Крамом с сотрудниками [3] было открыто явление, которое назвали однопузырьковой сонолюминесценцией, оно отличается от многопузырьковой сонолюминесценции тем, что в жидкости существует и светится только один пузырек. Пузырек стабилен, его свечение может продолжаться несколько часов. Природа однопузырьковой сонолюминесценции, по-видимому, тепловая [2].

Настоящая работа посвящена исследованию однопузырьковой сонолюминесценции в воде.

На рис. 1 представлена электрическая принципиальная схема установки, созданной для наблюдения явления однопузырьковой сонолюминесценции. Основу её составляет генераторная микросхема XR2206, сигнал с которой попадает на операционный усилитель OP1. Амплитуда напряжения на выходе усилителя не более 15 В, а на пьезоэлементах HF1 и HF2 за счёт резонанса в последовательном колебательном контуре с катушкой переменной индуктивности L1 амплитудное значение напряжения может достигать 320 В.

Колба заполнялась предварительно прокипячённой и охлаждённой затем практически до 0° по Цельсию водой. Начальный микропузырёк воздуха вводился в жидкость кончиком медицинской иглы после подачи напряжения на пьезоэлементы. При приближении частоты акустических колебаний к резонансной частоте колбы в воде возникают множественные слабые вспышки света, что, по-видимому, является проявлением многопузырьковой сонолюминесценции. После этого остается только один воздушный пузырек в центре колбы и при определенных условиях наблюдается однопузырьковая сонолюминесценция.

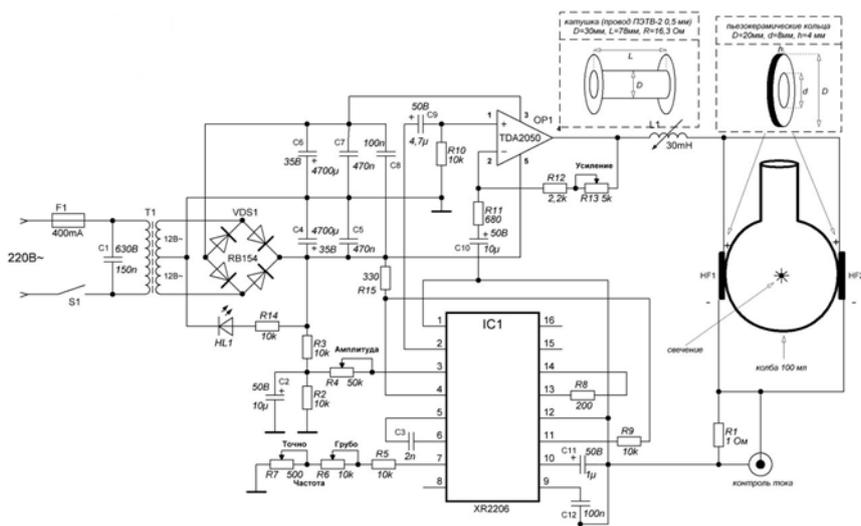


рис.1. Схема экспериментальной установки

Частота ультразвука, при которой наблюдается однопузырьковая сонолюминесценция, лежит в пределах: 26500-27100 Гц. Частота, при которой наблюдается максимум свечения, зависит: от температуры жидкости (при увеличении температуры воды на 1 градус частота сдвигается на 40 Гц вверх по частоте); от точки крепления колбы в штативе (если горлышко колбы обжато лапкой в средней части, то частота одна, если в верхней части – уже другая); от уровня жидкости в колбе (если из колбы удалить хотя бы один миллилитр воды, то свечение пропадёт).

Исследовались пульсации кавитационного пузырька. На рис. 2 кривая CH1 – зависимость напряжения на пьезоэлементах HF1 и HF2 от времени. Минимумы напряжения соответствуют максимумам давления в центре колбы. Лазерный луч, проходя через колбу, попадает на фотодетектор. Если на пути луча располагается пульсирующий пузырёк, то происходит модуляция светового потока, вследствие чего изменяется напряжение на выходе фотодетектора. Кривая CH2 – зависимость напряжения на выходе фотодетектора от времени. Минимумы напряжения на пьезоэлементах соответствуют максимумам напряжения на выходе фотодетектора. Следовательно, в те моменты времени, в которые давление в центре колбы максимально, радиус пузырька минимален.

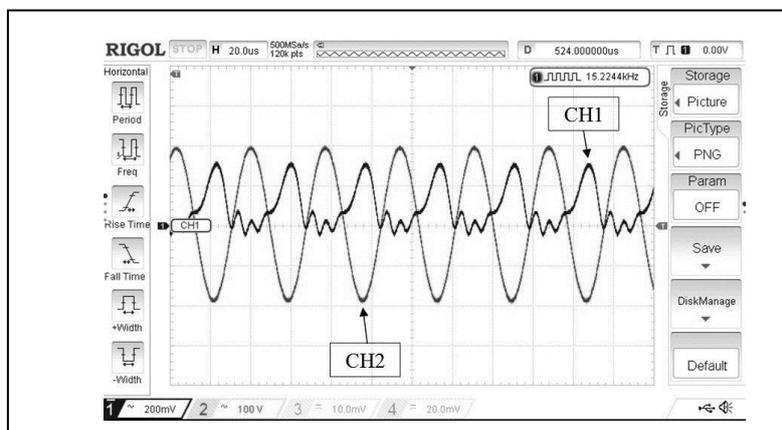


рис.2. Осциллограмма, отображающая зависимость напряжения на пьезоэлектрических преобразователях (CH2) и напряжения на выходе фотодетектора от времени (CH1)

Изучение явления однопузырьковой сонолюминесценции важно как с теоретической, так и с практической точек зрения. Это явление может найти практическое применение. Есть указания [2] на то, что температура в светящемся пузырьке может достигать величины, при которой возможен термоядерный синтез. В дальнейшем планируется исследование сонохимических реакций в жидкостях, сопровождающих однопузырьковую сонолюминесценцию, что позволит оценить давление и температуру внутри кавитационного пузырька.

Список публикаций:

[1] Frenzel H., Schulters H. Luminescenz im ultraschallbeschickten. Z. Physik Chem. 1934. V. 27B. №1. P. 421-424.
 [2] Марзулис М.А. Сонолюминесценция. УФН. 2000. Т. 170, №3. С. 263-287.
 [3] Crum C.C., Reynolds G.T. Sonoluminescence produced by "stable" cavitation. //J. Acoust. Soc. Am. 1985. V.78. P. 137-139.

Исследование скорости распространения акустических волн ультразвукового диапазона в растворах NaCl в температурной динамике

Харчевский Антон Александрович

*Степанов Герман Олегович, Родионова Наталья Николаевна,
Серов Дмитрий Александрович,¹ Асташев Максим Евгеньевич,*

ООО «НПФ «Материа Медика Холдинг»

¹Институт биофизики клетки РАН

HarchevskiyAA@materiamedica.ru

Изучению уникальных физических свойств воды посвящено множество современных исследований. Однако, поскольку вода является нелинейной средой, очень важно проводить измерения ее параметров с высокой точностью. Одним из самых точных методов измерения сжимаемости жидкостей считается метод резонансного измерения скорости звука в интерферометре фиксированной длины [1]. Данный метод сочетает высокую чувствительность, точность и небольшой объем исследуемого образца жидкости (несколько миллилитров). Принцип измерения заключается в исследовании резонансных свойств составного резонатора, включающего в себя образец исследуемой жидкости.

В проводимых ранее исследованиях нами были обнаружены различия скорости распространения ультразвука в смесях сильноразбавленных водных растворах NaCl по сравнению с контролями. Данные различия могут быть обусловлены отличиями в коэффициентах сжимаемости из-за неоднородной структуры молекулярной воды в протестированных растворах и контролях. Кроме того, было установлено, что смеси сильноразбавленных водных растворов NaCl обладают высокой температурной устойчивостью в интервале изменения температуры от 60°C до 20°C [2].

Одной из целей настоящего исследования было определение скорости распространения и поглощения ультразвуковых акустических колебаний в водных растворах NaCl, приготовленных по различной технологии:

- образец NaCl, приготовленный смешиванием раствора NaCl с сильноразбавленным раствором NaCl (разбавление в 10^{24} раз в воде очищенной, полученной на установке Milli-Q Integral 5 Water Purification System). Расчётная конечная концентрация NaCl в полученном образце: 0,9 %;
- образец NaCl, приготовленный смешиванием раствора NaCl с контрольным сильноразбавленным раствором воды в воде (аналогично проводимое разбавление в 10^{24} раз). Расчётная конечная концентрация NaCl в полученном образце: 0,9 %;
- образец NaCl, приготовленный смешиванием раствора NaCl с водой. Расчётная конечная концентрация NaCl в полученном образце: 0,9 %

Все растворы были предоставлены ООО «НПФ «Материа Медика Холдинг» в готовом для тестирования виде.

Измерение проводили в термостатированных ячейках (при 20 °C) на частоте около 7 МГц. Данный подход к измерению скорости звука по изменению частоты резонансного пика амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в интерферометре фиксированной длины обладает достаточной точностью и применим для водных растворов [1]. При проведении измерений каждый тестируемый образец по очереди заливали в экспериментальную ячейку, а в контрольную ячейку заливали воду очищенную I класса, полученную на установке Milli-Q. Для проведения анализа разностной скорости ультразвука в экспериментальной и контрольной ячейках выбирали стабильный резонансный пик с максимальной амплитудой. В течение 20 минут проводили 240 измерений для выбранного пика (т.о. получали 240 экспериментальных значений). Далее полученные данные усредняли и по методике, описанной ранее [1], рассчитывали дифференциальную скорость звука, т.е. разностную скорость звука между значениями в экспериментальной (заполненной тестируемым образцом NaCl) и контрольной (заполненной водой Milli-Q) ячейках. Качество выполнения эксперимента контролировалось по калибровочным значениям, получаемым в конце каждого измерительного дня. Для каждого тестируемого образца получали по 6 значений скорости распространения ультразвука в нём.

Второй целью исследования являлось определение температурной зависимости дифференциальной скорости ультразвука в тестируемых образцах NaCl с помощью методики, описанной в [4]. Для проведения измерений тестируемые образцы заливали в экспериментальную ячейку, воду очищенную I класса полученную на установке Milli-Q – заливали в контрольную ячейку. Стабилизировали температуру жидкостей в обеих ячейках на уровне 60-65°C, затем регистрировали АЧХ и ФЧХ (фазо-частотную характеристику). Выбрав резонансный пик, установка была переключена в режим удержания пика, а термостат переведён в режим постепенного уменьшения температуры со скоростью 0,3°C/мин. Температуру снижали до значения 4°C (использовали охладитель на основе модулей Пельтье). На протяжении всего времени изменения температуры измеряли частоту и ширину резонансного пика в обеих ячейках. Температуру в ячейках определяли косвенным

методом по скорости звука в контрольной ячейке (с водой). Каждый тестируемый образец NaCl в данной постановке измеряли по 3 раза.

В проведенной работе было обнаружено, что дифференциальная скорость распространения ультразвука в растворе NaCl, приготовленном путём смешивания раствора NaCl с сильноразбавленным раствором NaCl (разбавление в 10^{24} раз) до конечной расчётной концентрации NaCl 0,9 %, статистически значимо отличается ($p < 0,05$) от таковой как в растворе NaCl, приготовленном смешиванием раствора NaCl с контрольным разбавлением воды (разбавление в 10^{24} раз) (до конечной расчётной концентрации NaCl 0,9 %), так и в растворе NaCl, приготовленном смешиванием раствора NaCl с водой (до конечной расчётной концентрации NaCl 0,9 %). Кроме того, показано, что дифференциальная скорость распространения ультразвука в указанных растворах статистически значимо различается ($p < 0,05$) на всём измеряемом диапазоне температур от 60 до 4 °С.

Полученные результаты подтверждают предложенную профессором Эпштейном О.И. концепцию [5] о модифицирующем влиянии сверхвысоких разведений на исходное вещество. Влияние может быть обусловлено изменением коэффициента сжимаемости системы NaCl – вода, после технологического воздействия, поскольку, с физической точки зрения, расчетная конечная концентрация NaCl, от которой зависит скорость распространения акустических колебаний [6], во всех образцах была одинакова и составляла 0,9 %.

Список публикаций:

- [1] *Astashev M.E., Belosludtsev K.N., Kharakoz D.P. Method for digital measurement of phase-frequency characteristics for a fixed-length ultrasonic spectrometer // Acoustical Physics, 2014. — Vol. 60, — № 3. — P. 335-341.*
- [2] *Харчевский А.А., Степанов Г.О., Родионова Н.Н., Асташев М.Е. Акустические методы анализа Релиз-Активных препаратов в форме водных и водно-спиртовых растворов // Материалы конференции ВНКСФ-24 - 31 марта - 7 апреля, 2018 – Томск – с. 439-440.*
- [3] *Иофе В. К., Янпольский А. А. Расчетные графики и таблицы по электроакустике //М.-Л.: Госэнергоиздат. – 1954. – С. 218-219.*
- [4] *Харакоз Д. П. и др. Исследование кинетики образования зародышей новой фазы при главном фазовом переходе в везикулярных фосфолипидных мембранах различной структуры. – Российский фонд фундаментальных исследований, 1995. – №. 95-04-12226.*
- [5] *Erstein O. The spatial homeostasis hypothesis // Symmetry. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – С. 103.*
- [6] *Денисов Д. А. Метод расчета скорости звука во взаимных системах по известным концентрациям ионов // Акустический журнал. – 2007. – Т. 53. – №. 5. – С. 672-677.*

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

Абрамян Вильмен Леонович, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Создания и эксплуатации ЧПУ станков малых размеров
e-mail: 9882016alpha@gmail.com стр. 377

Ахметова Алия Шамилевна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический университет
Исследование 4-х канальной высокоскоростной оптической линии связи
Лопатюк Алёна Викторовна,
e-mail: Aliyushka97@inbox.ru стр. 377

Бахчевников Валентин Владимирович, аспирант 4 год обучения
Таганрог, Южный федеральный университет, институт радиотехнических систем и управления
Моделирование характеристик рассеяния радиосигнала на слоистой структуре
Лобач Владимир Тихонович, к.т.н.
e-mail: valentine.bach@gmail.com стр. 378

Белослудцева Анна Алексеевна, магистрант 2 года обучения
Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, вычислительных систем
Моделирование расчетов параметров ближнего порядка разупорядоченного двухслойного графена
Пономарев А.Н.; Бобенко Н.Г., к.ф.-м.н.; к.ф.-м.н.
e-mail: ann.bell0301@gmail.com стр. 380

Благодарный Александр Сергеевич, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Программный комплекс для классификации речевых запросов с помощью машинного обучения
e-mail: alex.kronin777@gmail.com стр. 381

Борзенко Андрей Сергеевич, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Построение параллельной схемы формирования гармонических сигналов методом прямого цифрового синтеза
Уразовский Владимир Сергеевич,
e-mail: ghjkh67@mail.ru стр. 382

Волков Артем Викторович, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Построение сверхвысокоскоростной схемы цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой
Уразовский Владимир Сергеевич,
e-mail: volkov-artiom-viktorovich@mail.ru стр. 383

Грозных Матвей Владимирович, магистрант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет, Физико-технологический
Устройство для непрерывного измерения энергии электронного пучка ускорителя
Рябухин Олег Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: groznykh.m@gmail.com стр. 384

Двойнишников Сергей Владимирович, зав.лаб.
Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, лаб. основ безопасности
Современные оптические триангуляционные методы трехмерного сканирования
e-mail: dv.s@mail.ru стр. 385

Деркачев Владимир Александрович, аспирант
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 стр. 386

Крикунов Станислав Александрович, 3 курс
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 стр. 388

Кувалкин Евгений Сергеевич, 3 курс
Калининград, Балтийский федеральный университет имени И.Канта, институт физико-математических наук
Программная реализация методики расчета затухания радиосигнала в дожде для спутниковой связи
Захаров Артём Игоревич, аспирант
e-mail: kuvalkineugene@gmail.com стр. 388

Лопатюк Алёна Викторовна, ст. преподаватель
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Моделирование оптического планарного ответвителя
Сметанина Ольга Николаевна, д.т.н.
e-mail: alyona-lopatyuk@yandex.ru стр. 390

Семенов Дмитрий Олегович, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Приложение для тестирования модуля постобработки данных лазерного доплеровского измерителя скорости
Двойнишников Сергей Владимирович, д.т.н.
e-mail: SeemDima@gmail.com стр. 391

Тарасов Даниил Алексеевич, 11 класс
Новокузнецк, Гимназия № 44 г. Новокузнецка
Математическое моделирование многоступенчатых ударников переменного сечения в применении к численному методу расчета ударного импульса
Тимофеев Евгений Геннадьевич, -
e-mail: vefomit77777@yandex.ru стр. 392

Трофимова Елена Сергеевна, аспирант 1 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-технологический
Применение модульного подхода в проектировании нового многофункционального неонатального медицинского оборудования
e-mail: trofimova.e.s@yandex.ru стр. 394

Фадеева Анастасия Борисовна, магистрант 2 года обучения
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 стр. 395

Фурменков Алексей Юрьевич, 3 курс
Калининград, Балтийский федеральный университет имени И.Канта, институт физико-математических наук
Расчёт выходного фильтра ШИМ-инвертора
Захаров Артём Игоревич, аспирант
e-mail: alexform@mail.ru стр. 396

Черноцкая Кристина Людвиговна, магистрант 2 года обучения
Таганрог, Южный федеральный университет, институт радиотехнических систем и управления
Применение Matlab-Simulink для анализа гибридных систем синтеза частот
Пилипенко Александр Михайлович, к.т.н.
e-mail: mellorykrieger@mail.ru стр. 397

Создания и эксплуатации ЧПУ станков малых размеров

Абрамян Вильмен Леонович

Благодарный Александр Сергеевич, Крикунов Станислав Александрович

Южный федеральный университет

9882016alpha@gmail.com

В настоящее время широкое распространение получили станки с чип-программным управлением или ЧПУ станки. Их можно встретить в различных предприятиях, коворкингах, в домах обычных людей. Спектр задач, решаемых этими устройствами весьма широк: они осуществляют токарные, фрезеровочные, в том числе и 5-координатные фрезеровочные работы, обрабатывают металл, пластик, дерево, бумагу и многое другое. Современное развитие технологий сделало ЧПУ станки доступными обычным пользователям и всё больше людей приобретают 3D-принтеры для различных целей: для ремонта и создания элементов корпусов электронных устройств, для использования в своей домашней мастерской, для изготовления необычных элементов интерьера и т. д.

Целью данной работы являлось создание и изучение работы ЧПУ-устройств на примере небольшого лазерного гравера и плоттера (устройства, позволяющего печатать чертежи с высокой точностью), собранных на базе недорогих и легкозаменяемых электронных модулей. В качестве управляющего элемента для обоих устройств был выбран контроллер Atmel Atmega 326PU на плате Arduino Uno.

В ходе работы были решены следующие задачи: изготовить механику для передвижения режущей или рисующей головки, калибровка электроники для точной работы механики. Также в рамках данной работы была усовершенствована конструкция серийно производимого 3D-принтера Creality (усовершенствована система охлаждения экструдера, записан загрузчик в плату управления) с целью совершенствования его параметров для оказания конкурентоспособных услуг по 3D-печати и литью из пластмасс и металла.

В итоге точность, скорость и качество работы собранных ЧПУ гравера и плоттера оказались сопоставимыми с аналогичными параметрами покупных станков, при этом гравер был собран на базе DVD-привода компьютера, а большая часть элементов корпуса плоттера была напечатана с помощью 3D-печати, что означает низкую себестоимость и лёгкость починки самодельных станков, что в свою очередь делает их выгодной заменой покупным аналогам. Тестовое управление станками осуществлялось с помощью программы Universal G-code sender. После тестовых запусков плоттер был применён для нанесения рисунка дорожек печатной платы на лист бумаги с целью дальнейшего его переноса на текстолит, при этом даже самые тонкие дорожки были прорисованы с необходимой точностью и работа со станком оказалась легче, чем с лазерным принтером. Гравер применялся для нанесения разметки и шкал на лицевую часть корпуса различных радиоэлектронных устройств, что значительно улучшило их внешний вид и удобство использования. Модернизация 3D принтера улучшила качество печати, что позволило создавать более точные и качественные детали даже самых небольших моделей.

Исследование 4-х канальной высокоскоростной оптической линии связи

Ахметова Алия Шамилевна

Лопатюк Алёна Викторовна

Башкирский государственный университет

Лопатюк Алёна Викторовна

Aliyushka97@inbox.ru

В работе описывается модель 4-х канальной DWDM оптической линии связи при больших скоростях передачи данных (рис1). Для моделирования используется программа LINKSIM 2.0.

В этой модели осуществляется принципы волнового уплотнения. Мультиплексор DWDM использует только одно окно прозрачности 1550 нм, в пределах области усиления EDFA (1530-1560 нм) и малые расстояния между мультиплексными каналами (0,8 или 0,4 нм). Суммарная длина оптического волокна составляет 80 км. В модели используется два участка по 40 км и два оптических усилителя. Модель состоит также из аттенюатора с указанным затуханием. Затухание определяется исходя из средней входной мощности и чувствительностью фотоприемника. Выход аттенюатора подключен к блоку демультиплексора. В демультиплексоре используются фильтры с теми же частотами, что и в мультиплексоре. Оптический сигнал с выхода демультиплексора идет к блоку фотоприемника. Далее электрический сигнал с выхода фотоприемника передается BER-тестеру.

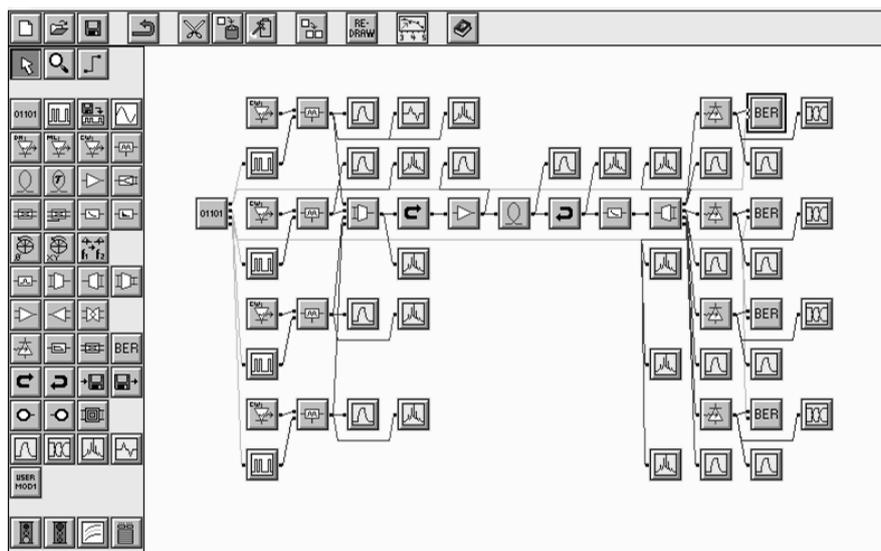


рис.1. Модель 4-х канальной DWDM оптической линии связи

В данной работе были проанализированы спектры сигналов в четырех каналах, в волокне после мультиплексора, осциллограммы сигналов, глаз-диаграммы до и после фотоприемника. Построен график зависимости битовой ошибки от скорости передачи данных (рис.2 а). Битовая скорость изменялась от 2 Гбит/с до 16 Гбит/с. Также построена глаз-диаграмма первого выходного канала при скорости 10 Гбит/с (рис.2 б).

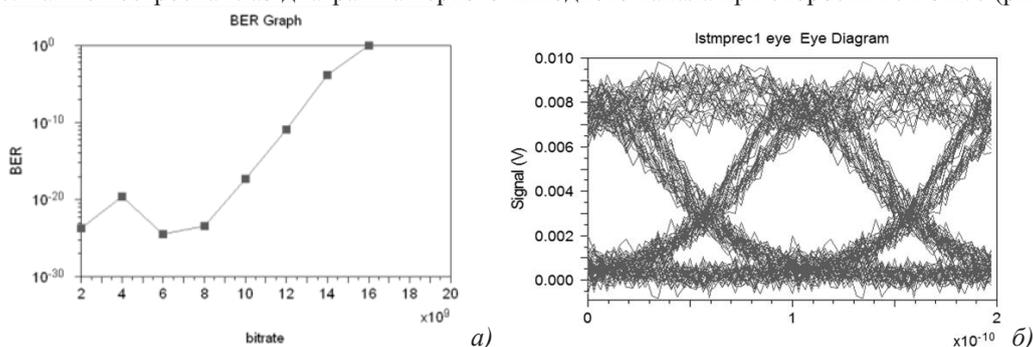


рис.2. а) Зависимость битовой ошибки от скорости передачи данных, б) глаз-диаграмма выходного канала

При изменении скорости битовая ошибка менялась в пределах 10^{-25} до 10^{-10} при увеличении скорости до 12 Гбит/с. Дальнейшее увеличение битовой скорости привело к нарушению работы линии связи вплоть до аварийного режима. Второй, третий и четвертый каналы имеют аналогичные зависимости. Данный метод моделирования может быть применен при реальном проектировании оптических линий связи.

Моделирование характеристик рассеяния радиосигнала на слоистой структуре

Бахчевников Валентин Владимирович

Южный федеральный университет

Лобач Владимир Тихонович

valentine.bach@gmail.com

Для поиска оптимальных методов обработки сигнала в подповерхностной радиолокации имеется необходимость применения имитационных моделей по причине дороговизны исследования посредством натуральных экспериментов. При этом имитационная модель, в силу многопараметричности моделирования, должна быть основана на быстрых методах решения прямой электродинамической задачи. Известно множество точных либо приближенных методов [1], позволяющих оценивать с высокой точностью или приблизительно электромагнитное поле (ЭМП), рассеянное слоистой моделью почвогрунтов. На данный момент нет проработанного обобщенного подхода для быстрого инженерного расчета характеристик радиолокационного сигнала, рассеянного на слоистых шероховатых структурах с неоднородностями. В рамках данной работы была предложена имитационная модель, основанная на интеграле Стреттона-Чу, позволяющая получать

комплексный коэффициент отражения. Постановка задачи отображена на рисунке 1. Модель слоистой цели представляется границами, состоящими из треугольных факетов, и средами с электрофизическими характеристиками $(\hat{\epsilon}, \hat{\mu})$. Размеры факетов выбираются из условия стационарности распределения фазы по факету $\Phi_\alpha^{(n)}$ и при этом диаграмма рассеяния является ненаправленной. Второй верхний индекс (I, II, III) означает номер прохода по границам слоев.

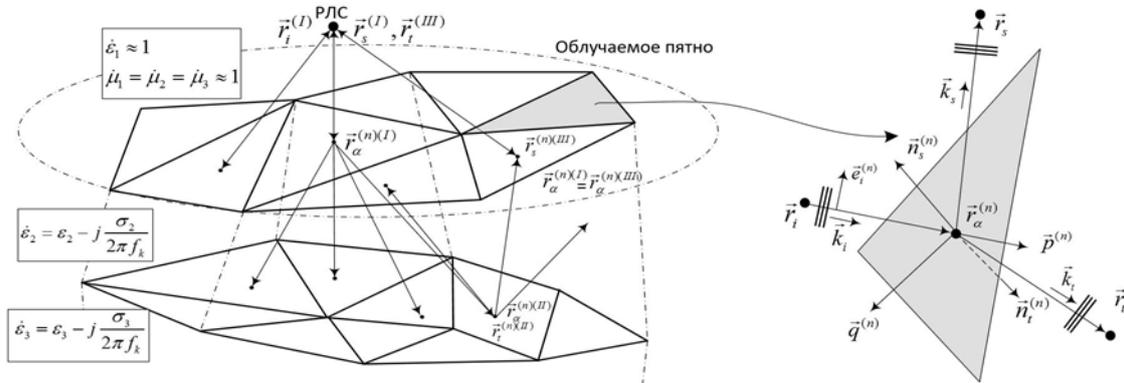


рис.1. Постановка задачи

Выражение для полного отраженного $\mathbf{E}_s(\mathbf{r}_s)$ электрического поля (ЭП) в локальной точке приема \mathbf{r}_s базируется на интеграле Стреттона-Чу, который выводится из принципа Френеля [2]

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{r}_s) = jk_i \sum_n \frac{E_i(\mathbf{r}_\alpha^{(n)})}{4\pi |\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}|} [\mathbf{I} - \mathbf{k}_s \mathbf{k}_s^\perp] [\eta_i \mathbf{H}_\parallel(\mathbf{r}_\alpha^{(n)}) + \mathbf{k}_s \times \mathbf{E}_\parallel(\mathbf{r}_\alpha^{(n)})] \Phi_\alpha^{(n)}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_s), \quad (1)$$

где

$$E_i(\mathbf{r}_\alpha^{(n)}) = \frac{\mathbf{e}_i E_0}{4\pi |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}|} e^{jk_i |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}|}, \quad (2)$$

$$\Phi_\alpha^{(n)}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_s) = \Delta S_\alpha^{(n)} e^{j(k_s |\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_\alpha^{(n)}| + k_i |\mathbf{r}_\alpha^{(n)} - \mathbf{r}_i|)}, \quad (3)$$

$E_i(\mathbf{r}_\alpha^{(n)})$ – напряженность падающего ЭП; $\mathbf{E}_\parallel(\mathbf{r}_\alpha)$, $\mathbf{H}_\parallel(\mathbf{r}_\alpha)$ – напряженности локального тангенциального ЭМП, связанные с геометрическим расположением факета $(\mathbf{q}, \mathbf{p}, \mathbf{n})$ и коэффициентами Френеля ($R^{\text{TE}}, R^{\text{TM}}$); $\eta_i = \sqrt{\hat{\mu}_i / \hat{\epsilon}_i}$ – волновое сопротивление среды; $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_s, \mathbf{r}_\alpha^{(n)}$ – радиус-векторы положения источника ЭМП, n-го факета и приемника ЭМП; $\mathbf{k}_i, \mathbf{k}_s$ – волновые числа падающего и отраженного ЭМП; \mathbf{I} – единичный тензор. Выражение для прошедшего ЭП $\mathbf{E}_s(\mathbf{r}_t)$ отличается лишь наличием знака «минус» и то, что $\mathbf{k}_s = \mathbf{k}_t, \mathbf{r}_s = \mathbf{r}_t$.

По результатам моделирования были проведены верификация и валидация (см. рисунок 2). На рисунке 2а представлен коэффициент отражения от двухслойной распределенной цели с шероховатыми границами. Основные параметры модели были следующими: относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon=10$, тангенс угла потерь $\text{tg}\delta=0.03$, амплитуда шероховатостей верхней границы $\delta h_1=0.1$ м, амплитуда шероховатостей нижней границы $\delta h_2=0.2$ м. На рисунке 2б представлены значения коэффициента вариации амплитуды отраженного радиосигнала, полученного при имитации зондирования грунтовых вод. Средняя глубина залегания грунтовых вод изменялась в пределах $\Delta h_0 = 0.25 \div 4$ м, полученные в ходе моделирования.

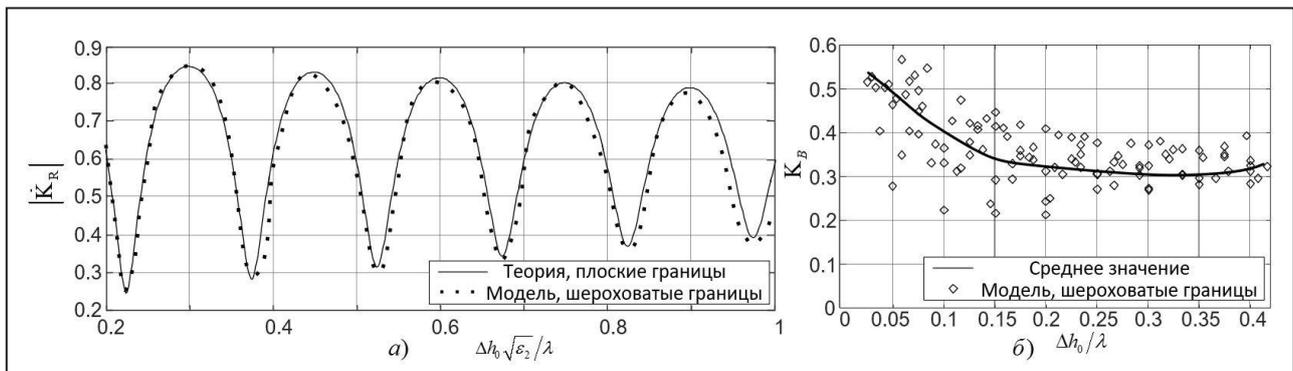


рис.2. Верификация и валидация: а) Модуль коэффициента отражения; б) Коэффициент вариации

Результаты модельного эксперимента показывают такую же тенденцию изменения коэффициента вариации от средней толщины слоя, как и в [3]. Амплитуда комплексного коэффициента отражения в результате моделирования практически совпадает с теоретическими данными [4]. Результаты моделирования траекторного сигнала от одиночной подповерхностной цели также соответствуют теоретическим положениям [5]. Следовательно, разработанная феноменологическая модель прошла валидацию и верификацию, следовательно, ее можно использовать для апробирования новых алгоритмов обработки подповерхностных радиосигналов.

Список публикаций:

[1] Saleh B. (ed.). *Introduction to subsurface imaging*. – Cambridge University Press, 2011.

[2] Gerekos C. et al. *A Coherent Multilayer Simulator of Radargrams Acquired by Radar Sounder Instruments //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2018. – №. 99. – С. 1-17.

[3] Отчет по НИР «Модернизация действующего макета подповерхностного радиолокатора и проведение натурных экспериментов по дистанционному зондированию грунтовых вод», х/д №11230, 2004г. руководитель Лобач В.Т.

[4] Зубкович С.Г. *Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности*. М.: Сов. Радио, 1968. 224 с.

[5] Lobach V. T., Potipak M. V. *HF-band synthetic aperture radar for buried objects detection //2014 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology*. – 2014.

Моделирование структуры и расчет параметров ближнего порядка разупорядоченного двухслойного АВ графена

Белослудцева Анна Алексеевна¹
Баркалов Леонид Дмитриевич²

¹*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*

²*Университет ИТМО*

Бобенко Н.Г., к.ф.-м.н., Пономарев А.Н., к.ф.-м.н.

Ann.Bell0301@gmail.com

Благодаря уникальным электронным свойствам двухслойный графен представляет огромный интерес как для фундаментальных исследований, так и для дальнейшего практического применения. Очень высокая подвижность электронов (10^5 см²/Вс) [1] в двухслойном графене, по сравнению с монокристаллическим кремнием (1400 см²/Вс)[2] делает его потенциальным кандидатом для использования в нанoeлектронике. Однако, биграфен с идеальной структурой из-за неудовлетворительных характеристик (низкой плотности носителей заряда и нулевой ширины запрещенной зоны), неинтересен для использования. Поэтому крайне важно изучить влияние дефектов, возникающих в образцах в процессе роста и постобработки, на свойства графена, чтобы понять, как именно необходимо изменить его структуру для достижения характеристик, необходимых для дальнейшего применения этого материала.

Описать дефекты структуры можно через параметр ближнего порядка, который определяется видами взаимопорядочения атомов разного сорта на малых расстояниях. Существует ряд автоматизированных и экспериментальных методик, позволяющих получать значения параметров ближнего порядка для различных двух- и трёхмерных структур. Однако, для двухслойного графена в настоящий момент информация о параметрах ближнего порядка отсутствует. Ранее для описанного в [3] метода нами была проведена автоматизация расчетов параметров ближнего порядка для однослойного графена[4], ОЦК, ГЦК и простой кубических решеток[5]. Полученные в результате значения имели качественное и количественно согласие с экспериментальными данными. Используя тот же подход к моделированию, но с учетом особенностей структуры двухслойного АВ графена и экспериментально определенного местоположения дефектов в ней, было разработано аналогичное программное обеспечение.

Программа написана на языке программирования Java, с использованием свободно распространяемого аплета Jmol, позволяющего визуализировать структуры с ближним порядком на атомном уровне. При открытии программы перед пользователем появляется кристаллическая решетка двухслойного АВ графена, с возможностью выбора атомов другого сорта, которые могут располагаться в верхнем слое, над слоем или между слоями, что соответствует экспериментально обнаруженным местоположениям дефектов[6]. После выбора одного или нескольких атомов другого сорта и нажатия кнопки «Short range» справа от изображения биграфена с дефектами появляются параметры ближнего порядка для первой и второй координационных сфер. На рис.1 представлен скриншот окна программы. Желтыми сферами отмечены места, на которых могут находиться атомы другого сорта над верхним слоем биграфена. Если одна из желтых сфер выбрана пользователем, она меняет цвет на красный и возникают связи с ближайшими атомами углерода.

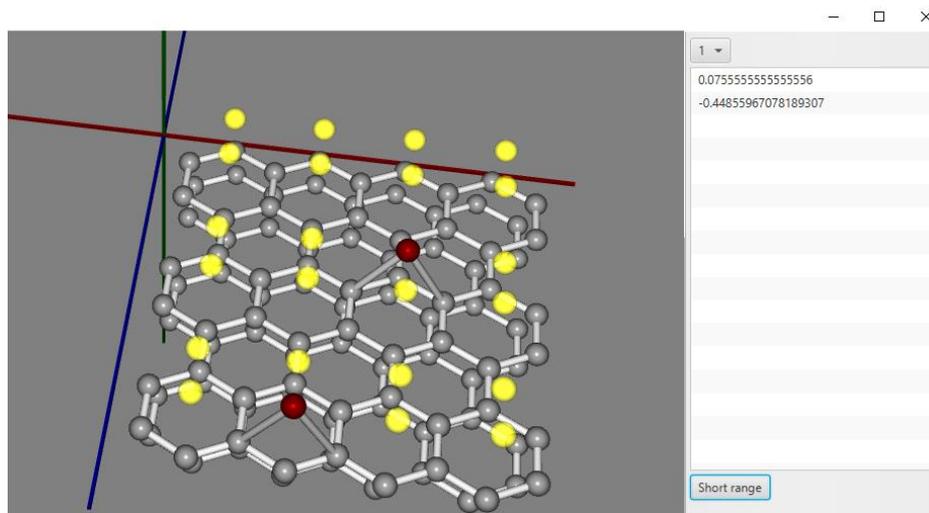


рис.1. Окно программы, на котором показан вариант выбора расположения примесных атомов над слоем. Желтые сферы – возможный для выбора вариант местонахождения атома другого сорта над слоем, красные сферы – выбранные для расчета атомы другого сорта, серые сферы – атомы углерода.

Рассчитанные в представляемой программе значения параметров ближнего порядка отличаются для различных конфигураций дефектов, имеют разные не только по модулю, но и знаку величины. Результаты работы программы были использованы для описания электронного времени релаксации и плотности электронных состояний. Благодаря данным о значениях параметров порядка для конкретных разупорядоченных структур, полученных в результате работы программы, стало возможным предсказать при каких конфигурациях дефектов происходит открытие щели в плотности состояний, а какие приводят к металлизации биграфена.

Список публикаций:

- [1] Dong H.M., Duan Y., Huang F. Liu J.-L. *Electron drift velocity and mobility in Graphene* // *Front. Phys.* 2018. No. 13(2). Pp. 137203;
- [2] Jiang W., Yin H., Zhang Y., et al. *Study of electron mobility on silicon with different crystalline orientations* // *IEEE 11th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology.* 2012. Pp. 13357050
- [3] Иверонова В. И, Кацнельсон А. А. *Ближний порядок в твёрдых растворах* // М.: Наука, 1977. С.256;
- [4] Bobenko N. G., Egorushkin V. E., Melnikova N. V., Ponomarev A. N., Belosludtseva A. A., Barkalov L. D. *Low-temperature peculiarities of density of electronic states and electron transport characteristics in the disordered 2D graphene* // *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* 25 (2018), Pp. 152-157 (Q2);
- [5] Баркалов Л.Д., Белослудцева А.А., *Моделирование структур ГЦК решеток для расчета параметров ближнего порядка*, // *Сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук»: Том 7. IT-технологии и электроника. Томск: Из-во ТПУ.2017. С. 24-26;*
- [6] S.K. Gupta, H.R. Soni, P.K. Jha. *Electronic and phonon bandstructures of pristine few layer and metal doped graphene using first principles calculations* // *AIP Advances.* 2013. No. 3(3). Pp. 032117.

Программный комплекс для классификации речевых запросов с помощью машинного обучения

Благодарный Александр Сергеевич

Абрамян Вильмен Леонович, Крикунов Станислав Александрович

Южный федеральный университет

alex.kronin777@gmail.com

Методы машинного обучения при решении задач классификации текстов на сегодняшний день получили наибольшее распространение. Такие решения активно используются при разделении сайтов по тематическим каталогам, распознавании эмоциональной окраски текстов, подборе контекстной рекламы и других областях применения. Кроме того, широкое распространение получили алгоритмы преобразования речевого сигнала в цифровую информацию, называемые распознаванием речи. Они успешно применяются для голосового управления, ввода текста и осуществления поисковых запросов. Быстродействие и высокая точность систем распознавания речи и методов машинного обучения для задач классификации позволяет использовать их вместе для решение комплексных задач, например, они могут быть применены для классификации речевых

запросов. Решение такой задачи предложенным способом может найти широкое применение в автоматизации классификации запросов для организаций, осуществляющих широкий спектр услуг.

В данной работе рассмотрено техническое решение задачи классификации речевых запросов на примере автоматизации банковского терминала электронной очереди. В результате был создан программный комплекс, позволяющий распознать и классифицировать запрос пользователя. Распознавание речи и перевод в текстовый формат осуществляется с помощью библиотеки Google Speech Recognition. Последующая обработка текстовой информации производится с помощью пакета библиотек Natural Language toolkit. Классификацию производит нейронная сеть, построенная на библиотеке Keras.

Данный программный комплекс планируется к апробации в банковской сфере для автоматизации терминалов электронной очереди, что позволит быстрее обслуживать клиентов и сократить расходы на сотрудников, осуществляющих помощь клиентам в эксплуатации терминалов очереди.

Построение параллельной схемы формирования гармонических сигналов методом прямого цифрового синтеза

Борзенко Андрей Сергеевич
Южный федеральный университет
Уразовский Владимир Сергеевич
ghjkh67@mail.ru

Цифровые схемы формирования гармонических сигналов широко применяются в цифровой радиосвязи, радиолокации, измерительной технике. Прямой цифровой синтез (Direct Digital Synthesis, или DDS) – широко распространённый метод получения гармонических сигналов цифровым способом. Современные системы связи и радиолокации работают с широкополосными и сверхширокополосными сигналами, что требует специальных сверхвысокоскоростных методов цифровой обработки сигналов и алгоритмов генерации гармонических сигналов в частности.

Целью данной работы была разработка схемы DDS для сверхскоростной цифровой обработки сигналов на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Сложность разработки сверхвысокоскоростного DDS на ПЛИС состоит в том, что максимальные тактовые частоты современных ПЛИС находятся в диапазоне 450 – 600 МГц. Для цифровой обработки сигналов современных систем связи и сигналов радиолокации требуются значения частот 1 ГГц и более. Для преодоления ограничения на максимальную тактовую частоту была разработана параллельная схема DDS, работающая на более высоких “эффективных” частотах, кратных тактовой частоте работы ПЛИС.

Функциональная схема разработанной параллельной схемы DDS показана на рис. 1.

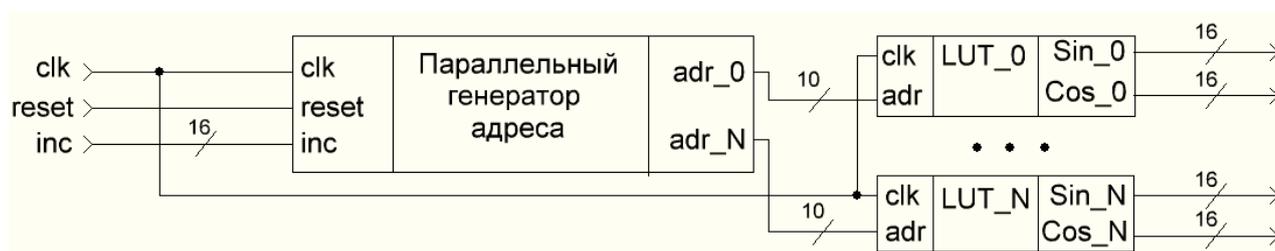


рис. 1. Функциональная схема параллельного DDS.

В таблице 1 приведены результаты (занимаемые ресурсы и эффективные частоты) реализованной схемы DDS на ПЛИС фирмы Xilinx (США) семейства Kintex 7 (XC7K70TFBV676-1). Значения в таблице 1 приведены для схемы DDS, сконфигурированной со следующими параметрами:

- разрядность значений синуса/косинуса – 16,
- разрядность инкремента фазы – 16,
- размер таблицы синуса/косинуса – 1024.

таблица 1. Характеристики сформированной схемы в ПЛИС в зависимости от параллельности.

Параллельность	1	2	3	4
Тактовая частота (МГц)	356,25	355,0	351,56	345,5
Эффективная частота (МГц)	356,25	710,0	1054,68	1382,0
Количество LUT	71	89	150	168
Количество регистров	139	193	248	299
Количество блоков RAM	1,5	3	5,5	6

Из таблицы 1 видно, что при значениях параллельности 3 и более эффективная частота работы DSS превышает 1 ГГц. Данную схему DDS можно сконфигурировать и на более высокие эффективные частоты, что позволяет применять ее в различных сверхвысокоскоростных трактах цифровой обработки сигналов.

Построение сверхвысокоскоростной схемы цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой

Волков Артем Викторович
 Южный федеральный университет
 Уразовский Владимир Сергеевич
volkov-artyom-viktorovich@mail.ru

Цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры) повсеместно применяются в цифровой радиосвязи и цифровой обработке сигналов. В некоторых областях цифровой обработки сигналов требуются высокоскоростные (работающие на сотнях МГц) и сверхвысокоскоростные (работающие на единицах ГГц) цифровые тракты обработки сигналов и КИХ-фильтры как составная их часть. К примерам систем, работающих со сверхскоростными сигналами, можно отнести спутниковые системы дистанционного зондирования Земли и цифровые радиолокационные системы.

Целью данной работы являлась разработка схемы сверхвысокоскоростного цифрового КИХ-фильтра на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Сложность разработки схемы сверхвысокоскоростного КИХ-фильтра на ПЛИС состоит в том, что максимальные тактовые частоты современных ПЛИС составляют примерно 500 МГц. Для цифровой обработки сигналов современных систем связи требуются значения частот 1 ГГц и более. Для преодоления ограничения на максимальную тактовую частоту была разработана параллельная схема КИХ-фильтра, работающая на более высоких “эффективных” частотах, кратных тактовой частоте работы ПЛИС. В зависимости от поставленной задачи на практике требуется та или иная эффективная частота фильтра, поэтому было выдвинуто требование к реконфигурируемости разрабатываемого КИХ-фильтра.

Функциональная схема разработанной схемы КИХ-фильтра показана на рис. 1.

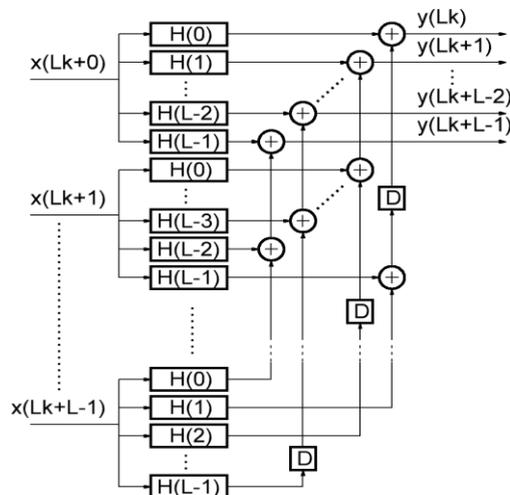


рис. 1. Пример структуры КИХ – фильтра с параллельностью L .

Реконфигурируемый параллельный фильтр был реализован на ПЛИС фирмы Xilinx (США) семейства Kintex 7 (XC7K160TFFV676-1) со следующими характеристиками:

- разрядность входов / выходов: 16,
- порядок: 32,
- разрядность коэффициентов: 16.

Таблица 2. Характеристики КИХ-фильтра в зависимости от параллельности

Параллельность	1	2	4	8
Тактовая частота (МГц)	400,8016	400,8016	379,50664	222,2222
Эффективная частота (МГц)	400,8016	801,6032	1518,0266	1777,778
Количество LUT	76	138	537	1962
Количество регистров	1703	3203	6002	10796
Количество DSP блоков	32	64	128	256

Из таблицы 1 видно, что при значениях параллельности 4 и более эффективная частота работы КИХ-фильтра превышает 1 ГГц. Данную схему КИХ-фильтра можно сконфигурировать и на более высокие эффективные частоты, что позволяет применять её в различных сверхвысокоскоростных трактах цифровой обработки сигналов.

Устройство для непрерывного измерения энергии электронного пучка ускорителя

Грозных Матвей Владимирович

Стурис Алексей Юрьевич

Уральский федеральный университет

Рябухин Олег Владимирович, к.ф.-м.н.

groznykh.m@gmail.com

В настоящее время для обеспечения стерильности продукции используют разные методы стерилизации изделий и средств индивидуальной защиты. Одним из наиболее эффективных методов стерилизации является радиационная стерилизация с использованием гамма- или электронного излучения. В инновационно-внедренческом центре радиационной стерилизации, существующем на базе Уральского федерального университета, осуществляется радиационная обработка и стерилизация различных изделий на линейном ускорителе электронов модели УЭЛР-10-10С [1]. Международные и внутренние стандарты производственной деятельности жестко регламентируют процесс радиационной стерилизации. Ускорительная установка должна быть сертифицирована, а радиационное воздействие на конкретный вид продукции должно быть валидировано. Соблюдение установленных норм обеспечивает качество медицинской продукции и ее безопасность.

Энергия электронов является одним из контролируемых параметров ускорителя, она определяет проникающую способность частиц и их распределение по глубине продукции. Контроль энергии электронов является неотъемлемой частью производства. При отклонении энергии от заданных параметров необходима повторная сертификация оборудования и валидация процесса радиационной стерилизации. Для определения энергии пучка электронов предлагается использовать мишенное устройство, которое представляет собой штабель алюминиевых пластин с воздушным зазором между ними, выполняющего роль диэлектрика. Пробег электрона с энергией 10 МэВ (максимальная энергия пучка) в алюминии составляет 1.4 см. Таким образом общая толщина пластин должна быть сопоставима с величиной пробега. Было сделано 6 пластин размерами 80×80×2.3 мм в качестве прототипа прибора. Так, общая толща пластин составляет 13.8 мм, что является достаточной величиной для определения экстраполированного пробега электронов. В дальнейшем количество пластин планируется увеличить за счет уменьшения толщины пластин, тем самым повысив точность результатов.

Частицы пучка электронов, проходя через данное устройство будут терять энергию частями в каждой пластине до тех пор, пока не поглотятся в одной из пластин. Энергия электронов тратится на ионизацию и возбуждение среды (алюминия), при этом на пластинах образуется электрический заряд, пропорциональный потерям энергии. Зная величину накопленного электрического заряда на пластинах, можно построить распределение заряда по глубине поглотителя. По такому распределению можно определить

экстраполированный пробег электронов и энергию пучка электронов согласно экспериментальной формуле, подробнее в [2].

На данной стадии разработки устройства токи утечки и электрические пробои между пластинами оказывают значительное влияние на результат. Для устранения этих проблем необходимо использовать диэлектрик, материал которого должен выдерживать жесткие внешние условия: высокую температуру и разрушающие эффекты ионизирующего излучения.

Список публикаций:

[1] Ворогушин М. Ф., Строкач А. П. Ускорители НИИЭФА прикладного назначения // Физика элементарных частиц и атомного ядра. Дубна: Изд-во Объединенного института ядерных исследований. 2016. № 7. С.1251-1256.

[2] Грозных М. В., Алимханов А. Т. Разработка устройства непрерывного измерения энергии электронов ускорителя УЭЛР-10-10С для контроля процесса радиационной стерилизации // V Международная молодежная научная конференция. Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2018 (Секция 6): тезисы (Екатеринбург, 14—18 мая 2018 г.). – Екатеринбург, 2018. — С.48—49.

Современные оптические триангуляционные методы трехмерного сканирования

Двойнишников Сергей Владимирович

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

dv.s@mail.ru

Задача прецизионных измерений трехмерной геометрии статичных объектов является важной для широкого спектра промышленных применений. Высокоточный контроль трехмерной геометрии сложнопрофильных изделий важен для нефтегазового и аэрокосмического комплексов, энергетики и атомной промышленности, всюду, где необходим размерный контроль точных крупногабаритных машиностроительных изделий со сложной 3D геометрией [1].

Существующие решения задачи измерения геометрических параметров оптическими методами можно разбить на несколько больших групп: интерференционные, времяпролетные, фазовые, триангуляционные и методы частотной модуляции. В представляемом докладе внимание уделено оптическим триангуляционным методам, которые благодаря интенсивному развитию оптико-электронной элементной базы, лазерных технологий и вычислительно техники получила очень бурное развитие [2-3].

Классические 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 двухмерную). На фотоприемнике анализируют наблюдаемое двухмерное распределение рассеянного излучения.

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. Основным недостатком данного метода заключается в высокой погрешности и длительном времени контроля, связанном с наличием операции последовательного сканирования.

Для получения полного трехмерного профиля используют триангуляционный метод с использованием пространственной модуляции в виде структурированной засветки. Он основан на освещении структурированным светом и наблюдении исследуемого объекта с направления, отличного от направления освещения. Наблюдаемое 2D изображение, представляющее собой пространственное распределение интенсивности рассеянного объектом света, содержит искажения, кодирующие информацию о третьей координате. Погрешность 3D измерений зависит от точности регистрации структурированного освещения и светорассеивающих свойств поверхности объекта. Используемые алгоритмы восстановления профиля, как правило, адаптируют под определенный класс объектов с известными светорассеивающими свойствами поверхности.

В докладе будут представлены различные современные методы оптической триангуляции, позволяющие выполнять измерения геометрических параметров, а также выполнять трехмерное сканирование поверхности измеряемого объекта. Будут рассмотрены методы классической триангуляции, методы светового сечения, методы пространственной и пространственно-временной модуляции оптического источника, позволяющие выполнять высокоточные измерения в условиях действующей промышленности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-08-00910).

Список публикаций:

- [1] *2.S.V.Dvoynishnikov, V.G.Meledin 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-Quirón, August 2018, p. 49-78.*
- [2] *Двойнишиников С.В., Аникин Ю.А., Кабардин И.К., Куликов Д.В., Меледин В.Г. Оптоэлектронный метод бесконтактного измерения профиля поверхности крупногабаритных объектов сложной формы // Измерит-ая техника №1, 2016. – С. 17-22.*
- [3] *Двойнишиников С.В., Меледин В.Г., Главный В.Г., Наумов И.В., Чубов А.С. Оценка оптимальной частоты пространственной модуляции излучения 3D-измерений // Измерительная техника №5, 2015. – С.24-27.*

Особенности обнаружения целей в полуактивных радиолокационных станциях

Деркачев Владимир Александрович
Южный федеральный университет
Потупак Михаил Владимирович, к.т.н.
soprascey@gmail.com

По мере развития средств противодействия РЛС, становится все более острой проблема выживаемости данных станций. Одним из решений может стать использование полуактивных РЛС, применяющих в качестве подсвета сторонние сигналы. В данной статье описывается моделирование метода селекции движущихся целей в полуактивной РЛС.

Обнаружение целей в радиолокационной станции полуактивного типа целесообразно производить с использованием корреляционной обработки. Целевой сигнал, обычно, включает в себя информацию не только о цели, но и о местных предметах. Данная проблема требует осуществления селекции движущихся целей. Обычно применяется фильтрация при использовании следящего фильтра, но использовать данный способ возможно лишь в активных радиолокационных системах. Для рассматриваемой полуактивной системы селекцию движущихся целей можно осуществить путем получения и обработки дальностно-скоростного портрета цели.

Коррелятор на выходе дает дальностные портреты цели, затем производится накопление дальностных портретов в буфере за время наблюдения T_0 , создаются наборы из k дальностных портретов (рис.1). Размер

буфера определяется число наборов дальностных портретов, которое в свою очередь определяется максимальной скоростью наблюдаемых объектов и временем наблюдения T_0 .

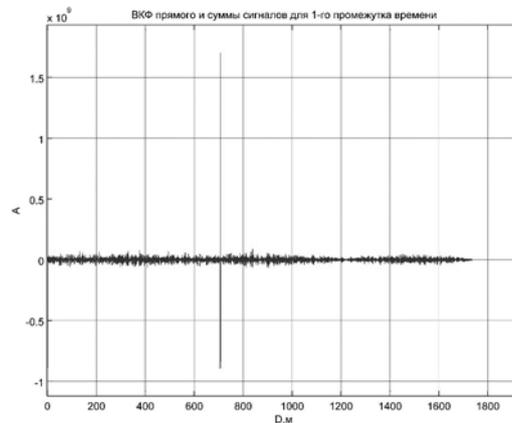


рис.1 Взаимнокорреляционная функция прямого сигнала и отраженного от цели

Следующим шагом в обработке является прямое преобразование Фурье, которое требуется для формирования дальностно-скоростного портрета (ДСП) (рис.2, 3).

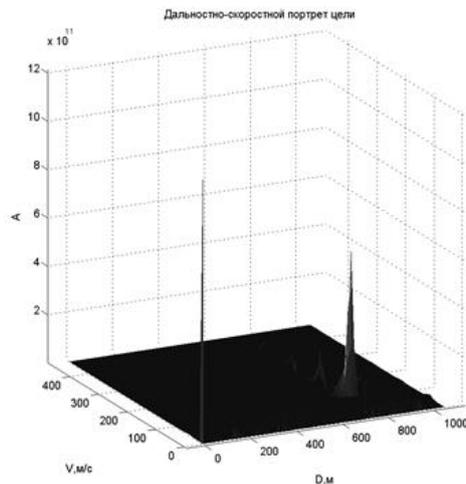


рис.2 ДСП одиночной цели

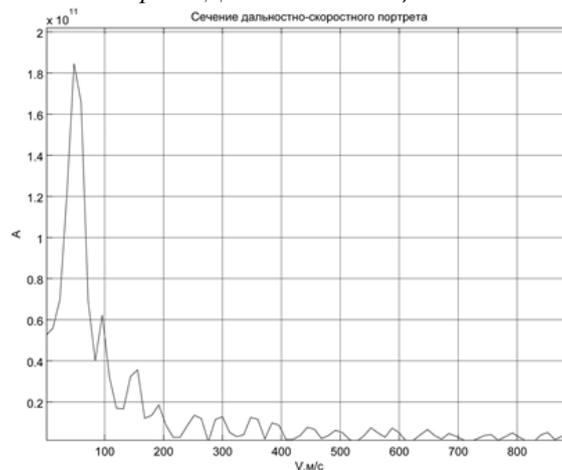


рис.3 Сечение ДСП одиночной цели на искомой псевдодальности

Затем производится пороговая обработка, позволяющая отсеять местные объекты и подстилающую поверхность. Элементы дальностно-скоростного портрета, имеющие скорость выше некоторого порога (единицы м/с) являются отметками целей. Далее производится обработка данных с целью получить величины скоростей и суммарных дальностей отметок целей.

Разработка светильника, управляемого дистанционно по Wi-Fi сети

Крикунов Станислав Александрович

Благодарный Александр Сергеевич, Абрамян Вильмен Леонович

Южный федеральный университет

stanislav_krikunov@mail.ru

В настоящее время широкое распространение получили беспроводные устройства, выполняющие великое множество задач: от сбора данных с различных автономных датчиков до автоматического управления целыми домами. Такие устройства основаны на различных беспроводных протоколах связи (Z-Wave, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy). Популярным протоколом является Wi-Fi, на основе которого часто создаются системы Интернета вещей и Умные дома, как частный его случай. Применение таких систем автоматизации обусловлено не только целями упрощения жизни человека путем автоматизации решения рутинных задач. В некоторых случаях их применение просто необходимо, например, для лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Целью данной работы являлось создание дистанционно управляемого при помощи Wi-Fi технологии устройства (светильника) из доступных и широко распространенных электронных модулей. При этом были поставлены и решены следующие задачи: разработать электрическую схему устройства, создать веб-страницу с интерфейсом управления световыми эффектами, оптимизировать конструкцию устройства в экономическом и техническом плане. Светильник должен обладать конкурентоспособной ценой по сравнению с представленными на рынке моделями в целях дальнейшей коммерческой реализации. В качестве главного действующего модуля была выбрана плата на основе микроконтроллера ESP8266, применен модуль сенсорной кнопки, собранный на микросхеме TP223, а также линейный стабилизатор напряжения для питания платы микроконтроллера. Для создания веб-страницы (интерфейса настроек и управления) использовался минимизированный набор инструментов Bootstrap.

В рамках данной работы были разработаны 3 прототипа конструкции светильника, управляемого с помощью мобильных и стационарных устройств по Wi-Fi сети через веб-страницу в браузере. Были проанализированы преимущества и недостатки каждого из них. На основе полученных результатов была создана оптимальная версия устройства как с экономической, так и с конструкторской точки зрения. При этом стоимость устройства позволила установить приемлемую цену и конкурировать с другими подобными устройствами в данном сегменте рынка.

Удобство удаленного управления световыми эффектами было проверено и подтверждено на практике несколькими покупателями данного устройства. На данный момент ведутся работы по усовершенствованию программного обеспечения, конструкции корпуса, технологии производства, а также параметров светоизлучающей части.

Программная реализация методики расчета затухания радиосигнала в дожде для спутниковой связи

Кувалкин Евгений Сергеевич

Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта

Захаров Артем Игоревич

kuvalkineugene@gmail.com

Актуальной на сегодняшний день задачей является оценка затухания, возникающего на трассе связи с малыми спутниками, вес которых составляет менее 300 кг и для связи с которыми могут применяться частоты от 1 до 40 ГГц. Ослабление радиосигнала складывается из различных составляющих, таких как затухание в атмосферных газах, затухание в облаках и осадках, мерцание и др. Ранее была решена задача создания программы расчета затухания в атмосферных газах, пример результатов вычислений можно увидеть на рисунке 2. Данная работа посвящена созданию алгоритма расчета затухания в дожде на примере Калининграда (54,71°, 20,51°).

Рассматриваемый метод был предложен в [1] и принят Международным Союзом Электросвязи в соответствующей рекомендации [2]. Данная методика позволяет получить оценку долгосрочного значения ослабления в дожде на наклонной трассе на частотах от 1 ГГц до 55 ГГц с учетом местоположения земной станции.

Рассматривается участок наклонной трассы, лежащий в слое дождя, вычисляется длина проекции данного участка. На основе входных данных вычисляется погонное затухание. С помощью применения поправочных коэффициентов для горизонтальной и вертикальной компонент осадков, вычисляется

эффективная длина трассы. Погонное затухание перемножается с эффективной длиной трассы для получения итогового затухания в дожде.

Важно отметить, что такие данные, как высота земной станции над средним уровнем моря h_s (км) [3], высота слоя дождя h_R (км) [4] и точечная интенсивность дождя для 0,01% времени усредненного года $R_{0,01}$ (мм/час) [5], строго привязаны к географическим координатам.

Приведенный метод расчета затухания реализован в программном продукте MATLAB. Алгоритм приведен на рисунке 1. В качестве входных данных задаются угол места θ от 5° до 90° , частота радиосигнала в диапазоне от 1 ГГц до 55 ГГц и вид поляризации с углом наклона оси поляризации по отношению к нормали.



рис. 1. Структурная схема алгоритма.

Пример расчета затухания в дожде при вертикальной поляризации и его сравнение с полученными ранее данными о затухании в атмосферных газах представлен на рисунке 2.

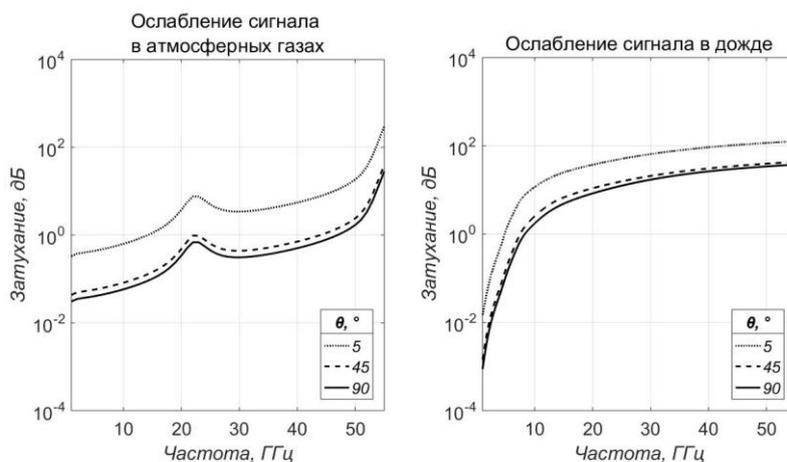


рис. 2. Ослабление радиосигнала.

Из представленной зависимости можно выделить, что в диапазоне частот 1-55 ГГц затухание с увеличением частоты растет. Примечательно, что на относительно малых частотах (1-5 ГГц) дождь оказывает меньшее влияние на ослабление сигнала по сравнению с атмосферными газами. На частотах 10-55 ГГц затухание в дожде превышает затухание в атмосферных газах при одинаковых углах места для соответствующих частот.

Список публикаций:

- [1] DISSANAYAKE, A., ALLNUTT, J. and HAIDARA, F. [1997] A prediction model that combines rain attenuation and other propagation impairments along Earth satellite paths, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 10, 1546-1558.
- [2] Recommendation ITU-R P.618-13 (12/2017). Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.
- [3] Рекомендация МСЭ-R P.1511-1 (07/2015). Топография для моделирования распространения на трассе Земля-космос.
- [4] Рекомендация МСЭ-R P.839-4 (09/2013). Модель высоты слоя дождя, используемая в методах прогнозирования.
- [5] Recommendation ITU-R P.837-7 (06/2017). Characteristics of precipitation for propagation modelling.

Моделирование оптического планарного ответвителя

Лопатюк Алёна Викторовна¹

Грачева Анастасия Михайловна²

¹Башкирский государственный университет,

²Уфимский государственный авиационный технический университет

Сметанина Ольга Николаевна², д.т.н.

alyona-lopatyuk@yandex.ru

В волоконно-оптических системах передачи часто возникают задачи разделения мощности оптического сигнала. Это необходимо в ряде случаев, основными из которых являются следующие: при использовании волнового мультиплексирования, отвода части оптического излучения из основного канала передачи для целей измерения или мониторинга линии, применение в качестве аттенюатора и другие. Для этого применяются волоконно-оптические ответвители.

Существует несколько технологий изготовления разветвителей. Они подразделяются на следующие типы: сплавные, выполненные по принципу FBT (Fused Biconical Taper, обычно число волокон не превышает 8) и планарные, выполненные с помощью технологии PLC (Planar Lightwave Circuit), когда на полупроводниковой подложке формируется светопроводящая пленка, образующая единственный микроделитель (в разветвителе 1x2), либо, чаще, каскад микроделителей, объединенных в многополосник с требуемым коэффициентом деления. Последний имеет ряд преимуществ по сравнению со сплавной структурой, основными из которых являются более низкая стоимость, большая надежность, высокая масштабируемость, меньшие размеры.

В ходе работы получена модель планарного ответвителя, изображенная на рис. 1 (а). Модель имеет гребенчатую структуру, в которой передаваемый информационный световой сигнал сосредоточен, главным образом, внутри так называемого "гребня", представляющего собой возвышение прямоугольного профиля, расположенное на тонкой пленке и имеющее единый с ней показатель преломления, значение которого немного превосходит (обычно на величину, не превышающую нескольких сотых) показатель преломления подложки. Такая структура является, по существу, частным случаем полоскового волновода, но при этом в гребенчатом волноводе ослаблены требования к гладкости боковых стенок, что способствует снижению потерь на рассеяние, имеющих место в полосковых волноводах и, особенно, в возвышающихся полосках.

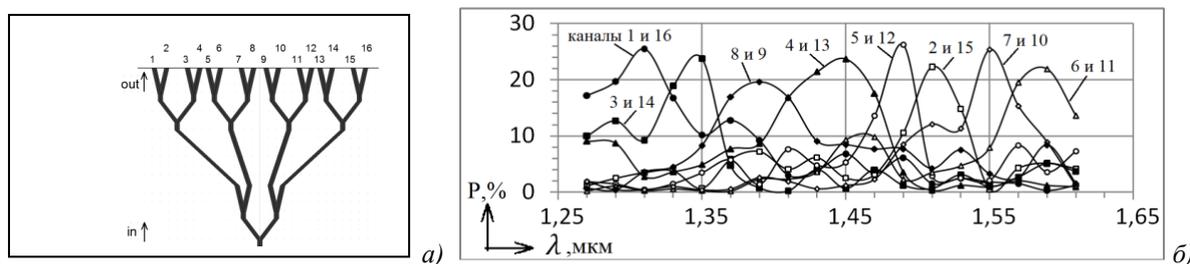


рис.1 Схема ответвителя 1x16 (а), зависимость мощности в выходных каналах от длины волны излучения (б).

Модель имеет 16 выходных полюсов, образующих 8 симметричных пар каналов таким образом, что в соответствующих каналах, образующих пару, картины излучения полностью совпадают. Расстояние между каналами, удаленность их друг от друга имеет различные значения, таким образом изменяется оптическая связь между каналами, и картина выходного излучения получается не равномерная, наблюдаются максимумы мощности в соответствующих парах каналов на определенных длинах волн (рис.1б). По сути, такой ответвитель будет работать не как делитель мощности. Данная модель может быть использована в качестве демультиплексора 1:8 каналов, например в CWDM системе передачи. При этом 8 выходов могут быть информационными, а их соответствующие пары могут быть подключены к оборудованию мониторинга и диагностики работы тракта передачи. Здесь вносимые потери, рассчитываемые на один канал, составляют, в среднем, 5,5 дБ, а уровень переходной межканальной помехи определяется средней величиной 6,4 дБ.

Список публикаций:

[1] Моделирование восьмиканального оптического ответвителя Иждаветова Р.Ф., Лопатюк А.В. В книге: Актуальные проблемы микро- и наноэлектроники Сборник тезисов докладов V Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием. Отв. ред. Р.З Бахтизин. 2018. С. 44-45.

Приложение для тестирования модуля постобработки данных лазерного доплеровского измерителя скорости

Семенов Дмитрий Олегович

Новосибирский государственный университет

Двойнишников Сергей Владимирович, д.т.н.

SeemDima@gmail.com

Во многих областях науки и производства существует большая потребность в точном измерении скорости и длины. Одними из самых точных устройств для данных целей в настоящее время являются лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС). Принцип работы ЛДИС основан на эффекте Доплера, заключающегося в сдвиге частоты волны отраженной от движущейся частицы. Величина сдвига частоты зависит от скорости движения частицы. В качестве источника сигнала используют лазеры с высокой когерентностью излучения [1]. Высокое пространственное разрешение обеспечивается за счет фокусировки лазерного луча в пятно малого диаметра. Данные измерители предназначены для бесконтактного измерения скорости потоков жидкости и газа, а также твердых и диффузно отражающих объектов. Их применение возможно для контроля горячего проката [2]. Этими измерительными комплексами обеспечивается высокая точность измерений в широком диапазоне скоростей. Современные ЛДИС представляют собой сложные оптико-электронные измерительные комплексы и системы, сочетающие в себе передовые технические решения. В настоящее время ЛДИС широко используются в научных исследованиях и промышленных областях.

Более 10 лет в ИТ СО РАН разрабатываются ЛДИС серии ЛАД-0XX [3-4]. Они состоят из оптоэлектронного модуля и компьютера, управляющего измерительной системой и обеспечивают проведение автоматизированного эксперимента. Программная часть измерительного комплекса сохраняет результаты в специализированном формате в базу данных. Эти данные представляют собой запись, содержащую набор координат, в которых было выполнено измерение. Для каждой координаты записаны значения измеренных скоростей, время и продолжительность их измерения, коэффициенты достоверности каждой скорости (мера качества зарегистрированного сигнала), время начала и конца измерения, количество зафиксированных в данной точке измерений, направление и другие параметры. Обработка полученных результатов производится с помощью специального программного комплекса постобработки данных лазерного доплеровского измерителя скорости [5]. Для того, чтобы убедиться в корректности работы всех модулей обработки и анализа полученных в экспериментах данных, требуется протестировать существующий модуль постобработки. Целью данной работы является разработка приложения для тестирования существующего инструментария по обработке и анализу полученных данных от лазерного доплеровского измерителя скорости. Модуль постобработки выполняет следующие функции: визуализация - построение необходимых графиков для визуального представления данных; фильтрация - наложение различных пороговых фильтров по времени, скорости, частоте, достоверности. Операции фильтрации применяются как на отдельные записи в некоторой точке, так и на всю базу данных текущего измерения; спектральный анализ – построение спектра сигнала для визуальной оценки частотного состава зарегистрированного сигнала.

Приложение для тестирования должно генерировать искусственные базы данных с известной формой сигналов. Также требуется реализовать взаимодействие с существующим модулем управления базой данных и создать интуитивно понятный графический пользовательский интерфейс.

Разработан основной интерфейс приложения для тестирования модуля постобработки данных лазерного доплеровского измерителя скорости. Интерфейс представляет из себя оконное приложение и предназначен для взаимодействия с пользователем. Элементами этого окна является набор функций, позволяющих выбрать место для сохранения сгенерированной базы данных в файловой системе, выбрать объем генерируемой базы данных, форму её сигнала, начало и конец временного отсчета. Реализовано независимое взаимодействие с существующим модулем базы данных путем использования абстрактного интерфейса этого модуля. С помощью данного интерфейса создаются файлы искусственных баз данных. Спроектирована архитектура, позволяющая динамически расширять функциональность приложения для построения различных форм сигналов. Такая расширяемость достигается путем построения архитектуры, предусматривающей реализацию простого подключения дополнительных модулей генерации независимо от основного алгоритма работы программы. На данный момент реализована генерация двух типов сигналов: меандр и синус. Для каждого сигнала задано минимальное, максимальное и среднее значение, а также вычислено среднеквадратичное отклонение. Опираясь на известные данные, можно проверить правильность работы алгоритмов фильтрации модуля постобработки. На сигналах с известной частотой можно протестировать модуль спектрального анализа (рис. 1).

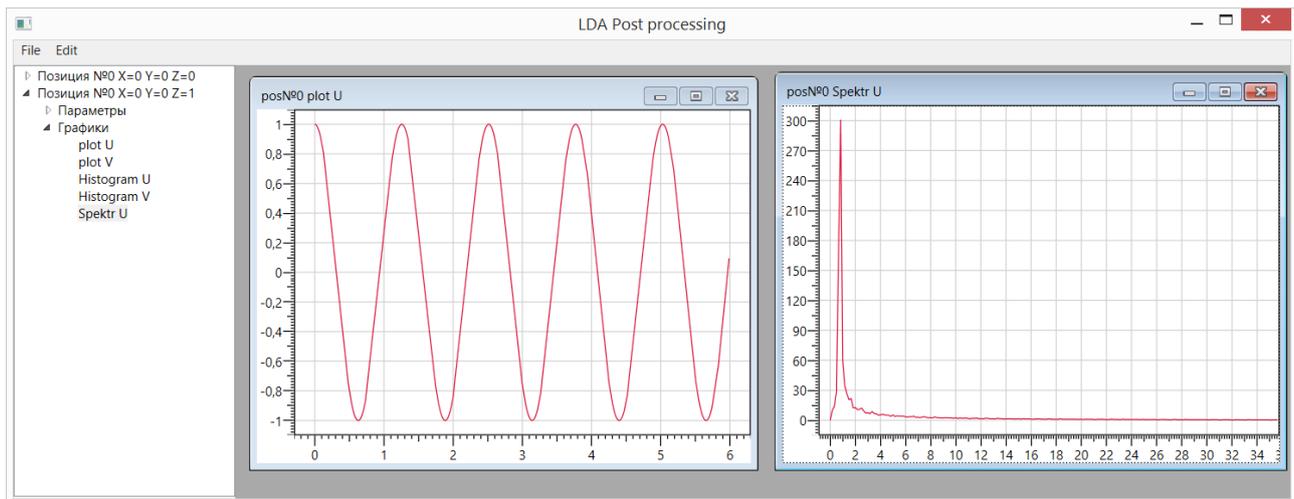


рис.1. Тестирование спектрального модуля

Разработано приложение для тестирования модуля постобработки данных лазерного доплеровского измерителя скорости, позволяющее создавать искусственные данные с сигналами известной формы. В дальнейшем будет добавлено больше различных форм сигналов и предварительная визуализация генерируемого сигнала.

Список публикаций:

- [1] Дубнищев Ю.Н. Ринкевичюс Б.С. Методы лазерной доплеровской анемометрии // М.: Наука, 1982.- С. 304.
 [2] Артомонов В.Ф., Белоусов П.Я., Дубнищев Ю.Н. и др. Лазерный доплеровский измеритель скорости горячего проката // Сталь, 1986. - №8.- С65-68.
 [3] Меледин В.Г. Лазерная доплеровская полупроводниковая анемометрия для науки и промышленности // Деловая слава России. Межотраслевой альманах для организаторов производства. - № 3(41), выпуск 2013. – С.23-26.
 [4] Меледин В.Г., Кротов С.В., Бакакин Г.В., Двойнишиников С.В., Наумов И.В., Павлов В.А., Рахманов В.В., Садбаков О.Ю. Лазерная доплеровская анемометрия горячего проката // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: www.science-education.ru/108-8812.
 [5] Семенов Д.О. Разработка модуля постобработки данных лазерного доплеровского измерителя скорости // НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ. сб. тр. - науч. конф.- Новосибирск: НГТУ, 2018. - С. 90-92.

Математическое моделирование многоступенчатых ударников переменного сечения в применении к численному методу расчета ударного импульса

Тарасов Даниил Алексеевич¹

Тимофеев Евгений Геннадьевич²

¹Гимназия №44, г. Новокузнецк

²Сибирский государственный индустриальный университет

Тимофеев Евгений Геннадьевич

veefomit77777@yandex.ru

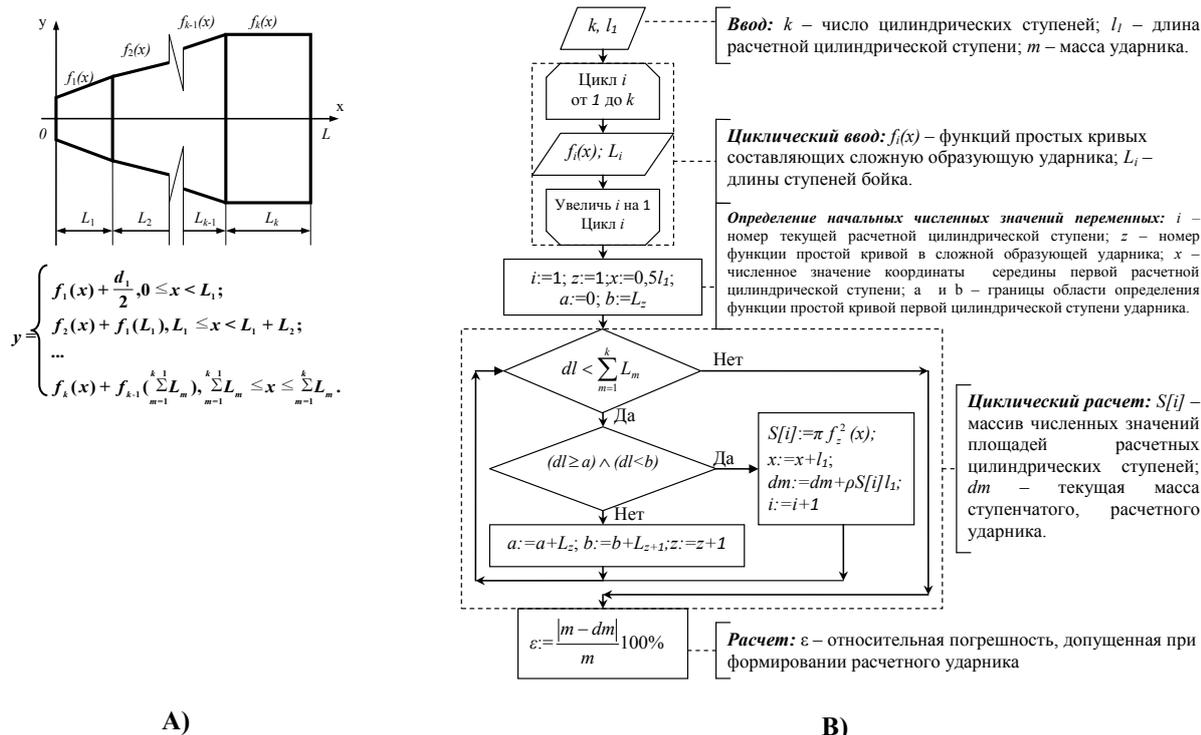
Одной из основных задач теории продольного удара является аналитическое определение геометрии силового ударного импульса, получаемого при его нанесении [1]. Широкое применение ЭВМ позволяет многие методы расчета преобразовать в численные [2-3]. Это дает возможность создавать алгоритмы и описывать их на языках программирования (такими, как Pascal, Basic, C++ и др.) [4].

Для организации аналитического расчета ударного импульса необходимо смоделировать ударник. Как правило, это тело вращения со сложной образующей, которую можно задать при помощи k простых кривых вида $f(x)$ в декартовой системе координат (рис. №1, А). Затем смоделированный с боек разбить на расчетные ступени одинаковой длины l_1 , имеющих форму правильных цилиндров, диаметры которых вычисляются через значения текущей функции образующей. Математическая модель этого процесса была разработана ранее [5] и представлена формулой:

$$\sum_{i=1}^n \rho l_1 \pi f_m^2 \left(x = \frac{l_1(2i-1)}{2} \right) = m \pm m \frac{\varepsilon}{100\%}, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала и волновода, y – текущая функция из сложной образующей ударника, i – номер текущей расчетной цилиндрической ступени, ε – относительная погрешность ($\approx 4-5\%$). Данная

математическая модель реализована на практике при помощи циклического алгоритма с предусловием (рисунок №1, В). Что и является целью данной работы.



А)

В)

Рисунок №1. А) Внешний вид многоступенчатого ударника смоделированного в декартовой системе координат с образующей, заданной функцией вида $y=f_m(x)$. В) блок-схема алгоритма, реализующего деление ударника на расчетные по предложенной математической модели.

Итогом является формирование массива, содержащего численные значения площадей расчетных цилиндрических ступеней, на которые разбит боек - S_i , который необходим для расчета ударного импульса [3-4]. Данный подход численного формирования ударника реализован в инженерно-расчетной программе «Удар многоступенчатым бойком» [6].

Список публикаций:

- [1] Жуков И.А. Теоретические основы создания и исследования системы «бок – волновод – инструмент» машин ударного действия, предназначенных для разрушения горной породы // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2012. – №2. – С. 311-319.
- [2] Zhukov I.A., Dvornikov L.T. New constructive solutions of anvil-blocks of percussion mining machines. – North Charleston: CreateSpace, 2015. – 130 p.
- [3] Zhukov I.A., Repin A.A., Timofeev E.G. Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 134 (2018) 012071 doi: 10.1088/1755-1315/134/1/012071.
- [4] Тимофеев Е.Г. К разработке численного метода исследования ударных процессов в стержневой системе машин ударного действия / Е.Г. Тимофеев, И.А. Жуков // Современное машиностроение. Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – №5. – С. 540-549. – doi: 10.1872/MMF-2016-52.
- [5] Бочаров Д.С. Математическое моделирование ударников переменного сечения в применении к численному методу расчета ударного импульса/ Бочаров Д.С., Тимофеев Е.Г.// Сборник тезисов, материалы Двадцать четвертой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-24, Томск): материалы конференции, тезисы докладов: В 1 т.Т.1 – Екатеринбург – Томск: издательство АСФ России, 2018. – С. 448-449.]
- [6] Свидетельство ПЭВМ №2017613900 Удар многоступенчатым бойком / Е.Г. Тимофеев, И.А. Жуков - №2016662568 поступление 22.11.2016; зарегистр. 03.05.2017.

Применение модульного подхода в проектировании нового многофункционального неонатального медицинского оборудования

Трофимова Елена Сергеевна

Чупов Алексей Александрович

Уральский федеральный университет

trofimova.e.s@yandex.ru

Модульный подход в проектировании систем вызывает большой интерес как среди исследователей, так и среди производителей в разных областях – от информационных систем до сложных технических устройств. Распространение модульного принципа, как считают многие исследователи, позволило ускорить темпы развития технологий, так как модульность облегчает проектирование, разработку и управление системами. К другим потенциальным преимуществам модульного принципа проектирования можно отнести сниженные затраты на разработку и производство изделий, расширенные возможности повторного использования, масштабируемости и переработки изделий, повышенную ремонтпригодность и упрощенное сервисное обслуживание [1].

В настоящее время перед разработчиками медицинской техники стоит задача не только повысить безопасность оборудования, но и снизить стоимость его производства (и, следовательно, стоимость конечного продукта), при этом расширив функциональные возможности и улучшить производительность. В связи с этим, многие производители медицинского оборудования исследуют возможности применения модульной архитектуры в новых изделиях и комплексах.

В докладе рассматривается опыт проектирования и разработки нового неонатального медицинского оборудования с использованием модульного подхода. В устройстве используется распределенное управление и обмен информацией между модулями. Это снижает нагрузку на каналы связи и позволяет продолжить работу даже в случае отказа некоторых функциональных модулей, так как взаимодействие между ними минимизировано, и их работа автономна. С точки зрения организации системы в целом, такой принцип позволяет оптимизировать управление большим количеством измерительных и исполнительных устройств. Кроме того, повышается безопасность изделия для пациента.

На рис.1 изображена упрощенная структура устройства и основные связи между модулями. Разработанное устройство, в зависимости от подключенных модулей, может работать как инфракрасный (лучистый) обогреватель для новорожденных, как установка для фототерапии, как открытая реанимационная система с возможностью подключения оборудования для мониторинга жизненных показателей пациента или в качестве комбинаций вышеперечисленных функций.

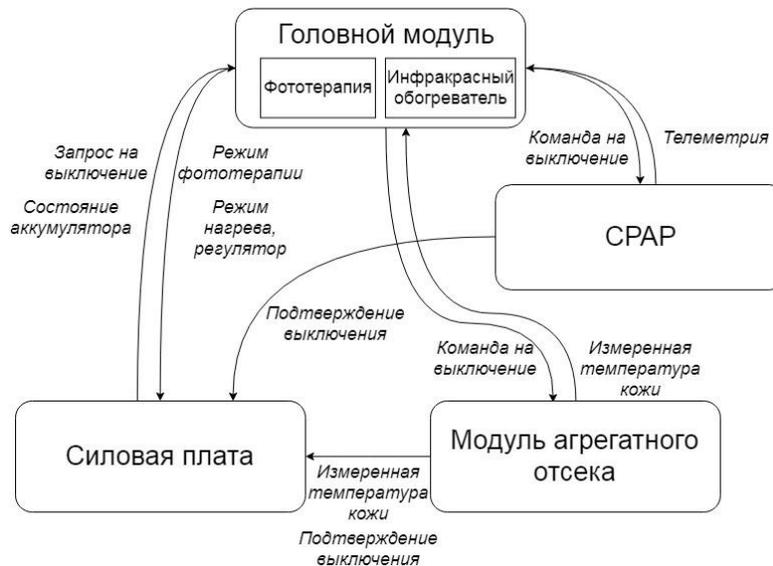


рис.1. Основные модули устройства и связи между ними

Список публикаций:

[1] Bonvoisin J., Halstenberg F., Burchert T., Stark R. // *Journal of Engineering Design*. 2016. № 27. С. 488.

Алгоритмы контрастирования изображений для задач автоматизированного обнаружения и распознавания образов

Фадеева Анастасия Борисовна
Южный федеральный университет
Пилипенко Александр Михайлович, к.т.н.
nastasya-fadeeva@inbox.ru

Процесс видеорегистрации сцен для обнаружения и распознавания образов связан с динамическим изменением погодных условий, интенсивности освещения, наличием помех в виде теней, тумана, яркого солнечного света. Все перечисленное может значительно влиять на яркость и локальный контраст областей интереса. Для задачи автоматизированного обнаружения и распознавания используются искусственные нейронные сети, результат работы которых существенно зависит от поданных на вход данных. Обучение нейронных сетей на изображениях с низким уровнем локального контраста может привести к многократным ошибкам первого и второго рода. Предобработка нелинейными алгоритмами контрастирования позволяет значительно улучшить восприятие объектов интереса на изображении.

Особый интерес представляет модифицированный алгоритм ретинекс с применением комплексирования экстремумов масштабных слоев [1], который превосходит прочие методы в части повышения локального контраста. Теория ретинекса моделирует визуальное восприятие световой информации человеком. Традиционные методы повышения контраста – линейное преобразование яркости с отсечкой, гамма-коррекция, эквализация гистограммы, гомоморфная фильтрация [2] – не обладают универсальностью и требуют значительного участия оператора в выборе метода и задании его настраиваемых параметров под конкретные условия применения, их подробное рассмотрение опускается в данном докладе.

Алгоритм ретинекс. Согласно теории ретинекса [3] модель процесса визуального восприятия световой информации человеком состоит в вычитании из логарифма входного изображения логарифма сглаженного входного изображения с последовательно возрастающим СКО ФНЧ-фильтра. Это нивелирует пространственно-значимые перепады яркости и подчеркивает локальные, с одновременным растяжением динамического диапазона оттенков в тенях за счет логарифмирования. Результаты вычитаний (именуемые масштабными слоями) суммируются [2]:

$$C_i(x, y) = \sum_{p=1}^p W_p \{ \log[I_i(x, y)] - \log[I_i(x, y) * G_p(x, y)] \}, \quad (1)$$

где $i \in R, G, B$ - цветовые каналы входного изображения I (яркостная и цветовая составляющие изображения обрабатываются совместно), p – количество масштабных слоев, W_p – весовой коэффициент p -го слоя, символ “*” обозначает свертку, $G_p(x, y)$ - импульсная характеристика фильтра Гаусса с соответствующим СКО.

Детали, подлежащие контрастированию, могут иметь различные пространственные размеры, поэтому следует охватить по возможности больший диапазон масштабов.

Модифицированный алгоритм ретинекс с применением комплексирования экстремумов масштабных слоев. В результате проделанной работы данный алгоритм (рис.1) был реализован в пакете прикладных программ MATLAB. Суть алгоритма заключается в следующем: с помощью гауссовой пирамиды и последующего поэлементного деления на нее входного изображения, которое представляется каналом яркости в цветовой модели YUV, получают масштабные слои. Далее для каждого пикселя входного изображения выбираются экстремумы из всей совокупности масштабных слоев, таким образом выполняется переход к каналам минимумов и максимумов. После приведения их к нужному динамическому диапазону с помощью линейного контрастирования с отсечкой, выполняется пропорциональное суммирование.

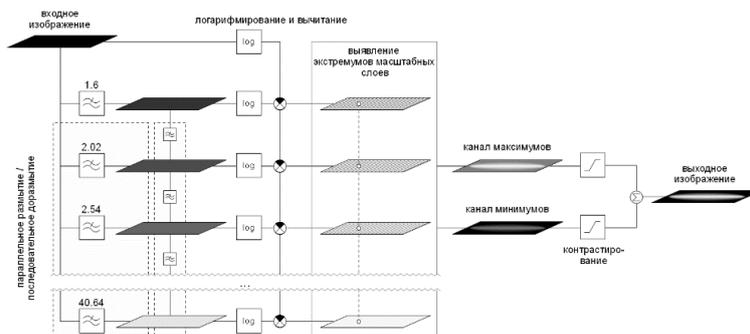


рис.1. Схема исследуемого модифицированного алгоритма ретинекс

Данный метод имеет ряд преимуществ. Например, выделение яркостного канала в пространстве YUV, что позволяет избежать появления артефактов в оттенках цвета. С другой стороны, цветовые компоненты U и V обрабатываются с помощью маски коэффициентов усиления цвета, выравнивая тем самым насыщенность выходного изображения, на схеме эти действия не указаны, но в программной реализации учтены. Эффект контрастирования ослабляется в меньшей степени относительно многомасштабного ретинекса [3], так как преобладающие значения локального контраста, как правило, разнесены на изображении по пространственным координатам, в то время как пропорциональное суммирование всех масштабных слоев без выделения слоев минимумов и максимумов дает кратное ослабление результатов контрастирования, что является существенным недостатком теории ретинекса.



рис.2. Исходное изображение (а) и результат обработки рассматриваемым методом нелинейного контрастирования (б)

Видно, что исходное изображение (рис.2а) темное в области интереса, что мешает рассматривать дорожную инфраструктуру – дорогу, машины, дорожные знаки. Изображение, локальный контраст которого повышен рассматриваемым алгоритмом (рис.2б), проще обрабатывать как человеку, так и искусственным нейронным сетям, которые выделяют признаки исходя из поданных на вход изображений.

Список публикаций:

- [1] Рюмин О.Г., Волков Е.П. // Автоматизированный метод повышения локального контраста на основе теории ретинекса и комплексирования экстремумов масштабных слоев // Труды Международной научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии» – Т.1., Воронеж, 2014. – с.112 – 123.
 [2] Гонсалес Р., Вудс Р. // Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.
 [3] Rahman Z., Jobson D., Woodell G.A. // Multiscale Retinex Processing for Automatic Image Enhancement // Journal of Electronic Imaging Vol. 13, No. 1, 2004. – pp. 100 – 110.

Расчёт выходного фильтра ШИМ-инвертора

Фурменков Алексей Юрьевич

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

Захаров Артем Игоревич

alexfirm@mail.ru

Для корректного функционирования телекоммуникационным системам необходимо питание не только от сети электропитания постоянного тока, но и от сети переменного тока высокого качества. При внезапном сбое в работе системы электропитания переменного тока дальнейшее функционирование телекоммуникационной системы может быть обеспечено с помощью резервной АКБ и инвертора, который преобразует постоянный ток в переменный ток синусоидальной формы. Напряжение на выходе инвертора должно иметь идеально сглаженную синусоидальную форму. Но из-за присутствия в спектре сигнала на выходе инвертора гармонических высокочастотных составляющих форма напряжения получается не идеально сглаженной. Соответственно, будет рассмотрена методика фильтрации гармонических высокочастотных составляющих на выходе инвертора.

Рассматриваемый метод был предложен в 2003г. в рамках Всероссийской научно-методической конференции «Совершенствование систем управления качеством подготовки специалистов» инженером Александром Захаровым из г. Томск [1]. Актуальность данного метода подтверждается с одной стороны востребованностью использования инверторов, а с другой стороны фактически отсутствием методик расчёта выходных фильтров инверторов на заданный коэффициент гармоник в общедоступной технической литературе в связи с чем возникает необходимость каждый раз решать данную проблему опытным путём при разработке данного электротехнического устройства. Данный метод позволяет рассчитать параметры выходного фильтра инвертора на заданный коэффициент гармоник напряжения на нагрузке и избавить производителей

электронной техники от необходимости каждый раз рассчитывать параметры выходного фильтра при производстве.

В данном случае был использован мостовой инвертор, реализующий однополярную ШИМ для построения выходного напряжения синусоидальной формы частотой 50 Гц. Фильтрация гармонических ВЧ составляющих на выходе инвертора происходит следующим образом (рис.1): форма напряжения на выходе инвертора с помощью алгоритма прямого быстрого преобразования Фурье раскладывается в спектр амплитуд гармонических составляющих. Далее, каждая составляющая по отдельности «проходит» через фильтр и на выходе фильтра восстанавливается путём обратного быстрого преобразования Фурье. Самой важной задачей данного метода является расчёт параметров фильтра на выходе инвертора, который обеспечит синусоидальную форму напряжения с коэффициентом гармоник не более 3%.

Использованная методика фильтрации гармонических высокочастотных составляющих на выходе инвертора реализована в программном продукте MATLAB.

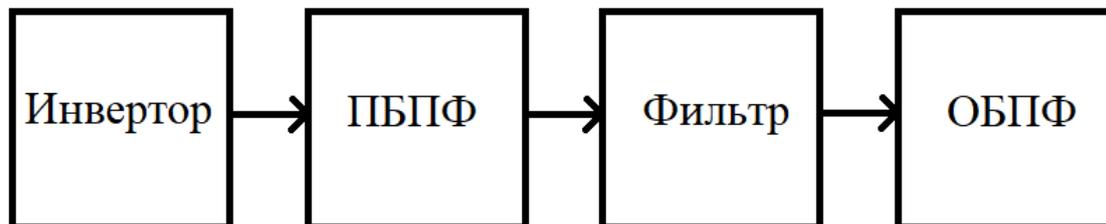


рис. 1. Структурная схема алгоритма фильтрации гармонических ВЧ составляющих на выходе инвертора.

В ходе изучения данной методики мною было использовано несколько типов фильтров. Например, одно – и двухзвенные LC – фильтры (рис.2).

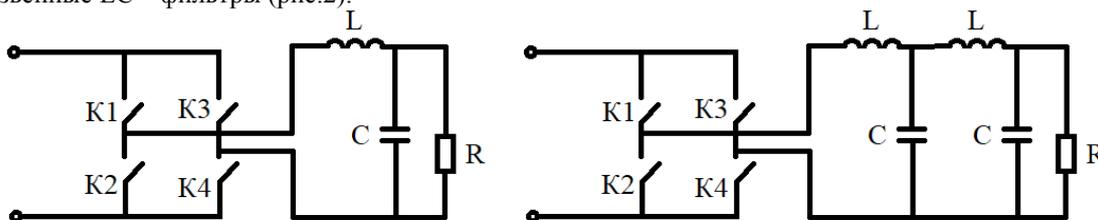


рис. 2. Принципиальные схемы использованных фильтров.

Список публикаций:

[1] Захаров А.А. // Расчёт выходного фильтра ШИМ – инвертора. Томск. 2003.

Применение Matlab-Simulink для анализа гибридных систем синтеза частот

Черноцкая Кристина Людвиговна
Южный федеральный университет
Пилипенко Александр Михайлович, к.т.н.
mellorykrieger@mail.ru

Система синтеза частот предназначена для генерации электрических гармонических колебаний с помощью линейных повторений (умножением, суммированием, разностью) на основе одного или нескольких опорных генераторов. Для синтеза частот используются прямой аналоговый, косвенный и прямой цифровой методы. У каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки. Гибридный синтезатор позволяет сочетать достоинства различных методов синтеза. В данной работе рассматривается гибридный синтезатор частот на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и цифрового вычислительного синтезатора (ЦВС). Рассматриваемый синтезатор частот обладает преимуществами синтезаторов прямого цифрового синтеза (высокая разрешающая способность по частоте и высокое быстродействие) и синтезаторов на основе фазовой автоподстройки частоты (широкий диапазон синтезируемых частот, низкий уровень фазовых шумов и побочных спектральных составляющих) [1]. В качестве примера рассмотрим синтезатор частот диапазона 1880–1900 МГц, выделенного для стандарта DECT.

Matlab-Simulink является одной из лидирующих программ в области моделирования, которая позволяет анализировать гибридные системы синтеза частот. Программа дает возможность при помощи блок-диаграмм

строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные, гибридные, нелинейные и разрывные системы. Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду Matlab, что позволяет использовать встроенные математические алгоритмы, мощные средства обработки данных и научную графику.

С помощью пакета Matlab-Simulink можно достаточно просто реализовать модель системы гибридного синтеза частот в виде структурной схемы полностью эквивалентной математической модели. В качестве примера на рис. 1 приведена Simulink-модель системы синтеза частот, включающая в себя фильтр нижних частот (ФНЧ) первого порядка. Параметры системы соответствуют модели синтезатора частот с показателем колебательности $M = 1,41$ и частотой сравнения $f_{cp} = 135$ кГц [2]. Для оценки быстродействия синтезатора частот в качестве откликов в Simulink-модели рассматриваются частота на выходе синтезатора, равная частоте генератора, управляемого напряжением (ГУН) $f_{гун} = \omega_{гун}/2\pi$ (сигнал на входе Scope1), и разность фаз сигналов на входе частотно-фазового детектора (ЧФД) φ (сигнал на входе Scope2).

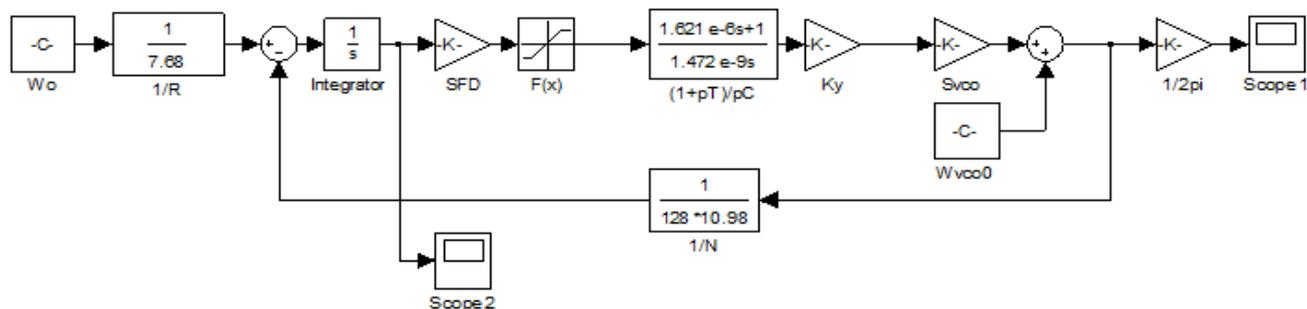


рис.1. Модель синтезатора частот в программе MATLAB-Simulink

В данной статье с помощью Simulink проведен численный анализ ряда структурных схем синтезаторов частот в линейном и нелинейном режимах работы с различными видами фильтров нижних частот (ФНЧ). С помощью Matlab-Simulink можно производить анализ синтезатора частот в частотной и временной областях. Следует отметить, что применение предметноориентированных библиотек Control System Toolbox, встроенных в систему Matlab, позволяет задать модель системы через передаточную функцию или уравнения состояния, при помощи установки расположения нулей и полюсов или при помощи описания частотных характеристик [3].

Результаты моделирования позволили определить параметры системы синтеза частот, оптимальные по быстродействию и уровню побочных спектральных составляющих, как в линейном режиме работы (при небольших отклонениях частоты от заданного значения), так и при аномальных возмущениях.

Список публикаций:

- [1] Пилипенко А. М. Исследование быстродействия гибридных синтезаторов частот // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 3 (176). С. 15-30.
- [2] Тихомиров М. Н., Лебедев В. В., Тихомиров В. Н. Параметрический синтез системы фазовой автоподстройки синтезаторов частот // Вестник Воронежского института МВД России. 2013. № 3. С. 26-36.
- Есеев М. К., Матвеев В. И // Физический вестник Поморского университета. Архангельск: Изд-во Поморского ун-та. 2006. № 4. С.35.
- [3] Романов С.К., Тихомиров Н. М., Рахманин Д. Н. Методика определения быстродействия синтезаторов частот с коммутацией токов накачки и постоянных времени фильтра нижних частот // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2010. № 3 (80). С. 79-93.

18 - Материаловедение

Андрусъ Олег Олегович, 4 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, физико-технический институт
Исследование поверхности, оптических и электрических свойств плёнок гидразона

Мвзинов Алим Сеит-Аметович, к.т.н.
e-mail: ol.rus12@yandex.ua стр. 403

Антонова Юлия Владимировна, магистрант 2 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Структура и ионная проводимость антимонат-молибдатов серебра

Лулицкая Юлия Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: lupitskaya@gmail.com стр. 404

Бажанова Вероника Сергеевна, магистрант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический
Исследование свойств пористых микродуговых кальцийфосфатных покрытий с разными типами наночастиц
Седелникова Мария Борисовна, д.т.н.

e-mail: bazhanova-vs@yandex.ru стр. 404

Балачков Максим Михайлович, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий

Построение двухмерной модели распространения волны горения в процессе СВС

Долматов Олег Юрьевич, к.ф.-м.н.
e-mail: mmb2@tpu.ru стр. 406

Батишвили Лали Алексеевна, магистрант 1 года обучения
Симферополь, "Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ), ИЯФиТ
Разработка метода получения фуллеренсодержащих материалов при утилизации изношенных резиносодержащих изделий низкотемпературным каталитическим крекингом

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.
e-mail: laliko2208@gmail.com стр. 407

Бессонова Ирина Геннадьевна, 4 курс
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический
Температурная зависимости эффекта памяти формы в сплавах FeMnCrNiSi при γ - ϵ мартенситном превращении

Киреева Ирина Васильевна, д.ф.-м.н.
e-mail: 79516284172@yandex.ru стр. 408

Булаева Елена Александровна, магистрант 2 года обучения
Челябинск, Челябинский государственный университет, физический
Синтез и структура керамических материалов на основе церата бария

Лулицкая Юлия Александровна, к.ф.-м.н.
e-mail: 13735446@mail.ru стр. 410

Буслович Дмитрий Геннадьевич, аспирант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий

Сравнение структуры и трибомеханических характеристик экструдированных полимер-полимерных композиций на основе СВМПЭ, полученных 3D-печатью и горячим прессованием

Панин Сергей Викторович, д.т.н.
e-mail: dgb2@tpu.ru стр. 410

Габдрахманова Лилия Айратовна, доцент
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Синтез и рентгеновские исследования суперионных проводников CuS-(1-x)CrS-xMnS

e-mail: la-gabdrahmanova@mail.ru стр. 412

Галлямова Рида Фадисовна, аспирант 1 года обучения
Уфа, Уфимский институт химии
Исследование барьерных покрытий, полученных методом золь-гель на углеродных волокнах
e-mail: rida_gallyamova@mail.ru стр. 414

Гонцова Светлана Сергеевна, аспирант 3 года обучения
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 стр. 415

Горишний Василий Александрович, 4 курс
Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, физико-технический институт
Экспериментальные методы наблюдения плазмонных вихрей
Дзедолик Игорь Викторович, д.ф.-м.н.
e-mail: yasiavasia19781978@mail.ru стр. 416

Евсеев Кирилл Васильевич, 4 курс
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Физико-технический институт
Ab initio расчет зонной структуры графена, допированного атомами азота
Шарин Егор Петрович, к.ф.-м.н.
e-mail: ekv97@mail.ru стр. 417

Евтухова Екатерина Андреевна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 418

Ельцова Софья Михайловна, 2 курс
Тюмень, Тюменский индустриальный университет, естественно-научный
Изучение корреляционных связей между параметрами сигнала акустической эмиссии и механическими свойствами стали марки СтЗсп5
Проботюк Владимир Викторович, к.т.н.
e-mail: elcova.sofya@mail.ru стр. 419

Казанцева Людмила Алексеевна, аспирант 3 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, химический
Получение перспективных высокопрочных материалов на основе алюминиевых сплавов
Курзина Ирина Александровна, д.ф.-м.н.
e-mail: kazantseva2911@mail.ru стр. 421

Камышова Елизавета Геннадиевна, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
In situ Спектроскопии рентгеновского поглощения по данным для исследования локальной атомной структуры МОК U_iO-67 функционализированной Pd.
Бугаев Арам Лусегенович, к.ф.-м.н.
e-mail: kamyshova.liza@gmail.com стр. 422

Котенков Павел Валерьевич, с.н.с.
Екатеринбург, Институт металлургии УрО РАН, ИНМТ
Влияние титана и иттрия на структуру и свойства алюминиево-кремниевых сплавов
e-mail: p.kotenkoff@yandex.ru стр. 422

Львов Олег Владимирович, м.н.с.
Томск, Томский научный центр СО РАН, НИ ОСМ
Особенности синтеза аллюомагнезимальной шпинели методом СВС
Радишевская Нина Ивановна, к.т.н.
e-mail: Lvov@vtomske.ru стр. 424

Майрамбекова Айкол Майрамбековна, 2 курс
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 стр. 426

Малышев Олег Игоревич, магистрант 2 года обучения
Великий Новгород, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, институт электронных
и информационных систем
Толщино-сдвиговая мода в магнитострикционных и пьезоэлектрических материалах
Петров Владимир Михайлович, д.т.н.
e-mail: jeffri53@gmail.com стр. 427

Пантелеева Анна Васильевна, 4 курс
Ижевск, Удмуртский государственный университет, институт математики, информ. технологий и физики
Самораспространяющийся высокотемпературный синтез системы на основе Nb-Si-C
Никонова Роза Музафаровна, к.т.н.
e-mail: pant_ania_97@mail.ru стр. 428

Парамонов Роман Михайлович, 3 курс
Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет, институт авиационных технологий и
материалов
**Влияние углеродных волокон, покрытых диоксидом титана, на прочность композита с алюминиевой
матрицей**
Зарипов Наиль Гарифьянович, д.ф.-м.н.
e-mail: r-paramonov@inbox.ru стр. 429

Пермикин Антон Андреевич, магистрант 2 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных
технологий
Получение интерметаллидных матриц для дисперсионного ядерного топлива методом СВ-синтеза
e-mail: aap71@tpu.ru стр. 430

Резванова Анастасия Евгеньевна, магистрант 1 года обучения
Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, вычислительных
систем
Трещиностойкость керамического композита «гидроксипатит - многостенные углеродные нанотрубки»
Пономарев Александр Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: nastyia.rezvanova@mail.ru стр. 432

Рогова Инна Андреевна, аспирант 3 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, школа базовой инженерной
подготовки
**Влияние смещения стационарного потенциала алюминиевой подложки в катодную область на
трибологические характеристики никель-фосфорного покрытия**
Ильин Александр Петрович, д.т.н.
e-mail: inna.aleksenko92@mail.ru стр. 432

Скорынина Алина Александровна, аспирант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, МИЦ `Интеллектуальные материалы`
Динамика локальной структуры функционализированного МОК UiO-67
Бугаев Арам Лусегенович, к.ф.-м.н.
e-mail: alinaskorynina@rambler.ru стр. 434

Толынбеков Айдос Бейбитбекулы, аспирант 3 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический
Исследование фильтрационного горения порошка хрома в азоте
Жуков Александр Степанович, д.ф.-м.н.
e-mail: a.tolynbekov@gmail.com стр. 434

Тумбусова Ирина Алексеевна, 3 курс

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа новых производственных технологий

Изучение фазового состава, микроструктуры и микротвердости высокоазотистой аустенитной стали X23AG17 в зависимости от продолжительности старения

Астафурова Елена Геннадьевна, д.ф.-м.н.

e-mail: tumbusovairina@outlook.com стр. 436

Чалов Дмитрий Александрович, 5 курс

Челябинск, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, физико-математический

Эволюция ИК спектров химически модифицированного поливинилиденфторида при долговременном хранении

Песин Леонид Абрамович, д.ф.-м.н.

e-mail: chalovdmitriy@gmail.com стр. 437

Чудинова Александра Олеговна, аспирант 2 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, школа базовой инженерной подготовки

Получение тугоплавкого нитрида Ta₂N синтезом сжигания в воздухе смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала

Ильин Александр Петрович, д.ф.-м.н.

e-mail: chudinova.1509@mail.ru стр. 438

Шапиев Гусейн Шапиевич, инженер-лаборант

Махачкала, Дагестанский государственный университет, физический

Сверхпроводящие пленки на основе YBCO

Гаджимагомедов С.Х., -

e-mail: shguseyn@mail.ru стр. 439

Исследование поверхности, оптических и электрических свойств плёнок гидразона

Андрусь Олег Олегович

Шевченко Алексей Иванович

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Мазинов Алим Сеит-Аметович, к.т.н.

ol.rus12@yandex.ua

Гидразоны – класс химических соединений, производные гидразина. Данные материалы являются перспективными для использования в химии, оптике, медицине и сельском хозяйстве. Получение комплексов гидразонов с различными химическими элементами позволяет ещё больше расширить диапазон свойств и, следовательно, применения [1-3]. Исходя из значительного количества различных органических материалов, в том числе гидразонов, их получение и, тем более, исследование их физических свойств представляется актуальной задачей.

Нами исследовался гидразон 4-хлорбензойной кислоты и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она [4]. Данный материал представляет собой твёрдое вещество жёлтого цвета. Для получения структур на основе гидразона был взят его раствор в метаноле, который осаждался на стеклянную подложку. Несколько образцов изготавливались простым методом «полива» из раствора, другие образцы были получены методом центрифугирования, который применялся для варьирования степенью однородности поверхности при изменении скорости вращения центрифуги [5].

После испарения растворителя были получены плёночные структуры толщиной в единицы микрометров. Микрофотография поверхности одной из плёнок представлена на рис. 1. В общем материал имеет ячеистую поверхность. Размер ячеек лежит на уровне единиц микрометров. В нижней части рисунка представлена частица материала большего размера.

В спектральных зависимостях инфракрасного диапазона, полученных с помощью ИК-Фурье спектрометра, наблюдались многочисленные пики поглощения, свойственные частотам колебаний составляющих молекулы структурным фрагментам (CH, NH, CO и др.).

Спектры пропускания видимого диапазона приставляют собой монотонно возрастающие с увеличением длины волны зависимости.

Следующим этапом рассмотрения физических свойств гидразона было исследование его электрических зависимостей. Вольт-амперные характеристики представляют собой в целом линейные кривые. Найденные сопротивления образцов лежали на уровне десятков ГОм.

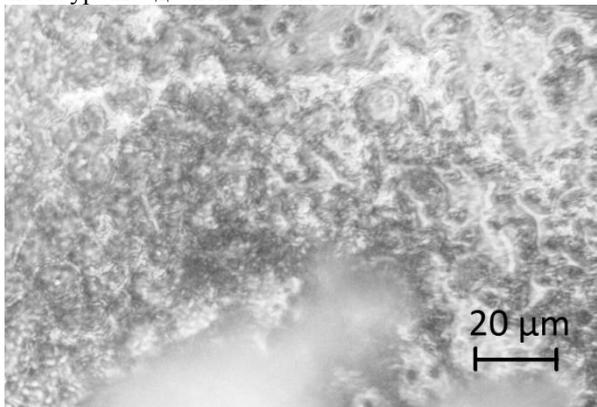


Рис.1. Микрофотография плёночной структуры на основе исследованного гидразона

В ходе проведённых исследований следует отметить, что оптические характеристики гидразоновых плёнок показали их достаточно высокую степень непрозрачности в видимом диапазоне (особенно в коротковолновой его части), что позволяет сделать вывод о потенциальной возможности использования исследованных веществ в оптических приборах. Вольт-амперные характеристики представили диэлектрический характер проводимости плёночных структур.

Список публикаций:

[1] Конник О.В. и др. // *Журнал неорганической химии*. 2017. Т. 62. С. 337.

[2] Aslkhademi S. et al. // *Polyhedron*. 2019. V. 160. P. 115.

[3] Heinrich J., Stubbe J., Kulak N. // *Inorganica Chimica Acta*. 2018. V. 481. P. 79.

[4] Шульгин В.Ф. и др. // *Координационная химия*. 2014. Т. 40. С. 374.

[5] Balzarotti R., Cristiani C., Francis L.F. // *Surface and Coatings Technology*. 2017. V. 330. P. 1.

Структура и ионная проводимость антимонат-молибдатов серебра

Антонова Юлия Владимировна

Луницкая Юлия Александровна, Калганов Дмитрий Александрович

Челябинский государственный университет

Луницкая Юлия Александровна, к.ф.-м.н.

lupitskaya@gmail.com

В настоящее время особое внимание уделяется поиску и разработке новых функциональных материалов, обладающих высокой ионной и протонной проводимостью [1]. С этой точки зрения интерес представляют твердые электролиты, имеющие каркасное строение. Такие материалы находят широкое практическое применение в качестве электролитов в различных электрохимических устройствах - топливных элементах, электролизерах водяного пара, сенсорах.

Среди известных ионных проводников со структурой типа пироклора следует выделить класс оксидов семейства $A_2B_2O_7$, характеризующихся наличием примесных или регулярных дефектов и низкими значениями энергии активации проводимости. Типичными представителями таких оксидных систем являются антимолаты одновалентных металлов MSb_3O_7 ($M^+ = Na, K, Ag$), получить которые можно путем твердофазной реакции. Однако при нагревании на воздухе соединения оказываются термически неустойчивыми - в системе протекают сложные окислительно-восстановительные процессы, сопровождающиеся изменением валентного состояния оксидов сурьмы, при этом образуются фазы различного состава и структуры.

Методами термического анализа исследованы особенности образования соединений на основе антимолат серебра, полученных в системе $AgNO_3-Sb_2O_3-MoO_3$ путем твердофазного синтеза. С помощью качественного рентгенофазового анализа для температуры синтеза 1023 К выявлена гомогенная концентрационная область твердого раствора $Ag_{2-x}Sb_{2-x}Mo_xO_6$ со структурой типа дефектного пироклора в интервале $0.0 \leq x \leq 2.0$. В рамках пространственной группы $Fd-3m$ методом Ритвельда проведено уточнение параметров структуры кристаллических фаз, и установлена корреляция структурной разупорядоченности с их электропроводящими свойствами.

Установлено, что частичное замещение Sb^{5+} на Mo^{6+} в антимолате серебра создает дефектность в катионной подрешетке структуры, а допирование соединений ионами серебра не только повышает устойчивость каркаса, но и способствует росту проводимости в этих фазах. Для керамических образцов, спеченных при 1223 К, определены относительная плотность и размер частиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00269

Список публикаций:

[1] Stenina I. A. Yaroslavtsev A. B. // *Russian Journal of Inorganic Materials*. 2017. Т. 53. №4. С. 343.

Исследование свойств пористых микродуговых кальцийфосфатных покрытий с заряженными наночастицами

Бажанова Вероника Сергеевна^{1,3}

Чебодаева Валентина Вадимовна^{2,3}

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

³*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

Седельникова Мария Борисовна

bazhanova-vs@yandex.ru

В настоящее время в медицине широко применяются металлические имплантаты для замены костной ткани. Чаще всего в качестве основы имплантата используют титан и его сплавы [1]. После хирургического вмешательства в зоне имплантации возникает воспаление тканей, эта реакция является защитной функцией организма на попадание инородного тела. Чтобы минимизировать воспаление и сократить риск отторжения, на поверхность имплантатов наносят биоактивное покрытие на основе гидроксиапатита, который является основной компонентом минеральной составляющей костной ткани. Перспективным методом для формирования таких покрытий является метод микродугового оксидирования (МДО), он позволяет сформировать на поверхности титана пористое покрытие с развитой морфологией. Покрытие, сформированное таким методом, является электретным и его поверхность заряжена отрицательно [2]. При этом известно, что поверхность живых клеток костной ткани также обладает отрицательным зарядом [3]. Дополнительное модифицирование кальцийфосфатных покрытий положительно заряженными наночастицами бемита и оксида цинка позволяет

варьировать и управлять электрическими свойствами имплантата. Кроме того, наночастицы бемита могут увеличить адсорбционную способность покрытия [4], а наночастицы оксида цинка придать покрытию антибактериальные свойства [5].

Целью работы являлось получение биопокрытий с наночастицами бемита и ZnO и исследование их морфологии.

В эксперименте использовали образцы из технически чистого титана марки ВТ1-0 в виде пластин с размерами $10 \times 10 \times 1$ мм³. КФ покрытие формировали методом МДО на установке «MicroArc-3.0» в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты, карбоната кальция и гидроксиапатита (ГА) [1,2,6]. Морфологию поверхности КФ покрытий исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе «LEO EVO-50» (ЦКП «Нанотех»). Готовые КФ покрытия модифицировали в суспензиях с нанопорошками AlN и ZnO для получения в покрытии наночастиц бемита и оксида цинка. Перед осаждением наночастиц, суспензии подвергали предварительной ультразвуковой (УЗ) обработке для диспергирования агломератов нанопорошков в течение часа. Для получения наночастиц бемита суспензию с образцов нагревали для проведения реакции гидролиза (см. фор. 1), продуктами которой являлись наночастицы AlO(OH) [2].



Исследования методом РЭМ показали, что морфология КФ покрытия представлена сфероидальными образованиями с порами (рис. 1а). Модифицирование с помощью заряженных наночастиц привело к появлению в биопокрытии областей, содержащих агломераты наночастиц бемита и оксида цинка. В КФ биопокрытии, модифицированном наночастицами бемита наблюдается скопление агломератов, по форме приближенных к сферической со складчатой структурой размером 700 нм (рис. 1б). При этом покрытие с наночастицами оксида цинка характеризуются более равномерным распределением частиц, но менее плотным (рис. 1в). После 60 минутной УЗ обработки суспензии с водой и осаждения наночастиц ZnO в покрытие, наночастицы осаждаются в виде «налета» на поверхности сфер и внутри пор покрытия.

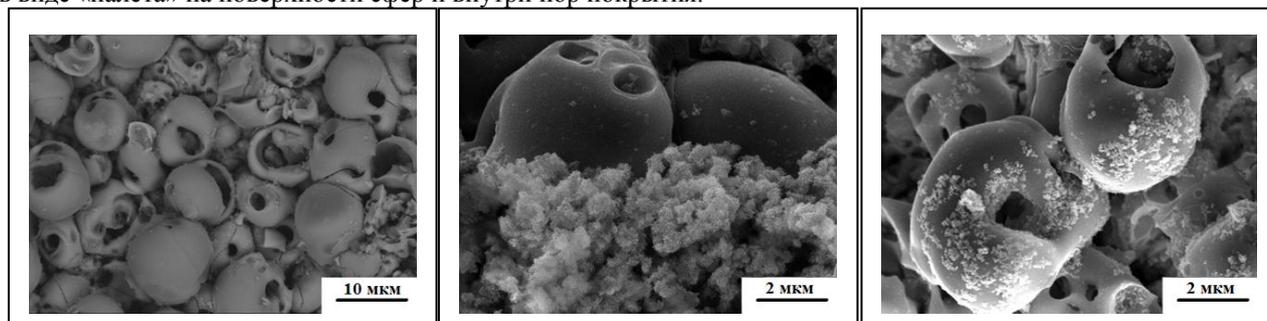


рис. 1. РЭМ изображения КФ биопокрытий: без модифицирования (а), с наночастицами бемита (б) и наночастицами оксида цинка (в).

Таким образом, КФ покрытия, сформированные методом МДО с последующей модификацией наночастицами AlO(OH) и ZnO, обладают пористой поверхностью со структурными элементами сферической формы. Выявлено, что ультразвуковая обработка не приводит к существенному разрушению структурных элементов покрытия. При этом форма и характер распределения модифицирующих наночастиц в покрытии отличаются. Наночастицы бемита в КФ биопокрытии осаждаются в виде агломератов, близких по форме к сферической, а наночастицы оксида цинка характеризуются более равномерным распределением частиц, размером меньше 500 нм по поверхности биопокрытий.

Планируется проведение дополнительных исследований дзета-потенциала поверхности биопокрытий модифицированных заряженными наночастицами бемита и оксида цинка.

В заключение авторы выражают благодарность заведующему лабораторией физики высокодисперсных материалов ИФПМ СО РАН Лернеру М.И. за предоставление нанопорошков AlN и ZnO и обсуждение результатов исследований.

Список публикаций:

- [1] Шаркеев Ю.П., Псахье С.Г., Легостаева Е.В., Князева А.Г. и др. // Биокмозиты на основе кальцийфосфатных покрытий, наноструктурных и ультрамелкозернистых биоинертных металлов, их биосовместимость и биодеградация. Отв. ред. Ляхов Н.З. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. 2014. С. 596.
- [2] V. Chebodaeva, M. Sedelnikova, K. Golohvast, A. Zaharenko, Yu. Sharkeev // Formation of a Surface Charged Microarc Coatings Modified by Boehmite Nanoparticles. Key Engineering Materials. 2018. V. 769. P. 35-41.
- [3] Takashi I., Kenichi M. // Surface Modification of Dental Implant Improves Implant. Tissue Interface Interface Oral Health Science. 2014. P 33-44.
- [4] Бакина О.В., Глазкова Е.А., Хоробрая Е.Г., Сваровская Н.В., Ложкомоев А.С., Волков С.А., Лернер М.И., Псахье С.Г. // Влияние дезагрегации прекурсора при синтезе низкоразмерных структур AlOOH на их морфологию. // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 12. С. 45-50.
- [5] Sirelkhatim A., Mahmud S., Seeni A., Kaus N.H.M., Ann L.C., Bakhori S.K.M., Hasan H., Mohamad // Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. Nano-Micro Letters, Volume 7, Issue 3, 2015, P. 219-242.
- [6] Sedelnikova M.B., Sharkeev Yu.P., Komarova E.G., Khlusov I.A., Chebodaeva V.V. // Structure and properties of the wollastonite-calcium phosphate coatings deposited on titanium and titanium-niobium alloy by the microarc oxidation method. Surface & Coatings Technology. 2016. V. 307. P. 1274–1283.

Построение двухмерной модели распространения волны горения в процессе СВС

Балачков Максим Михайлович

Долматов Олег Юрьевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Долматов Олег Юрьевич, к.ф.-м.н.

mmb2@tpu.ru

На сегодняшний день ядерная промышленность нуждается в новых функциональных материалах. К ним относятся материалы ядерных топливных композиций, материалы, защищающие от ионизирующего излучения и материалы, предназначенные для иммобилизации радиоактивных отходов.

Традиционным топливом в ядерной энергетике является диоксид урана (UO_2), имеющий малый коэффициент теплопроводности ($\lambda = 4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), приводящий к преждевременному разрушению топливных таблеток. Один из возможных вариантов увеличения теплопроводности ядерного топлива является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ). ДЯТ это однородное по составу вещество, в котором содержится 2 фазы: ядерное топливо и неделяющаяся матрица. Использование в качестве матрицы ДЯТ веществ с хорошей теплопроводностью увеличивает общую теплопроводность ДЯТ [1].

Производство этого вида топлива осуществляют методами порошковой металлургии, имеющие ряд недостатков: сложное технологическое оборудование, большие затраты энергии. Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) не имеет данных недостатков. СВС основан на проведении экзотермической химической реакции взаимодействия исходных реагентов в форме безкислородного горения. СВС происходит следующим образом: в результате локального подвода тепла к части образца инициируется экзотермическая химическая реакция, выделившаяся энергия разогревает соседние слои образца, в разогретых слоях снова инициируется химическая реакция. Также технологию СВС можно использовать для получения боридов вольфрама (WB) и карбид бора (B_4C), эти материалы могут использоваться в качестве материалов защищающих от ионизирующих излучений, в качестве матриц для иммобилизации радиоактивных отходов можно использовать перовскиты.

Ещё одним преимуществом технологии СВС является возможность получения материалов с заданными свойствами, воздействуя на начальные параметры системы. В связи с этим возникает необходимость построения математической модели распространения волны горения в процессе СВС для прогнозирования свойств полученных материалов, к примерам фазового состава. В первом приближении можно воспользоваться двумерным дифференциальным уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) = f(z, r, t), \quad (1)$$

где $u = u(x, y, z, t)$ – функция температуры; α – коэффициент температуропроводности; $f(z, r, t)$ – функция тепловых источников.

В данной модели будем считать, что волна горения распространяется от верхнего торца образца к нижнему, так же скорость распространения волны горения будем считать постоянной. В связи с этим вид функции тепловых источников можно описать следующей функцией:

$$f(z, r, t) = \begin{cases} Q, & z = H - v \cdot t; \\ 0, & z \neq H - v \cdot t; \end{cases} \quad z \in [0; H], \quad (2)$$

где Q – теплота, выделяемая точечным источником; H – высота образца; v – скорость распространения волны горения.

Примем, что СВС происходит в вакууме, а нижний торец теплоизолирован. То есть граничные условия запишутся в виде:

$$\lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=H} = -\varepsilon \cdot \sigma_B \cdot (u^4 - u_c^4); \quad \lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0; \quad \lambda \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=R} = -\varepsilon \cdot \sigma_B \cdot (u^4 - u_c^4), \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности вещества; u_c – температура окружающей среды; ε – степень черноты тела; σ_B – постоянная Стефана-Больцмана; R – радиус образца.

В начале процесса температура всего образца равна некоторой константе u_0 .

Далее для численного моделирования был осуществлён переход от дифференциального уравнения к конечноразностной схеме с шеститочечным шаблоном [3]. Моделирование проводилось для системы Ni-Al. Результаты моделирования приведены на рисунках 1 и 2.

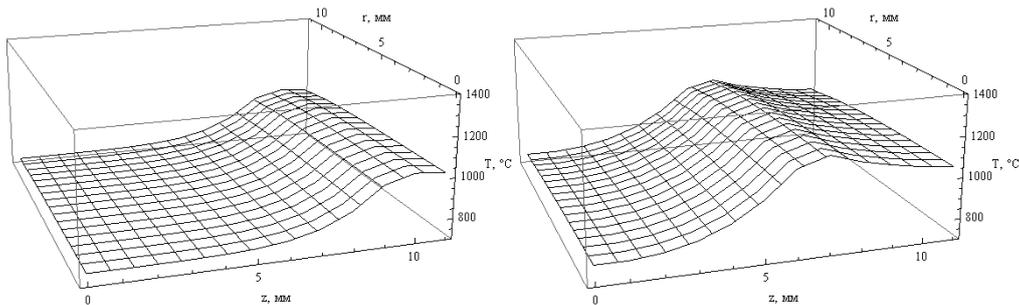


рис.1. Температурное поле образца при $t = 0,2$ с (слева) и $t = 0,5$ с (справа)

Для сравнения на рисунке 2 приведена экспериментально полученная термограмма синтеза Ni-Al.

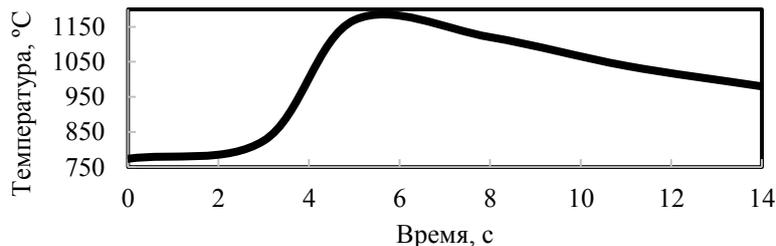


рис.2. Экспериментально полученная термограмма

Список публикаций:

- [1] Бойко В. И., Топливные материалы в ядерной энергетике: учебное пособие / В. И. Бойко, Г. Н. Колпаков, О. В. Селиваникова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186 с.
- [2] Амосов А. П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учебное пособие / А. П. Амосов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 471 с.
- [3] Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1971. – 552 с.

Разработка метода получения фуллеренсодержащих материалов при утилизации изношенных резиносодержащих изделий низкотемпературным каталитическим крекингом

Батиашвили Лали Алексеевна¹

Максимова Елена Михайловна², Наухацкий Игорь Анатольевич²

¹ **Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

² **Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского**

² Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

Batiashvili.l@yandex.ru

Актуальной задачей на сегодняшний момент является разработка новых эффективных методов получения фуллеренов, ведь уже сейчас они составляют основу серьезного научного направления, имеющего как фундаментальное, так и прикладное значение. На сегодняшний день самыми распространенными методами производства фуллеренсодержащих материалов являются плазменный метод дугового разряда и метод горения в пламени углеводородов. Для такого производства характерны большие энергетические затраты и дорогое исходное сырье. Существует мнение, что перспективы уменьшения себестоимости фуллеренов могут быть связаны с использованием гибридных методов получения фуллереносодержащей сажи [1]. В данной работе рассмотрен метод производства фуллеренсодержащих материалов (ФСМ) низкотемпературным каталитическим крекингом с использованием в качестве исходного сырья резинотехнических изделий [2].

В сравнении с имеющимися методами производства фуллеренсодержащих материалов, предложенный метод отличается меньшими энергозатратами. Это достигается за счет более низких температур технологического процесса (400-450 градусов Цельсия) в отличие, например, от электродугового метода синтеза фуллеренов и ФСМ (2500-3000 градусов Цельсия).

В настоящей работе была разработана и собрана лабораторная установка для синтеза фуллеренсодержащей сажи. Методами рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа было проведено исследование полученного материала, рис.1.

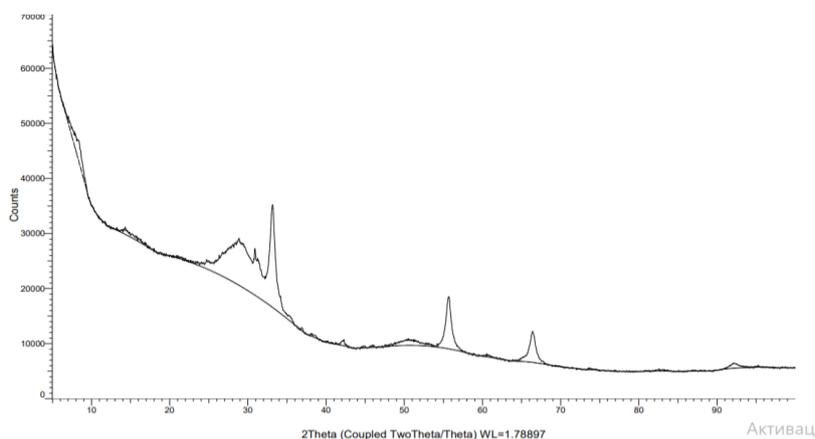


рис.1. Дифрактограмма полученного фуллеренсодержащего материала

Установлено, что образец, полученный при температуре сжигания $t \sim 400^\circ \text{C}$ с использованием в качестве катализаторов меди, железа и цинка, имеет в своем составе, в качестве основной фазы, фуллерен C_{60} со следующими структурными характеристиками: группа симметрии - $Fm-3m$, параметр элементарной кубической решетки - $a=12.380 \text{ \AA}$. Также в образце содержится фуллерен C_{70} : группа симметрии - F , параметр элементарной кубической решетки - $a=14.990 \text{ \AA}$ и фуллерен C_8 : группа симметрии - $Ia-3$, параметр элементарной кубической решетки - $a=4.293 \text{ \AA}$.

Работа выполнена при поддержке гранта Всероссийского конкурса инновационных молодежных проектов «УМНИК» 13417ГУ/2018 Фонда содействия инновациям.

Список публикаций:

- [1] Kroto H.W., C60: Buckminsterfullerene // Nature. 1985. Vol. 318. P. 162–163.
 [2] Шевченко А.И., Работягов К.В., Максимова Е.М., Науцацкий И.А., Батиаишвили Л.А. // Фуллеренсодержащий материал, полученный низкотемпературным крекингом из резиносодержащих отходов. Вестник Тамбовского университета. Естественные и технические науки, Тамбов, 2017, с. 459-463.

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

Бессонова Ирина Геннадьевна

Куксагузен Ирина Владимировна, Киреева Ирина Васильевна, Чумляков Юрий Иванович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Киреева Ирина Васильевна д.ф.-м.н.

79516284172@yandex.ru

Сплавы на основе Fe – Mn – Si известны как наиболее дешевые сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ), использование которых подходит для создания больших конструктивных элементов [1]. К примеру, муфты, созданные из сталей Fe – Mn – Si с необходимым комплексом свойств, позволят соединять трубы различной толщины и диаметра и из разных материалов, в том числе из тех, которые не подлежат сварке и пайке. При этом соединение будет обладать высокой прочностью и коррозионной стойкостью, отличаться простотой и быстротой сборки.

Анализ литературы показал, что в сплавах на основе Fe – Mn – Si развитие γ - ϵ мартенситного превращения (МП) (γ – гранцентрированная кубическая (ГЦК) решетка, ϵ – гексагональная плотноупакованная (ГПУ) решетка) приводит к появлению ЭПФ, который обусловлен обратимым движением частичных дислокаций Шокли $a/6 \langle 112 \rangle$ с максимальным значением фактора Шмида для двойниующих дислокаций равным 0.5. К настоящему времени, в поликристаллах Fe – 19 % Mn – 5.5 % Si – 9 % Cr – 4.5 % Ni (масс. %) максимально полученное значение ЭПФ составляет 7.7 % при крупном размере зерна $\sim 650 \text{ мкм}$ [2].

Проблема достижения больших обратимых деформаций более 7.7 % в поликристаллах сталей на основе Fe – Mn – Si остается не выясненной. Представляет также научный и практический интерес изучение величины ЭПФ при различных температурах испытания. Поэтому целью настоящей работы являлось исследование температурной зависимости величины ЭПФ в поликристаллах сплава Fe – 15 % Mn – 10 % Cr – 8 % Ni – 4 % Si (масс. %) при деформации растяжением. Для исследования выбраны олигокристаллы: образцы с большим размером зерна от 1000 до 1500 мкм, которые залегают вдоль сечения образца. Для однородного распределения

элементов по образцу после выплавки поликристаллов был проведен высокотемпературный гомогенизационный отжиг при $T = 1373$ К в течение 14 часов в атмосфере гелия. Исследование ЭПФ проводили следующим образом: предварительно деформировали образцы растяжением при $T = 77$ К и $T = 208$ К до различных степеней деформации: $\varepsilon_{\text{зад}} = 2.8, 6.0, 7.0, 8.4$ и 10.7 %; затем нагревали двумя способами: один образец нагревали в специально сконструированной установке (дилатометре) в свободном состоянии со скоростью нагрева 10 К/мин, другой образец кипятили при $T=373$ К в течение 15 минут.

Результаты эксперимента по исследованию ЭПФ в поликристаллах сплава Fe – 15 % Mn – 10 % Cr – 8 % Ni – 4 % Si (масс. %) при растяжении представлены на рисунках 1 и 2. Исследования при $T = 77$ К показали (рисунок 1), что после предварительной деформации до $\varepsilon_{\text{зад}} = 2.8$ % при нагреве выше описанными способами наблюдается уменьшение размеров образца, следовательно, идет обратное ε - γ превращение. При этом при нагреве заданная деформация возвращается полностью. Это является подтверждением того, что γ - ε МП в поликристаллах сплава Fe – 15 % Mn – 10 % Cr – 8 % Ni – 4 % Si (масс. %) является термоупругим и в исследуемых образцах наблюдается ЭПФ. По кривым нагрева в дилатометре были определены температуры начала $A_s = 324$ К и конца $A_f = 350$ К обратного превращения, как показано на рисунке 1 б. Для получения максимального ресурса обратимой деформации при $T = 77$ К увеличивали степень предварительной деформации. Так, при деформации до 7 % наблюдается полное восстановление образца, а с дальнейшим увеличением заданной деформации имеет место необратимость. Таким образом, при $\varepsilon_{\text{зад}} = 10.7$ % при температуре $T = 77$ К максимальная величина ЭПФ в исследуемых поликристаллах составила 8.4 %. При этом, оба способа нагрева показали близкие результаты, что свидетельствует об однородности исходной структуры исследованных кристаллов.

Экспериментальные значения ЭПФ при $T = 208$ К оказались менее результативными. Из рисунка 2 видно, что после предварительной деформации до $\varepsilon_{\text{зад}} = 2.8$ % при нагреве наблюдается неполное восстановление размеров образца. И далее с увеличением степени заданной деформации происходит накопление необратимой деформации. Дальнейшее увеличение степеней предварительной деформации было использовано для выяснения максимального значения ЭПФ на поликристаллах при $T = 208$ К. Оказалось, что при увеличении заданной деформации величина ЭПФ слабо изменяется и при $\varepsilon_{\text{зад}} = 9.8$ % величина обратимой деформации составила 1.9 %.

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что γ - ε МП в исследуемых поликристаллах Fe – 15 % Mn – 10 % Cr – 8 % Ni – 4 % Si (масс. %) является термоупругим и наблюдается ЭПФ. Величина ЭПФ составила 8.4 % при деформации растяжением при $T = 77$ К и 1.9 % при $T = 208$ К.

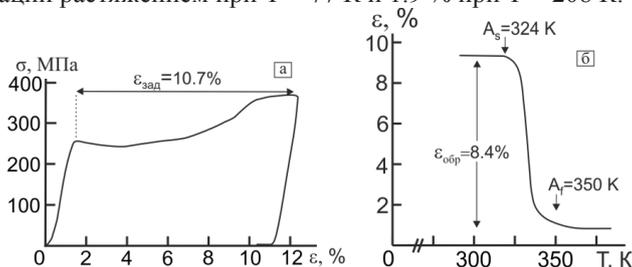


рис.1. $\sigma(\varepsilon)$ кривая при растяжении при $T = 77$ К для прямого γ - ε превращения при заданной деформации 10.7 % (а) и соответствующая $\varepsilon(T)$ - кривая для обратного ε - γ превращения при нагреве в свободном состоянии (б) для поликристаллов сплава Fe – 15 % Mn – 10 % Cr – 8 % Ni – 4 % Si (масс. %).

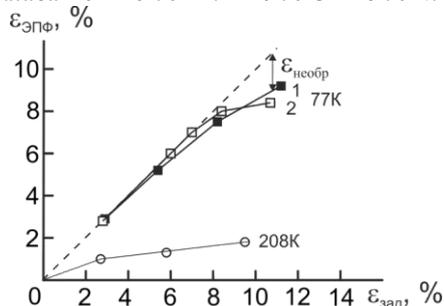


рис.2. Величина эффекта памяти формы в поликристаллах сплава Fe-15%Mn-10%Cr-8%Ni-4%Si (масс. %) при заданной деформации растяжением при $T = 77$ и 208 К: при нагреве в свободном состоянии (1), кипячение (2).

Список публикаций:

- [1] Sawaguchi T., Maruyama T., Otsuka H., Kushibe A., Inoue Y., Tsuzaki K. Design Concept and Applications of FeMnSi- Based Alloys from Shape-Memory to Seismic Response Control // Materials Transactions. – 2016. – V. 57. – P. 283–293.
 [2] Peng H., Wang G., Wang S., Chen J., MacLaren I., Wen, Y. Key criterion for achieving giant recovery strains in polycrystalline Fe-Mn-Si based shape memory alloys // Materials Science and Engineering A. – 2017. – V. 712. – P. 37–49.

Синтез и структура керамических материалов на основе церата бария

Булаева Елена Александровна

Челябинский государственный университет

Луницкая Юлия Александровна, к.ф.-м.н.

13735446@mail.ru

Твердые растворы $BaCe_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ со структурой типа перовскита являются перспективными материалами для создания на их основе протонпроводящих мембран в твердотельных топливных элементах и электролизерах водяного пара, так как они обладают ионпроводящими и ионообменными свойствами. За счет образования дефектов в анионной подрешетке (кислородных вакансий), при частичном замещении Ce^{4+} на M^{3+} (Y, Pr, Nd, Sm, Gd) в катионной подрешетке структуры, в таких материалах возникает ионная и протонная проводимость.

Получить такие материалы можно по технологии золь-гель метода (м. Печини) или путем твердофазной реакции в системе $BaCO_3-CeO_2-M_2O_3$ (M^{3+} - Y, Pr, Nd, Sm, Gd) при нагревании на воздухе.

В настоящей работе проведен синтез твердых растворов церата бария $BaCe_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ (M^{3+} - Y, Pr, Nd, Sm, Gd) путем одностадийного цитрат-нитратного метода. С привлечением данных ТГ-ДСК анализа установлены оптимальные температуры синтеза порошков. Особенности изменения фазового состава синтезированных соединений изучали методом качественного рентгенофазового анализа (РФА) с помощью данных картотеки международного центра дифракционных данных (ICDD JCPDS). Полнопрофильный анализ кристаллической структуры соединений на основе церата бария проводили методом Ритвельда при использовании программного комплекса GSAS. С помощью растровой электронной микроскопии исследована морфология поверхности керамических материалов различного состава.

Установлено, что при температуре 1223 К образуется гомогенная область существования твердых растворов $BaCe_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ (M^{3+} - Y, Pr, Nd, Sm, Gd) со структурой искаженного перовскита. Для синтезированных образцов, спеченных при 1723 К, исследованы керамические свойства (относительная плотность, открытая пористость, размеры зерен).

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00269.

Сравнение структуры и трибомеханических характеристик экструдированных полимер-полимерных композиций на основе СВМПЭ, полученных 3D-печатью и горячим прессованием

Буслович Дмитрий Геннадьевич

Алексенко Владислав Олегович, Донцов Юрий Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Панин Сергей Викторович, д.т.н.

dgb2@tpu.ru

Разработка экструдированных полимер-полимерных композиций на основе сверхвысокомолекулярной матрицы (СВМПЭ) с высокими характеристиками прочности и износостойкости для последующего производства изделий методом 3D-печати является актуальной задачей [1]. В последнее время активно проводятся исследования по использованию методов 3D-печати, а именно FDM (Fused Deposition Modelling) [2], а также SLS (Selective Laser Sintering) [3] для изготовления изделий из полиолефиновых матриц (включая СВМПЭ) с использованием различных наполнителей/пластификаторов [4].

В [5] показано, что для сверхвысокомолекулярного неполярного полимера СВМПЭ, имеющего близкий к нулю показатель текучести расплава, наиболее эффективным пластифицирующим наполнителем для сохранения трибомеханических характеристик и необходимой текучести расплава для аддитивных технологий является полимер-полимерная смесь «15 вес.% HDPE-g-SMA+15 вес.% PP». Совместимый с СВМПЭ привитый полиэтилен высокой плотности обеспечивает высокие трибомеханические характеристики СВМПЭ при сохранении сферолитной надмолекулярной структуры, а полипропилен способствует повышению текучести расплава. Разработана рецептура управляющих параметров, придающих требуемые (ограничительные) значения эффективным характеристикам многокомпонентных полимер-полимерных композиций для аддитивных технологий [5].

Экспериментально проведена проверка предложенной рецептуры многокомпонентного экструдированного полимер-полимерного композита с требуемыми основными характеристиками композита оптимального состава «СВМПЭ + 15 вес. % HDPE-g-SMA + 15 вес. % PP», полученного методом компрессионного спекания.

В настоящей работе была поставлена задача исследовать структуру, механические и трибологические свойства композита оптимального состава, полученного методом FDM-технологии (послойной экструзионной печати, ПТР=1,87 г/10 мин) и провести сравнительный анализ трибомеханических характеристик полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ, полученных указанными выше двумя способами.

В работе в качестве связующего использовали СВМПЭ марки GUR-2122 (Ticona, Германия) молекулярной массой 4,2 млн в виде агломератов 130 мкм с размером частиц 5-15 мкм, в качестве пластифицирующих добавок – а) привитый полиэтилен высокой плотности HDPE-g-SMA (молотый гранулят), б) порошок полипропилена марки PP21030 (ПТР = 3,0 г/10 мин). Смешение связующего и наполнителей для изготовления образцов методом компрессионного спекания (горячего прессования) проводили в планетарной шаровой мельнице MP/0,5*4 (ООО «Техноцентр», Рыбинск) с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне ПСБ-Галс 1335-05 (ЦУО ПСБ-Галс, Москва).

С целью эффективного совмещения мелких (размером в десятки мкм) частиц СВМПЭ с крупными (сотни мкм) частицами полимерных наполнителей для реализации 3D печати, дополнительно проводили их экструзионное смешение в двухшнековом экструдере «Rondol» (10 mm Twin Screw Extruders, Microlab). Температура на выходе экструзионной головки составляла $T = 210$ °С. Гранулы со средним размером 3-5 мм получали путем последующего механического помола экструдата на измельчителе «Rondol».

Объемные заготовки полимерных композитов изготавливали: а) компрессионным спеканием двухкомпонентных порошковых смесей при давлении $P = 10$ МПа и температуре $T = 200$ °С в лабораторной установке на базе гидравлического пресса «МС-500» (ООО «НПК ТехМаш»), оборудованного размыкаемой кольцевой печью; скорость охлаждения заготовок без снятия давления, составляла 5 °С/мин; б) методом FDM (Fused Deposition Modeling) из гранул тех же полимерных компонентов на лабораторном принтере ArmiPrint – 2 (НИ ТПУ, Томск) с диаметром сопла 0,4 мм; температура стола, верхней и нижней областей подачи филамента (гранул) составляла $T = 90, 160$ и 200 °С соответственно; скорость послойного нанесения и толщина наносимого слоя материала составляла 20 мм/с и 0,3 мм соответственно. Из полученных плиток размером $65 \times 70 \times 10$ мм фрезеровали образцы требуемой формы.

Механические характеристики образцов определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине «Instron 5582» (Instron, Великобритания) при растяжении образцов в форме двойной лопатки при количестве образцов одного типа не менее 4.

Объемный износ образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «шар-по-дису» («Ш-п-Д») на трибометре CSEM CH2000 (CSEM, Швейцария) при нагрузке $P = 5$ Н (расчетная величина контактного давления $p_{max} = 31,8$ МПа) и скорости скольжения $V = 0,3$ м/с. Радиус контртела в виде шарика из стали ШХ15 составлял 6 мм.

Исследование топографии поверхности дорожек трения проводили на оптическом микроскопе Neophot 2 (Carl Zeiss Jena, Германия) оборудованном цифровой камерой Canon EOS 550D (Canon Inc., Япония), и контактным профилометре Alpha-Step IQ (KLA-Tencor). Структурные исследования выполняли на растровом электронном микроскопе «LEO EVO 50» (Carl Zeiss, Германия) при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхности скола образцов с надрезом, разрушенных после охлаждения в жидком азоте. Кристалличность определяли на совмещенном анализаторе SDT Q600 (TA Instruments, США). ИК-спектры получали на спектрометре NIKOLET 5700 (Thermo Scientific, США).

Из полученных результатов следует, что плотность и твердость по Шору D в композите, полученном методом 3D-печати, ниже исходного СВМПЭ и композита, полученного горячим прессованием. Модуль упругости, предел текучести, предел прочности, удлинение до разрушения образцов, полученных FDM-методом, превосходят в среднем на 10-13 % соответствующие характеристики композитов, полученных горячим прессованием. При этом такая важная характеристика для конструкционных полимерных композитов, как ударная вязкость по Шарпи, в FDM-образцах повышается в 3,1 раза (116 против 37 кДж/м), что обусловлено различным характером формирующейся надмолекулярной структуры при двух указанных методах получения композитов. В пользу этого свидетельствует, во-первых, повышение кристалличности композитов (с 24,6 % для ГП и 32,4 % для композита полученного FDM методом), а также характер разрушения образцов. Во-вторых, тип формирующейся надмолекулярной структуры: в композите, полученном горячим прессованием, формируется достаточно неоднородная надмолекулярная частично сферолитная структура с крупными включениями полипропилена с пониженной кристалличностью. В FDM-композите формируется мелко фрагментированная надмолекулярная структура, однородная по всему объему образца.

Как следует из результатов триботехнических испытаний, износостойкость композита, полученного FDM-печатью, увеличивается в 1,4 раза по сравнению с горячепрессованным образцом (0,136 мм³/час для чистого СВМПЭ и 0,097 мм³/час для FDM-композита). Коэффициент трения уменьшается в 1,4 раза, при этом он стабилен на всем исследованном пути трения (для чистого СВМПЭ - 0,102; для FDM-композита - 0,073).

Наблюдаемые картины поверхностей изнашивания образцов полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ, полученных способами ГП и FDM-печати, полностью коррелируют с трибологическими характеристиками указанных композитов. Наблюдаемые наплывы на поверхностях изнашивания

горячепрессованных образцов и продукты износа на контртеле обусловлены неоднородностью формирующейся надмолекулярной структуры этого композита. Напротив в FDM-образцах поверхность изнашивания выглаживается, продукты износа на контртеле не многочисленны

Таким образом, трибомеханические характеристики композита «СВМПЭ+15вес.% HDPE-g-SMA +15вес.% PP», полученного FDM-печатью, значительно превосходят соответствующие характеристики горячепрессованного композита, и данный композит может быть рекомендован для аддитивных технологий производства изделий сложной формы для трибоузлов в машиностроении.

Благодарности. Работа выполнена в рамках плана фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013-2020 гг., а также поддержана грантом президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации НШ-5875.2018.8. Авторы выражают благодарность РФФИ за поддержку данных исследований, выполненных в рамках проектов № 16-48-700192_p_a и № 18-58-00037.

Список публикаций:

[1] Briscoe B. J., Sinha S. K. // Elsevier, 2008, p. 1–14.

[2] Ansari M., Ibrahim M. // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017. 165. 012014.

[3] Changhui S., Aibing H., Yongqiang Y., Jia-kuo W. // Int J Adv Manuf Technol. 2016. 85. pp 1217–1226.

[4] Панин С.В., Корниенко Л.А., Алексенко В.О., Буслович Д.Г., Донцов Ю.В. // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2018. №1. с. 16-23.

[5] Панин С.В., Буслович Д.Г., Бочкарева С.А., Люшкин Б.А. // Сборник трудов Международной научно-технической молодежной конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2018. – с. – 143-144.

Изучение магнитных свойств суперионных проводников $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$

Габдрахманова Лилия Айратовна

Абдуллин Азат Ринадович

Башкирский государственный университет

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

la-gabdrahmanova@mail.ru

Соединения YMX_2 ($Y=Ag,Cu$; М-переходный металл; $X=S,Se$) имеют слоистую структуру и являются удобными модельными объектами для изучения природы быстрого ионного переноса в твердых телах. Структура этих соединений состоит из чередующихся тройных атомных слоев X-M-X, между которыми расположены катионы одновалентного металла. Катионы одновалентного металла Y^+ слабо связаны с кристаллической решеткой и могут относительно легко перемещаться по кристаллу. Путём замещения ионов переходного металла внутри тройных слоев X-M-X, другими ионами, имеющими различные электроотрицательности и размеры, можно варьировать размеры элементарной ячейки, межатомные расстояния и энергию связи катионов Y^+ . Это позволит изучить роль указанных факторов в формировании механизмов быстрого ионного переноса.

Целью работы являлась изучение состояния окисления и характера химической связи атомов, входящих в исследуемые соединения $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$. Для этого нами были проведены исследования парамагнитной восприимчивости χ . Исследования проводились методом Фарадея в интервале температур от комнатной до 500 °С в магнитном поле напряженностью около 7 кЭ.

Нами установлено, что все образцы в исследуемой области температур являются парамагнитными. Температурные зависимости обратной парамагнитной восприимчивости ($1/\chi$) носят линейный характер и подчиняются закону Кюри-Вейса. По наклону прямых $1/\chi(T)$ определяли значения эффективных магнитных моментов. Для выяснения характера связи и степени окисления атомов эффективные магнитные моменты также рассчитывали по различным моделям в предположении, что орбитальные моменты атомов полностью «заморожены» кристаллическим полем. Данное предположение справедливо для атомов, входящих в исследуемые соединения.

Согласно схеме заполнения электронных оболочек атомов и предполагаемых переходов электронов с атомов металла к атомам неметалла при образовании связей, предполагалось, что атомы хрома и марганца имеют степень окисления 2+, атомы меди – 1+. Атомы серы S_1 и S_2 имеют разные степени окисления 1+ и 2+, соответственно. Это согласуется с тем, что в структуре исследуемых соединений указанные атомы серы занимают неэквивалентные позиции. Необходимо отметить, что в случае, когда медь в исследуемых соединениях проявляет валентность 2+ в результате перехода одного 3d-электрона меди в 3p-оболочку атомов серы S_1 , суммарный магнитный момент на «молекулу» $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$ не меняется. Поэтому, метод измерения парамагнитной восприимчивости в данном случае не позволяет отличить образцы, в которых медь находится в состоянии окисления 1+, от образцов, в которых медь находится в состоянии окисления 2+.

На рис. 1 представлены значения экспериментальных и расчетных эффективных магнитных моментов в зависимости от состава образцов. Из рисунка видно, что наилучшее согласие расчетных данных с экспериментальными наблюдается при условии, что хром и марганец проявляют степень окисления 2+. Этот вывод хорошо согласуется с результатами наших структурных исследований. Для образцов $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$ параметры гексагональной решетки a и c монотонно уменьшаются с увеличением содержания Mn до $x=0.20$. Это свидетельствует об изоморфном замещении ионов хрома ионами марганца в данном интервале. Уменьшение размеров элементарной ячейки твердых растворов $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$ при замещении хрома марганцем можно объяснить тем, что ионы марганца имеют меньшие размеры. Однако, в литературе наблюдается некоторый разброс данных об ионных радиусах хрома и марганца: $R_{Mn^{2+}} = 0.8 \text{ \AA}$, $R_{Cr^{2+}} = 0.84 \text{ \AA}$, $R_{Mn^{3+}} = 0.62 \text{ \AA}$, $R_{Cr^{3+}} = 0.64 \text{ \AA}$ (по Полингу) и $R_{Mn^{2+}} = 0.91 \text{ \AA}$, $R_{Cr^{2+}} = 0.83 \text{ \AA}$, $R_{Mn^{3+}} = 0.70 \text{ \AA}$, $R_{Cr^{3+}} = 0.64 \text{ \AA}$ (по Белову и Бокию). Поскольку марганец более электроотрицателен, чем хром, в исследуемых фазах степень окисления марганца не должна превышать степень окисления хрома. Кроме этого ионные радиусы $R_{Cr^{2+}}$ и $R_{Mn^{3+}}$ отличаются значительно и при не изовалентном замещении в кристаллической решетке могут возникнуть большие напряжения. Поэтому, наиболее вероятными являются следующие схемы замещений: ионов Cr^{2+} ионами Mn^{2+} или ионов Cr^{3+} ионами Mn^{3+} . Тогда уменьшение размеров элементарной ячейки может быть объяснено на основании ионных радиусов по Полингу. Из рисунка видно также, что наличие трехвалентного хрома и марганца в образцах приводит к снижению эффективных магнитных моментов (кривые 2,3,4). На основании этого мы можем утверждать, что в исследуемых соединениях хром и марганец проявляют, в основном, валентность 2+. Для $CuCrS_2$ установлено, что внутри тройных слоев CrS_2 между магнитными моментами хрома имеет место ферромагнитное взаимодействие, а между тройными слоями – антиферромагнитное взаимодействие. Для определения характера взаимодействия магнитных моментов в твердых растворах $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$ нами были проведены исследования парамагнитной температуры Кюри T_c . Значения T_c были определены по зависимостям $1/\chi(T)$.

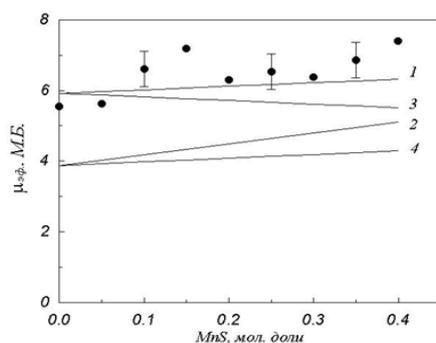


рис. 1. Зависимости эффективных магнитных моментов образцов составов $CuS+(1-x)CrS+xMnS$ от содержания MnS (точки - экспериментальные данные, линии - расчет для замещений: 1 - ионов Cr^{2+} ионами Mn^{2+} ; 2 - ионов Cr^{3+} ионами Mn^{2+} ; 3 - ионов Cr^{3+} ионами Mn^{3+} ; 4 - ионов Cr^{2+} ионами Mn^{3+} , соответственно)

На рис. 2 представлены T_c в зависимости от состава образцов. Из графиков видно, что для всех составов T_c имеют отрицательные значения. Это свидетельствует о преимущественно антиферромагнитном характере взаимодействий между магнитными моментами. Величина T_c для $CuCrS_2$ хорошо согласуется с литературными данными. С увеличением содержания Mn парамагнитная температура Кюри монотонно меняется с минимумом при $x=0.15$.

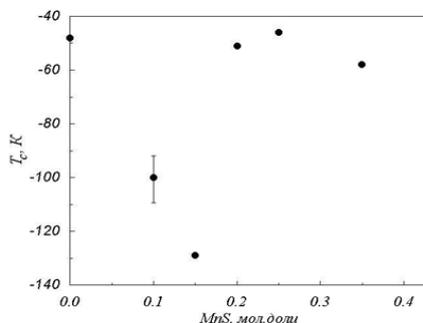


рис. 2. Зависимость парамагнитной температуры Кюри образцов составов $CuS+(1-x)CrS+xMnS$ от содержания MnS

Это согласуется с нашими структурными данными и подтверждает образование твердых растворов замещения хрома марганцем $CuCr_{1-x}Mn_xS_2$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что антиферромагнитное взаимодействие между тройными слоями является более сильным по сравнению с ферромагнитным взаимодействием внутри тройных слоев.

Исследование барьерных покрытий, полученных золь-гель методом, на углеродных волокнах

Галлямова Рида Фадисовна¹

Хамитова Регина Варисовна², Гомзин Андрей Игоревич²

¹Уфимский институт химии РАН

²Уфимский государственный авиационный технический университет

rida_gallyamova@mail.ru

Развитие авиации и ракетно-космической техники требуют использования в их конструкциях композитных материалов. В свою очередь композиты могут быть разнообразными: начиная от композитов с полимерной матрицей, заканчивая композитами с металлической матрицей и порошковыми композитами. Углеродные волокна используются в качестве армирующих элементов в композиционных материалах, однако их широкое применение ограничивается тем, что в процессе получения композита матрица взаимодействует с волокном, снижая механические свойства всего композита.

Для решения данной проблемы используются специальные покрытия, которые наносятся на поверхность волокон. Среди известных способов нанесения покрытий, с практической точки зрения интересным является золь-гель метод. С помощью данного метода можно получить покрытия при комнатных температурах, без применения высоких давлений и дорогостоящих исходных материалов.

Создание тонких покрытий на углеродных волокнах методом золь-гель мало изучено, не известны все их свойства и поведение при различных условиях. Исходя из этого сформулирована цель работы: исследование SiO_2 , TiO_2 покрытий, нанесенных на поверхность углеродного волокна методом золь-гель.

Исходным материалом является высокопрочное углеродное волокно марки UMT49-12K-EP, (производства Umatex Group). Волокна предварительно подвергались выдержке в ацетоне для удаления с поверхности волокон полимерного аппрета. В качестве источника SiO_2 , TiO_2 использовались TEOS и н-бутоксид титана. Нанесение покрытия осуществляли по схеме: выдержка в растворе в течение 15 сек, высушивание при комнатной температуре в течение 30 мин и термической обработке при температуре 500°C . Защитные свойства покрытия оценивались при температуре 600°C .

В процессе отжига при высоких температурах углеродное волокно имеет свойство выгорать с образованием диоксида углерода. В ходе исследования оценивалась потеря массы углеродного волокна. Для оценки образцы взвешивались на аналитических весах до и после отжига.

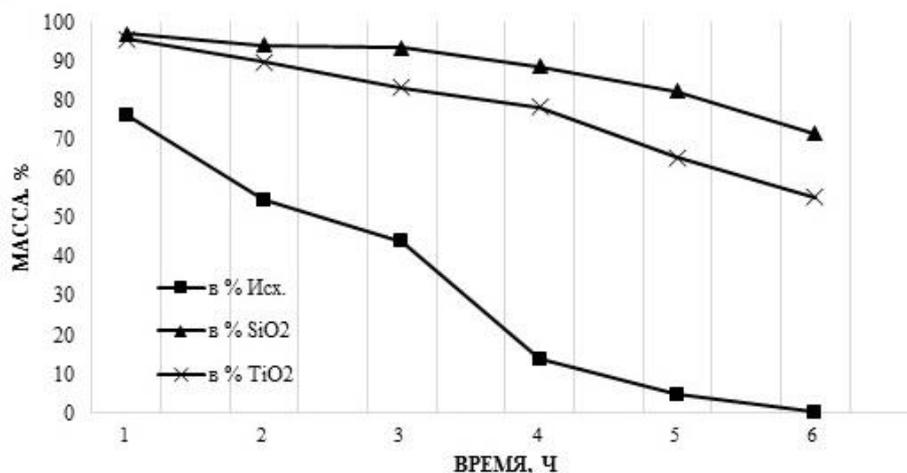


рис.1. Изотермическое окисление углеродного волокна при температуре 600°C

Из рис. 1. видно, что в процессе отжига потеря массы углеродного волокна с покрытием идет заметно медленнее, чем у волокна без покрытия. Потеря массы углеродного волокна без покрытия после 6 часов отжига составляет приблизительно 99%, по сравнению с покрытым волокном (29% - SiO_2 ; 45% - TiO_2). Таким образом, золь-гель покрытия замедляют процесс окисления углеродных волокон и позволяют использовать их в качестве барьерных.

Работа выполнена при финансировании из средств гранта проектов молодых ученых Республики Башкортостан, договор №10ГР

Рентгеноструктурные и металлографические исследования троилита в метеоритах

Гонцова Светлана Сергеевна¹

Макимова Елена Михайловна¹, Наухацкий Игорь Анатольевич¹, Петрова Евгения Викторовна²,
Яковлев Григорий Алексеевич²

¹Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Макимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

sgoncova@gmail.com

Сульфиды железа (троилит FeS, пентландит (Fe,Ni)₉S₈, пирит FeS₂, и др.) обнаружены почти во всех типах метеоритов [1]. На Земле эти минералы тоже достаточно широко распространены и детально изучены. Однако, исследование их структуры, свойств и вариаций химического состава, сформированных в космических условиях при экстремальных изменениях давления и температуры, вызывают большой интерес как у специалистов из области геологии, космохимии, так и из области физики конденсированного состояния и материаловедения. Исследования особенностей кристаллической структуры сульфидов железа, в том числе троилита FeS, сформированного во взвешенных условиях, позволят понять механизмы формирования его уникальных физических свойств.

В настоящей работе представлены результаты исследования химического состава и структурных параметров троилита в метеоритах разных типов: Сихотэ-Алинь (железный, ПАВ), Дронино (железный, ung), Челябинск (каменный, LL5), Northwest Africa 869 (каменный, L4-6), Gandom Bergan 008 (каменный, H5) с помощью оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии с системой микрорентгеноспектрального анализа, рентгеновской дифрактометрии.

По данным рентгенофазового анализа, проведенного с использованием рентгеновского дифрактометра «ДРОН-3» методом порошков, во всех исследуемых образцах обнаружен троилит. Следует отметить, что из сульфидов железа в Сихотэ-Алинском метеорите также обнаружили добреелит (FeCr₂S), а в образцах метеоритов Дронино, Челябинск, Northwest Africa 869 – пентландит. Для троилита были определены структурные параметры элементарной ячейки с помощью программы UnitCell. Полученные результаты представлены в таблице (справочные данные взяты из кристаллографической базы данных «Минкрисст»):

Образец	a, Å	c, Å	V, Å ³
Сихотэ-Алинь	5,981±0,0003	11,766±0,001	364,55±0,04
Дронино	5,964±0,001	11,828±0,001	364,38±0,03
Челябинск	5,939±0,001	12,034±0,001	367,71±0,13
NWA 869	5,979±0,001	11,725±0,001	363,08±0,04
Gandom Bergan 008	5,962±0,001	11,801±0,001	363,28±0,05
Справочные данные	5,9660	11,7650	362,65

Для уточнения локализации и определения химического состава сульфидных фаз были изготовлены и исследованы шлифы образцов с помощью оптического микроскопа ZEISS Axiovert 40 MAT и сканирующего электронного микроскопа FE-SEM ZEISS SIGMA VP с системой микрорентгеноспектрального анализа INCA Energy.

Троилит был обнаружен в виде отдельных включений, а в каменных метеоритах также и в ассоциации с Fe-Ni-сплавом (рис.1). В некоторых зернах троилита (кроме Сихотэ-Алинского метеорита) обнаружены включения пентландита в краевой части. В металл-троилитовых ассоциациях метеоритов Челябинск и Northwest Africa 869 присутствует самородная медь, локализованная на границе между металлом и троилитом. В химическом составе троилитовых включений метеорита Челябинск обнаружены примеси Ni и Cu.

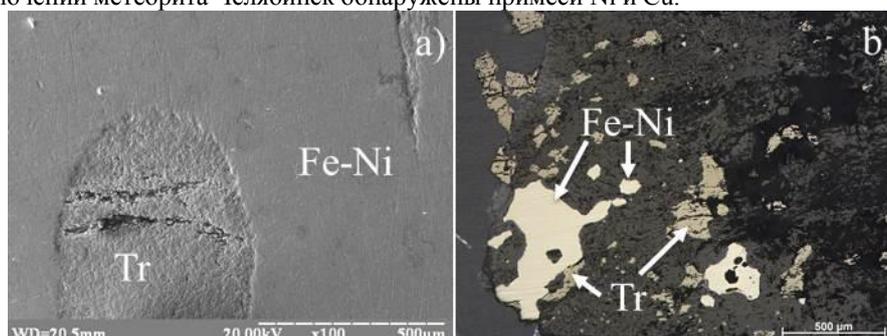


рис.1. Включения троилита в метеоритах: а) Дронино, б) Челябинск (Tr - троилит, Fe-Ni – сплав α- и γ-Fe(Ni,Co) фаз)

Отличие размеров элементарных ячеек троилита в исследуемых образцах от табличных значений может быть связано либо с содержанием примесей, либо с дефицитом катионов железа в кристаллической структуре троилита. Наличие в химическом составе ряда троилитовых включений метеорита Челябинск примесей Ni ~ 1,6 wt. % и Cu ~ 1 wt. %, по всей видимости, связано с метаморфическим воздействием, в результате чего произошло частичное плавление и последующее перераспределение элементов на границе металл-троилит.

Список публикаций:

[1] A.E. Rubin *Meteoritics and Planetary Science*, 32, 231-247 (1997)

Экспериментальные методы наблюдения плазменных вихрей

Горишний Василий Александрович

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Дзедолик И. В., д.ф.-м.н.

vasiavasia19781978@mail.ru

Элементарная база компьютерной техники в настоящее время достигла границы быстрогодействия, поэтому сейчас актуально создание компьютерных чипов, работающих на оптических частотах $\omega \sim 10^{15} \text{c}^{-1}$. Логические элементы, выполняющие операции за время $\sim 10^{-14} \text{c}$, увеличат быстродействие компьютерной техники в тысячи раз [1]. Такие логические элементы могут быть реализованы на основе управления поверхностными плазмон-поляритонами (ППП), генерирующимися на границе раздела металла и диэлектрика на оптических частотах [2].

Для проектирования и реализации плазменных логических элементов необходимо провести эксперименты по исследованию процессов генерации и управления ППП. В частности, необходимо провести исследования плазмон-поляритонных вихрей на поверхности пленки из золота, которая расположена на подложке из плавленного кварца.

Цель работы – исследование процессов генерации ППП вихрей для дальнейшего применения полученных результатов при создании плазменных логических элементов.

Вихри ППП возбуждаются на поверхности золотой пленки с помощью дифракции лазерного излучения на решетке, которая вытравлена на поверхности золотой пленки (рис. 1).

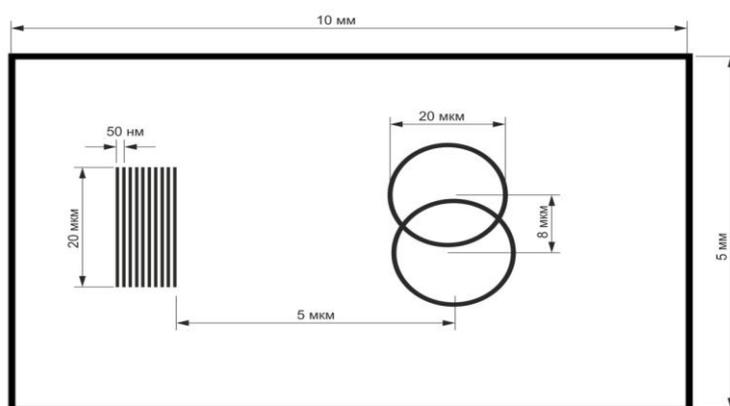


рис. 1. Поверхность золотой пленки на подложке из плавленного кварца, на которой вытравлены дифракционная решетка и пересекающиеся круги.

ТМ-мода ППП формируется при выполнении граничных условий $\varepsilon_D \alpha_M = -\varepsilon_M \alpha_D$, где ε_D диэлектрическая проницаемость среды над поверхностью пленки, $\varepsilon_M = -\varepsilon_M' + i\varepsilon_M''$ диэлектрическая проницаемость металла, α_D и α_M декременты ППП вдоль нормальной к поверхности пленки оси [2].

Постоянная распространения ППП вдоль поверхности пленки $\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_D \varepsilon_M}{\varepsilon_D + \varepsilon_M}}$ зависит от частоты лазерного излучения ω и диэлектрических проницаемостей среды над пленкой и металла. При этом для генерации ППП на поверхности пленки должно выполняться условие $\beta = 2\pi(\sin \varphi / \lambda_0 + m / \Lambda)$, где λ_0 - длина волны лазерного излучения в воздухе, Λ - период дифракционной решетки на поверхности пленки, $m = 1, 2, 3, \dots$, а лазерный луч падает под углом φ относительно нормали к поверхности. В этом случае генерируются ППП, которые распространяются слева направо от решетки (рис. 1) по продольной оси z , затухают пропорционально $\sim \exp(-2\beta'' z)$, и рассеиваются на неоднородностях [2]. ППП отражаются от границ неоднородностей в форме кругов (рис. 1), падающие на неоднородность и рассеянные ППП интерферируют.

Неоднородность в пленке имеет форму ласточкиного хвоста (рис. 1). В этом случае в некоторой точке интерференционного поля, в которую приходят три плазмон-поляритона (один падающий и два отраженных), генерируются плазмон-поляритонные вихри [3,4]. Неоднородность в форме ласточкина хвоста может быть создана внешним электрическим полем с помощью зондов, расположенных над поверхностью металлической пленки [5,6]. Регистрация плазмонных вихрей осуществляется при помощи атомно-силового микроскопа (АСМ), в котором используется металлический зонд, закрепленный на кантилере [2,7]. Распределение ближнего поля интерференционной картины ППП считывается таким зондом, и сигнал обрабатывается для получения изображения на дисплее АСМ.

Список публикаций:

- [1] Barnes W. L., Dereux A., Ebbesen T. W. // *Nature*. 2003. V. 424. P. 824.
- [2] Майер С. А. *Плазмоника: теория и приложения*. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2011.
- [3] Dzedolik I. V., Pereskokov V. // *Journal of the Optical Society of America A*. 2016. V. 33. No. 5. P. 1004.
- [4] Dzedolik I. V., Lapayeva S., Pereskokov V. // *Journal of Optics*. 2016. V. 18. No. 7. 074007.
- [5] Pereskokov V. S. Dzedolik I. V. // *Knowledge E Energy & Physics*. 2018. No. 1. P. 190.
- [6] Dzedolik I. V., Pereskokov V. // *Journal of the Optical Society of America A*. 2018. V. 35. No. 8. P. 1420.
- [7] Горишин В. А., Перескоков В. С., Дзедолик И. В. // *Вестник Физико-технического института КФУ им. В. И. Вернадского*. 2017. Т. 1 (67-69). № 2. С. 55.

Ab initio расчет зонной структуры графена допированного атомами азота

Евсеев Кирилл Васильевич

Шарин Егор Петрович

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

Шарин Егор Петрович

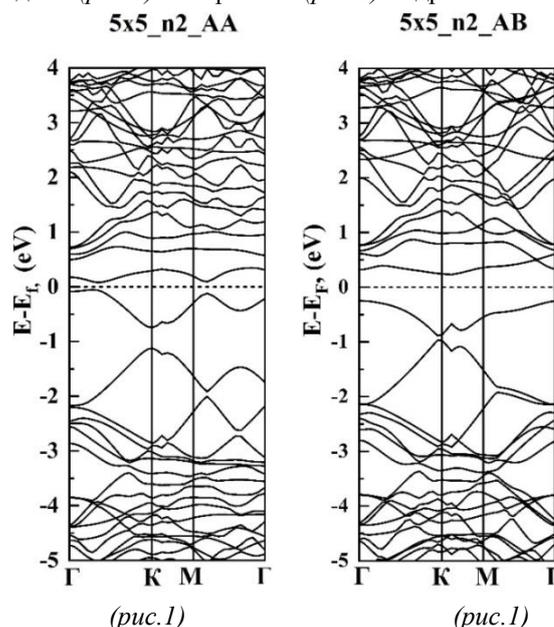
ekv97@mail.ru

Графен обладает такими физическими свойствами как высокая подвижность носителей заряда, гигантская теплопроводность, высокая удельная площадь поверхности, механическая прочность и гибкость. Эти свойства графена делают его перспективным материалом для широкого применения в гибкой электронике, нанoeлектронике, устройствах преобразования и хранения энергии [1]. Широкое применение графена в электронных устройствах ограничивается отсутствием запрещенной зоны. Химическая модификация графеновых слоев имеет большое значение для разработки новых материалов поскольку не только открывает запрещенную зону, но и дает возможность управлять ее шириной. Поэтому одним из направлений исследований таких систем является химическая модификация.

Данная работа посвящена расчету зонной структуры и плотности состояний графена, допированного атомами азота [2] в зависимости от концентрации атома азота и его относительного расположения в кристаллической решетке.

Все вычисления проводились с использованием программы Quantum Espresso. В основе лежит метод псевдопотенциала с использованием плоских волн в рамках теории функционала плотности (DFT) [3]. Влияние остовных электронов учитывалось путем использования ультрамягких псевдопотенциалов. Использовался нелокальный обменно-корреляционный функционал в параметризации Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE). Энергия обрезания плоских волн для самосогласованного расчета составляла 40 Ry. Для интегрирования линейной зоны Бриллюэна была использована сетка 13x13x1 в обратном пространстве. Для вычисления электронной структуры монослоя использовалась изолированная плоская структура. Во избежание взаимодействия между слоями расстояние между ними устанавливалось равным 15 Å.

Таким образом было вычислено по 6 задач для ячеек 5x5 и 7x7. По полученным результатам построены графики зонной структуры, из которых видно расширение запрещенной зоны в случае ячейки 5x5 с двумя допированными атомами на одной (рис.1) и на разных (рис.2) подрешетках.



Список публикаций:

- [1]. Zongguo Wang, Shaojing Qin, and Chuilin Wang. *Electronic and magnetic properties of single-layer graphene doped by nitrogen atoms.*
 [2]. Roshni Yadav. *Synthesis, characterization and prospective applications of nitrogen-doped graphene: A short review.*

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

Евтухова Екатерина Андреевна

Михайлова Татьяна Владиславовна

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

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

kate.ri@list.ru

В настоящее время актуальна тема поиска способов регистрации слабых магнитных полей с высокой чувствительностью и разрешением. Сенсорные элементы на основе тонких магнитных пленок ферритов-гранатов (МПФГ) могли бы занять среди средств регистрации слабых полей лидирующую позицию. Работа сенсорных элементов на основе МПФГ существенно зависит от качества выполнения элемента – равномерности состава и формы, однородности поверхности, а также магнитных свойств – параметров доменной структуры. В связи с этим становится актуальным исследование рельефа поверхности плёнок и доменной структуры МПФГ с различными характеристиками для целей регистрации и визуализации магнитных полей и поиск способов увеличения чувствительности МПФГ.

Цель работы состояла в визуализации и определении статических параметров доменных структур и доменных границ МПФГ с анизотропией типа «лёгкая ось»; сравнительном анализе доступных методик исследований. Высококачественные сенсорные элементы типа «легкая ось» перспективны для создания магнитооптической вихретоковой дефектоскопии.

Исследования выполнены с использованием поляризационного микроскопа Nikon ECLIPSE LV150N и сканирующего зондового микроскопа NTEGRA. Были задействованы основные методики для приборов: оптическая поляризационная, сканирующая лазерная конфокальная (СЛКМ), сканирующая ближнепольная оптическая (СБОМ) и магнитная силовая микроскопия (МСМ). Изображения доменных структур МПФГ были представлены с применением программных сред Nova Px и Infinity Analyze.

Результаты исследований показали, что все задействованные методики пригодны для визуализации доменных структур и доменных границ МПФГ. Методики СЛКМ и СБОМ являются предпочтительными для

визуализации доменной структуры МПФГ с типом анизотропии «лёгкая ось», что связано с более высоким разрешением и контрастом получаемых изображений. На рисунке 1 представлены СЛКМ-изображение доменной структуры и доменных границ одного и того же участка поверхности МПФГ, используемой в качестве сенсорного элемента дефектоскопа и имеющей период доменной структуры $2w = 32$ мкм и толщину $h = 4,3$ мкм.

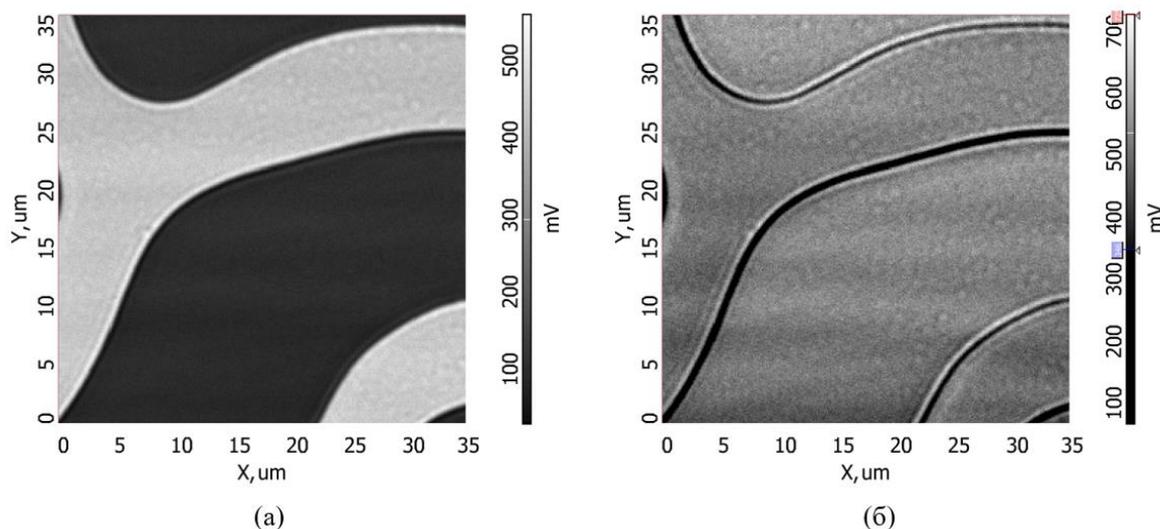


рис. 1. СЛКМ-изображение доменной структуры (а), доменных границ (б) одного и того же участка поверхности МПФГ.

В ходе эксперимента с СБОМ было установлено, что методика позволяет не только получить контрастные снимки доменных структур, но чёткие изображения рельефа поверхности образцов, что позволяет в последствии сравнить расположение дефектов на поверхности с полученными оптическими изображениями. Для анализа шероховатости поверхностей образцов с помощью пакета Image Analysis получены основные параметры поверхности (размах высот, средняя квадратичная шероховатость, средняя шероховатость). Для данного образца средняя квадратичная шероховатость составила $\langle r \rangle = 4,556$ нм.

Таким образом для исследования тонких магнитных плёнок необходима качественная визуализация их доменных структур и поверхностей. Было установлено, что для визуализации доменных структур МПФГ, используемых в качестве сенсорных элементов в дефектоскопии, более актуальны оптические методы: оптической поляризационной, сканирующей лазерной конфокальной и сканирующей ближнепольной оптической микроскопии. С использованием данных методик были определены статические параметры доменных структур, доменных границ МПФГ. Также стоит отметить, что методика сканирующей ближнепольной оптической микроскопии позволяет подробно изучить рельеф сенсорных элементов на наличие дефектов и шероховатостей.

Исследования выполнены в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ11/2018.

Изучение корреляционных связей между параметрами сигнала акустической эмиссии и механическими свойствами стали марки СтЗсп5

Ельцова Софья Михайловна

Мухаматуллин Руфат Зиннурович

Тюменский индустриальный университет

Проботюк Владимир Викторович, к.т.н.

elcova.sofya@mail.ru

Последние годы характеризуются значительным повышением интереса к проблеме контроля целостности материала, что обусловлено необходимостью увеличения сроков и расширения условий эксплуатации конструкций. Эти факторы вызывают необходимость разработки новых, более эффективных методов неразрушающего контроля и критериев прогнозирования работоспособности материала.

Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ). Метод основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих при пластической деформации и разрушении контролируемых объектов. Это позволяет сформировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта на основе фактического влияния дефекта на объект.

В настоящей работе проводился анализ связи между параметрами сигнала акустической эмиссии и механическими свойствами стали (пределы упругости, текучести, прочности) марки СтЗсп5.

Исследования проводились на стандартных плоских образцах из стали марки СтЗсп5, вырезанных из одного листа, три из которых были в состоянии поставки, еще три отпущены при температуре 350 °С. Образец закрепляли с помощью зажимов в разрывной машине ИР 5047-50. Для контроля процесса нагружения и снятия данных использовали комплекс АЭ UNISCOPE с резонансными преобразователями акустической эмиссии GT200. Преобразователь устанавливали в центре образца. После установки датчика включали разрывную машину с постоянной скоростью удлинения 15 мм/мин, снимая данные сигнала акустической эмиссии до разрыва образцов.



рис. 1 Зависимость средней энергии АЭ от перемещения (мм) образцов из СтЗсп5 в состоянии поставки

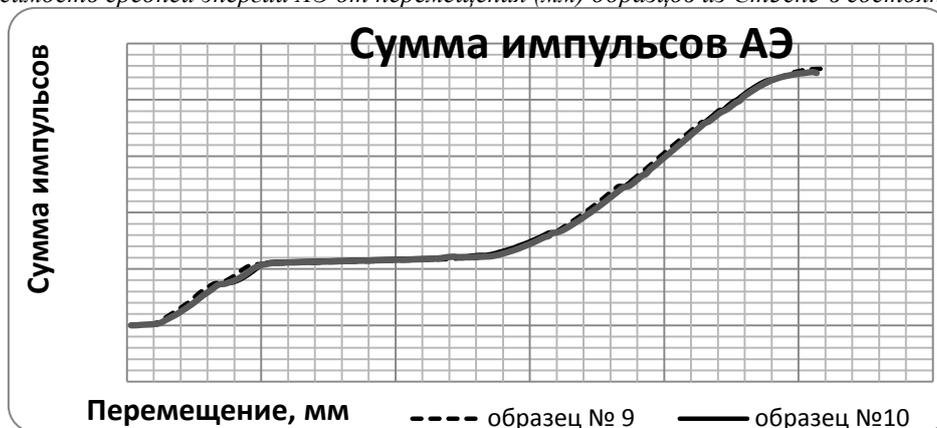


рис. 2 Зависимость суммы импульсов АЭ от перемещения (мм) трех образцов из СтЗсп5 в состоянии поставки

В ходе анализа полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Такие параметры АЭ, как активность, средняя энергия и средняя амплитуда в большей степени коррелируют с пределами упругости и текучести стали марки СтЗсп5;
2. Предел прочности стали лучше всего определять по таким параметрам, как активность АЭ, сумма импульсов АЭ;
3. График зависимости суммы импульсов АЭ от перемещения ϵ (мм) соответствует форме $\sigma - \epsilon$ диаграммы (рис.2).

Получение перспективных высокопрочных материалов на основе алюминиевых сплавов

Казанцева Людмила Алексеевна¹
Калашиников Марк Петрович²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Курзина Ирина Александровна, д.ф.-м.н.

kazantseva2911@mail.ru

Алюминиевые сплавы нашли широкое применение в авиационной промышленности, авто- и тракторостроении, в производстве электроаппаратуры и другого оборудования. В этой связи в последнее время возрастает интерес исследователей к сплавам на основе Al-Si – силуминам. Эта система служит основой большинства современных алюминиевых литейных сплавов. Важнейшими характеристиками силуминов, определяющими их технологичность и область применения, являются литейные и механические свойства. Для обеспечения высокого уровня литейных и механических необходимо улучшить микроструктуру сплавов, а именно: измельчить зерно α -фазы и кремния с одновременным упрочнением границ раздела интерметаллидными модифицирующими фазами. В работах [1-6] показано, что при использовании модифицирующих смесей наблюдается измельчение дендритов Al, более равномерное их распределение, измельчение и изменение морфологии кристаллов Si в эвтектической смеси, что, в свою очередь, способствует улучшению механических свойств.

В работе исследовались образцы алюминиевого сплава марки АК7ч (химический состав по ГОСТ 1583-93 [7]) в 2-х состояниях: 1) без добавления модифицирующей смеси (МС); 2) после введения МС, в количестве 1 масс.%. В качестве МС использовали смесь модификаторов (0.5 масс.% ультрадисперсные порошки оксидов тугоплавких металлов (УДП) + 0.5 масс.% «Arsal 2120»). Плавку проводили в печах САТ-0,25 в стальных тиглях по принятой на предприятии технологии [8]. После выдержки расплав отливали в кокиль. Современными методами материаловедения (рентгенофазовый анализ (РФА), «Shimadzu XRD6000», оптическая микроскопия (ОМ) «Микроскоп Altami MET-1 С», сканирующая микроскопия (РЭМ) «Vega II LMU» с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (РЭДМА) «INCA Energy 350» и просвечивающая электронная дифракционная микроскопия (ПЭМ) «JEM-2100F») при ускоряющем напряжении 200 кВ с приставкой «JEOL» для энергодисперсионного спектрального микроанализа) выполнены исследования фазового состава сплава. Механические испытания на растяжение проводили на разрывной машине УММ-5.

На основании проведенных исследований установлены структурные характеристики фаз и области их локализации. Микроструктура исходного сплава состоит из дендритов Al, расположенной в междендритных пространствах эвтектики (Al + Si), и интерметаллидных фаз α -Al₂FeSi, кристаллизуются в форме китайских иероглифов, β -Al₃FeSi кристаллизуются в форме игл (рис.1а). Обработка комплексным модификатором (0.5 масс.% УДП + 0.5 масс.% «Arsal 2120») позволяет измельчить структурные составляющие сплава (рис.1б).

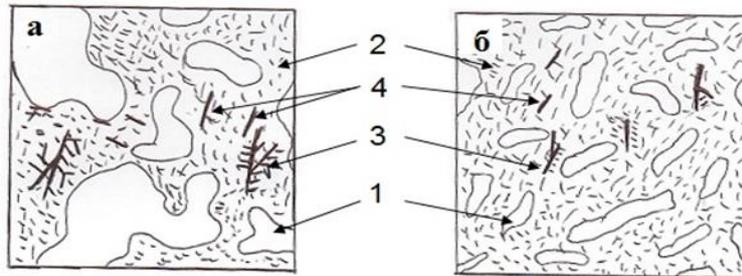


рис.1. Схема фазового состава сплава АК7ч: а – исходный сплав; б – после введения 0.5 масс.% УДП + 0.5 масс.% «Arsal 2120». Цифрами указаны фазы: 1 – дендриты Al, 2 – эвтектика (Al + Si), 3 – α -Al₂FeSi, 4 – β -Al₃FeSi

Испытания механических свойств подтвердили положительное влияние комплексного модифицирования на свойства алюминиевого сплава. Для исходного сплава АК7ч показатель относительного удлинения равен 1.3 %, для модифицированного сплава показатель относительного удлинения возрастает до 8.4 %.

Список публикаций:

[1] Li, Q. // *J. Alloys Compd.* 2013. Vol. 577. P. 232–236.

[2] El-Mahallawi I.S. // *Metals.* 2015. Vol. 5(2). P. 802–821.

[3] Molina C.M. // *Mater. Lett.* 2009. Vol. 63(9–10). P. 815–818.

[4] Wang K. // *Acta Mater.* 2016. № 103. P. 252–263.

[5] Nowak M. // *J. Alloys Compd.* 2015. Vol. 641. P. 22–29.

[6] Mohanty P.S. // *Acta Metall.* 1995. Vol. 43(5). P. 2001–2012.

[7] ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003.

[8] Технологическая инструкция. Подготовка и разливка сплава АК7ч. Томск: ОАО «НПЦ «Полус», 2013.

***In situ* Спектроскопии рентгеновского поглощения по данным для исследования локальной атомной структуры МОК UiO-67 функционализированной Pd.**

Камышова Елизавета Геннадиевна
Южный федеральный университет
Бугаев Арам Лусеенович
Kamyshova.liza@gmail.com

Металл-органические каркасные структуры (МОК) – перспективные материалы, которые представляют собой совершенно новый класс пористых кристаллов [1]. МОК состоят из металлоцентров, связанных органическими линкерами в трехмерные структуры. Дополнительные полезные свойства, в том числе каталитические, могут быть получены путем функционализации МОК благородными металлами. Одним из наиболее перспективных МОК является семейство UiO-66/67/68, которое демонстрирует невероятно высокую механическую, термическую и химическую стабильность.

В этой работе мы исследуем формирование и рост наночастиц палладия в структуре UiO-67, которая сочетает в себе высокую каталитическую активность палладия с уникальными свойствами носителя (UiO-67) [2]. Синтезированные материалы были исследованы в Европейском центре синхротронного излучения ESRF методом спектроскопии рентгеновского поглощения в протяженной области (EXAFS). Для оптимизации скачка поглощения на крае поглощения Pd образцы были спрессованы в таблетку и помещены в специальную *in situ* ячейку. Образец нагревался в потоке 5% H₂/He от комнатной температуры до 450 °C со скоростью 3 °C/мин. Всего было снято 10 последовательных спектров в ходе нагрева.

Мы произвели одновременный Фурье-анализ для всей серии спектров, измеренных в ходе восстановления образца в водороде, что позволило получить детальную информацию о локальной геометрии вокруг атомов палладия [3]. Мы предложили подходящую модель для подгонки, которая дала отличное согласование с экспериментом. Именно одновременный анализ позволил сократить количество независимых переменных за счет использования общих переменных и применения нескольких моделей. Предложенная нами модель предполагает описание зависимости координационных чисел для хлора и азота (входящих в состав UiO67) от температуры с помощью формулы $N(T) = \frac{N_0}{1 + e^{(T-T_0)/\tau}}$, а так же параметры Дебая-Уоллера (σ^2) для Cl и N описывались корреляционной моделью Дебая. Соотношение Pd²⁺/Pd⁰ связано с N(Cl), а именно относительная доля атомов Pd перешедших в наночастицы описывается формулой $\gamma = 1 + \frac{1}{1 + e^{(T-T_{0,Cl})/\tau_{Cl}}}$. Но параметры для вклада Pd–Pd были взяты независимыми для каждой температуры, так как размер частиц меняется, а межатомное расстояние (R_{Pd-Pd}), σ^2 и E_0 подвержены влиянию этого факта.

Благодаря использованию нашей модели мы смогли получить несколько важных структурных результатов: температурный интервал разрушения связи Pd–Cl лежит в пределах от 200 до 300°C, уменьшение относительного числа связей Pd–N начинается при более низких температурах, но охватывает более широкий температурный интервал по сравнению с Pd–Cl. Формирование наночастиц палладия начинается после 200°C, и дальнейшее нагревание в водороде выше 300°C приводит к образованию более крупных частиц, которые больше не ограничены порами UiO-67.

Список публикаций:

1. Butova V. V., Soldatov M. A., Guda A. A. et al. *Metal-organic frameworks: structure, properties, methods of synthesis and characterization* // *Russian Chemical Reviews*. -- 2016. -- Т. 85, № 3. -- С. 280-307.
2. Bugaev A. L., Guda A. A., Lomachenko K. A. et al. *Operando study of palladium nanoparticles inside UiO-67 MOF for catalytic hydrogenation of hydrocarbons* // *Faraday Discussions*. -- 2018. -- Sep 3. -- Т. 208. -- С. 287-306
3. Kamyshova E. G., Skorynina A. A., Bugaev A. L. et al. *Formation and growth of Pd nanoparticles in UiO-67 MOF by in situ EXAFS* // *Radiation Physics and Chemistry* – 2019 -- в печати.

Влияние титана и иттрия на структуру и свойства алюминиево-кремниевых сплавов

Котенков Павел Валерьевич
Попова Эльвира Алексеевна, Гилев Иван Олегович, Игнатьев Игорь Эдуардович
Институт металлургии УрО РАН
p.kotenkoff@yandex.ru

Силумины составляют основную группу литейных алюминиевых сплавов. Их широко используют в аэрокосмической и автомобильной промышленности, в основном, потому, что они имеют высокое отношение прочности к весу, низкую стоимость, высокую коррозионную стойкость, низкий коэффициент теплового расширения, а также из-за возможности широкого использования вторичного сырья при их производстве. Сплавы обладают высокими прочностными, ударными и усталостными свойствами [1-5]. Однако современные

требования к материалам с развитием техники неуклонно возрастают, поэтому и качество литых алюминиевых изделий должно повышаться.

Основными свойствами силуминов являются литейные и механические, которые определяются структурой и фазовым составом. Прочностные характеристики сплавов могут значительно снижаться, особенно пластичность, из-за наличия грубых эвтектических выделений и интерметаллидных фаз, содержащих железо. Для улучшения структуры Al-Si сплавов используют модифицирующие добавки, способные изменить характер роста эвтектики и интерметаллидных фаз [6]. Последние десятилетия влиянию малых добавок d- и f- элементов на структуру и свойства силуминов уделяется большое внимание [7-10].

В данной работе изучено влияние малых добавок титана и иттрия на структуру и прочность на сжатие сплава Al-7%Si-0.45%Mg (здесь и далее в мас.%) с пониженным содержанием железа (сплав Ас7пч, А356). При выборе модифицирующих добавок, кроме кристаллографического параметра, отношений размеров атомов, температуры плавления, использовали энтальпию смешения [11,12]. Лигатурный сплав Al-Ti-Y готовили с различным атомным соотношением Ti/Y, от 20 до 3. Сумма Ti и Y в лигатурном сплаве не превышала 3%. Комплексная лигатура имела в составе Ti, который способствует измельчению α -Al, и Y для модифицирования эвтектики и изменения формы ее роста. Ранее были получены положительные результаты в использовании комплексных лигатур для легирования и модифицирования алюминиевых сплавов [13-14].

Модифицирование Al-7%Si-0.45%Mg сплава проводили в шахтной электропечи в атмосфере аргона. После расплавления сплава при температуре 720-740 °С вводили лигатурный сплав (в расчете на 0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2% Ti) и выдерживали в течение 20 мин с периодическим перемешиванием расплава. Разливку проводили в бронзовую плоскую и стальную цилиндрическую изложницы. Отрезали образцы для проведения металлографического анализа и определения химического состава сплава. Из цилиндрической отливки готовили образцы на сжатие до и после термообработки Т6. Особенности макро и микроструктуры сплавов, размер и формы роста эвтектики изучены с помощью электронного и оптического микроскопов. Химический состав сплавов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (прибор OPTIMA 2100 DV). Оценка механических свойств проводилась на ZWICK BT1-FR050THW/A1K.

Получены зависимости размеров зерна и форм роста эвтектических выделений от количества и соотношения введенных с лигатурой иттрия и титана, а также изучено их влияние на пластичность Al-Si сплава. Зависимость изменения размера зерна от введенного с лигатурой Al-1.78%Ti-1.08%Y титана представлена на рис. 1.

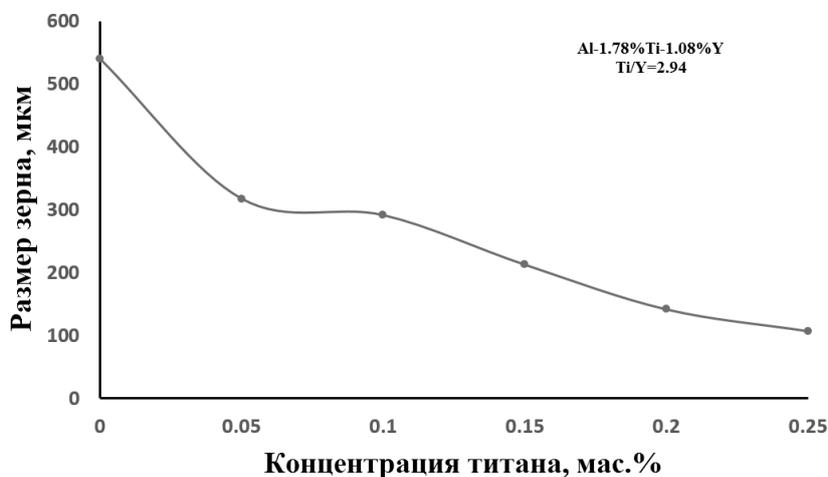


рис. 1. Зависимость размера зерна Al-7.3%Si-0.9Mg от концентрации титана.

Добавки всех 4 рассмотренных лигатур (Al-1.78%Ti-0.154%Y, Al-1.68Ti-0.246%Y, Al-1.84%Ti-0.468%Y, Al-1.71%Ti-1.08%Y) в сплавы Al-(7.1-7.7)%Si-(0.4-1)%Mg приводят к уменьшению размера дендритных ячеек, а при увеличении в сплаве содержания иттрия с 0.017 до 0,03% происходит изменение морфологии роста эвтектики с пластинчатой на глобулярную. Микроструктуру сплавов Al-7.3%Si-0.9%Mg с различной формой роста эвтектики можно видеть на рис.2.

Модифицирование сплавов Al-Si-Mg лигатурами Al-Ti-Y с различными соотношениями Ti/Y (от 20 до 3) не приводит к значительной разнице в измельчении зерна, но способствует изменению морфологии роста эвтектики при значительно меньших концентрациях титана.

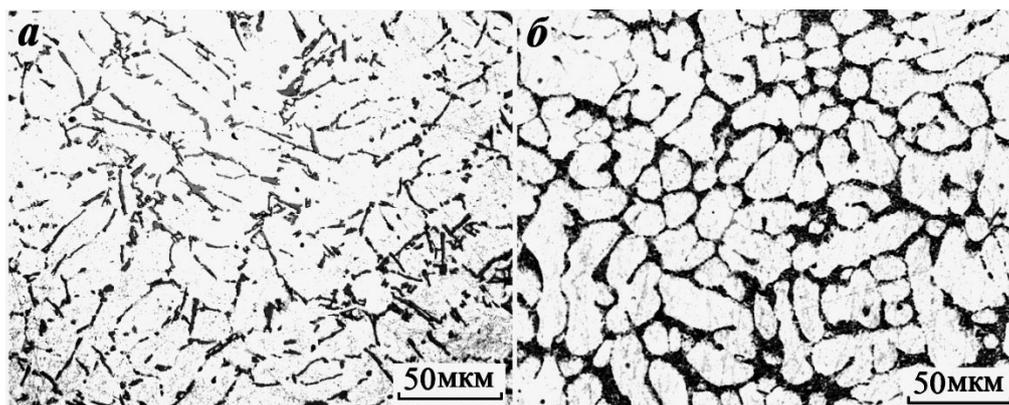


рис.2. Микроструктура сплавов Al-7.3Si-0.9Mg (а), Al-7.31Si-0.9Mg-0.1Ti-0.058Y (б) при увеличении 500.

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН с использованием оборудования ЦКП «Урал-М»

Список публикаций:

- [1] Альтман М.Б., Арбузов Ю.П. // *Применение алюминиевых сплавов*. М.: *Металлургия*, 1985. 344 с.
- [2] Строганов Г.Б. // *Высокопрочные литейные алюминиевые сплавы*. М.: *Металлургия*, 1985. 216 с.
- [3] Белов Н.А., Савченко С.В., Хан А.В. // *Фазовый состав и структура силуминов*. М.: *МИСИС*. 207. 283 с.
- [4] Sebaie O.El., Samuel A.M., Samuel F.H. // *Mater.Sci.Eng.A*.2008. V 480. P. 342.
- [5] Tsai Y.C., Chou C.Y., Lee S.L. // *J. Alloys Compd*. 2009. V 487. P. 157.
- [6] Nafisi S., Ghomashchi R., *Mater.Sci.Eng.A*. 2007. V452-453. P. 445.
- [7] Jiang W., Fan Z., Dai Yu., Li. C. // *Mater.Sci.Eng.A*. 2014. V 597. P. 237.
- [8] Wan B., Chen W., Liu L., Cao X. // *Mater.Sci.Eng.A*. 2016. V. 666. P. 165.
- [9] Liu W., Xiao W., Xu C., Liu M., Ma., C. *Mater.Sci.Eng.A*. 2017. V 693. P. 93.
- [10] Liu, J., Wu Q., Yan H., Zhong S., Huang Z. // *Applied Sciences*. 2018. V 9(1). P. 53.
- [11] Kang H.S., Yoon W.Y., Kim K.H., Kim M.H. Yoon Y.P, Cho I.S. *Mater.Sci.Eng.A*. V449-461. P. 334.
- [12] Шубин А.Б., Шуныев К.Ю. // *Расплавы* 2010. №1. С. 44.
- [13] Попова Э.А., Котенков П.В., Шубин А.Б. // *МиТОМ*. 2018. №9(759). С. 14.
- [14] Попова Э.А., Котенков П.В., Шубин А.Б., Пастухов Э.А. // *Известия ВУЗов. ЦМ*. 2017. №5. С. 69.

Особенности синтеза алюмомагнезиальной шпинели методом СВС

Львов Олег Владимирович

Радишевская Нина Ивановна, Назарова Анастасия Юрьевна, Касацкий Николай Григорьевич

Научно-исследовательский отдел структурной макрокинетики

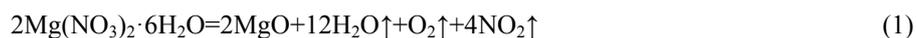
Томского научного центра СО РАН

Lvov@vtomske.ru

Получают алюмомагнезиальную шпинель $MgAl_2O_4$ различными способами, наиболее распространенными являются электроплавка и реакционное спекание. В данной работе рассмотрена возможность синтеза алюмомагнезиальной шпинели методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который является перспективным, поскольку основан на реакциях экзотермического взаимодействия двух или нескольких химических элементов (соединений), протекающих в режиме направленного горения. Высокая скорость протекающих процессов, простота оборудования и безотходность производства позволяет синтезировать алюмомагнезиальную шпинель $MgAl_2O_4$ в мелкодисперсном состоянии непосредственно в волне горения, в результате чего возможно ее применение в дальнейшем в качестве прекурсора для получения огнеупорных керамических изделий.

В качестве исходных реагентов использовались смеси порошков оксидов магния, алюминия, порошок алюминия марки АСД-4, а в качестве окислителя – $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Измельчение исходных компонентов осуществлялось в планетарной мельнице МЗ. Для синтеза шпинели применялись образцы свободно насыпной плотности, воспламенение которых осуществлялось с торцевой поверхности образцов. Измерение температурно-временных профилей при СВ-синтезе проводили с помощью вольфрам-рениевой термпары, помещенной в центр образца.

Было установлено, что в процессе нагрева шихты происходит разложение нитрата магния и суммарное уравнение реакции можно представить следующим образом:



Образовавшиеся при разложении шестиводного нитрата магния смесь оксидов азота, паров воды и кислорода, является окислительной и очень реакционноспособной средой, вызывающей возгорание образцов. Как видно (рис.1), воспламенение составов происходит при температуре $\sim 800^\circ\text{C}$ и достигает максимальной температуры процесса $\sim 1500^\circ\text{C}$. Синтез протекает в режиме послыйного горения. Окисление алюминия сопровождается выделением тепла, после чего начинается синтез самой шпинели.

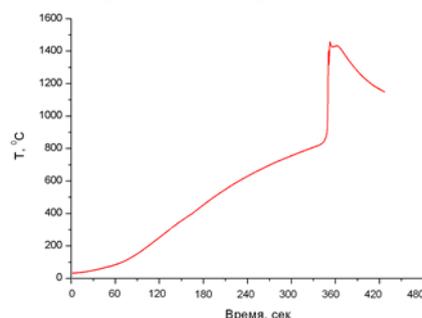
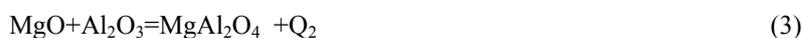


рис.1 Температурно-временной профиль СВ-синтеза алюмомагнезиальной шпинели, шихта которой состоит из смеси MgO , Al_2O_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Al .

Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза алюмомагнезиальной шпинели, показал, что использование минерализатора NaCl в количестве 1 мас. % приводит к увеличению глубины превращения при СВ-синтезе, наблюдаются уменьшения дифракционных максимумов оксидов MgO и Al_2O_3 . Температура плавления NaCl составляет $\sim 800^\circ\text{C}$, а температура кипения $T_{\text{кип}} = 1465^\circ\text{C}$. В процессе своего плавления минерализатор расшатывает кристаллическую структуру веществ, приводя ее в активное состояние, и тем самым ускоряет протекание реакций образования продуктов синтеза.

На рис. 2. показаны микроструктуры продуктов СВ-синтеза алюмомагнезиальной шпинели. Видно, что шпинель состоит из зерен округлой формы и нитевидных кристаллов, что также подтверждает наличие двух модификаций MgAl_2O_4 - кубической и орторомбической (рис.2а). Согласно литературным данным [1], нитевидная форма шпинели MgAl_2O_4 может образовываться конденсацией из газовой фазы. Максимальные температуры синтеза алюмомагнезиальной шпинели выше температуры кипения хлорида натрия, поэтому в продуктах он не обнаруживается, так как происходит его испарение.

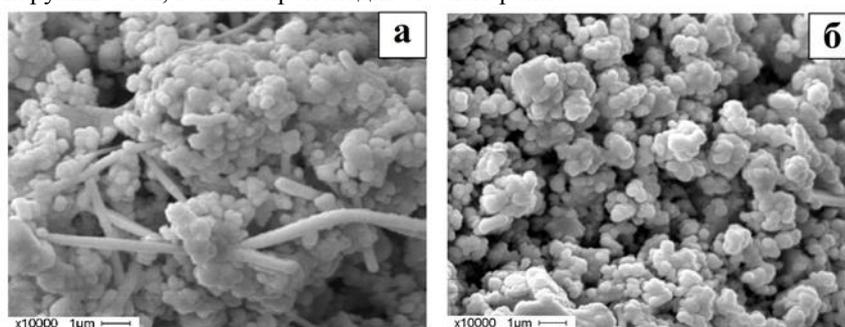


рис.2 Микрофотографии продуктов СВ-синтеза алюмомагниевого шпинели с использованием NaCl в качестве минерализатора: (а)-без механоактивации шихты, (б)-с механоактивацией шихты в планетарной мельнице МЗ; $\times 10000$, Philips SEM 515.

Применение минерализатора NaCl (1 мас.%), способствует более полному протеканию реакции образования алюмомагнезиальной шпинели MgAl_2O_4 при СВС. Наилучшие результаты по синтезу MgAl_2O_4 получены с применением предварительной механоактивации шихты, так в продуктах не содержится примесей исходных оксидов.

Список публикаций:

[1] Хорошавин Л. Б. Шпинелидные наноогнеупоры. — Екатеринбург : УрО РАН, 2009. — 600 с.

[2] Радишевская Н.И., Львов О.В., Касацкий Н.Г., Чапская А.Ю., Лепанова О.К., Китлер В.Д., Найбороденко Ю.С. Особенности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза пигментов шпинельного типа. // Физика горения и взрыва, 2012. Т.48, №1. - С.64-70.

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

Майрамбекова Айкол Майрамбековна

Ерошенко Анна Юрьевна, Банников Михаил Владимирович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Шаркеев Юрий Петрович, д.ф.-м.н.

aikol@ispms.tsc.ru

В настоящее время развитие техники и медицины предъявляет все более возрастающие требования к качеству конструкционных материалов. Одним из перспективных материалов в медицине являются «технически чистый» титан марок VT1-0, VT1-00, Grade 1-4, в том числе титановые β -сплавы, безванадиевые сплавы и сплавы на основе циркония Zr-1Nb (Э110), Zr-2,5Nb (Э125) и др. [1]. Они обладают комплексом физико-механических, коррозионностойких и биологических свойств. Благодаря этим свойствам находят широкое применение в качестве конструкционных материалов, в различных отраслях промышленности, а также в стоматологии и ортопедическом протезировании. Титановые и циркониевые сплавы используемые в качестве биоматериалов для временных и постоянных имплантатов в основном подвергаются циклической нагрузке. С увеличением длительности эксплуатации имплантата в организме накапливается усталостное повреждение, которое в итоге может привести к расшатыванию и разрушения имплантата. Одной из причин разрушения имплантатов является неадекватная механическая нагрузка, вызывающая усталостное разрушение при циклическом нагружении.

Однако механические свойства титана VT1-0 и сплава Zr-1Nb бывают недостаточно высокими для применение в медицине. Эту проблему можно решить за счет формирования наноструктурированной (НС) и/или ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в металлах и сплавах методами интенсивной пластической деформации (ИПД), что позволяет повысить, механические свойства как пределы текучести и прочности, твердость и микротвердость, предел выносливости и циклическую долговечность [2]. Формирование ультрамелкозернистой структуры в металлах эффективно повышает сопротивление к усталостному разрушению в области многоциклового усталости (10^6 циклов нагружения). В настоящее время актуальными являются исследования, посвященные влиянию НС/УМЗ состояния на процессы разрушения материалов при циклических нагрузках в широком диапазоне количества циклов не только в 10^6 циклов нагружения, но и гигацикловой усталости 10^9 и более циклов нагружения [4-7].

В данной работе были получены образцы титана VT1-0 и сплава циркония Zr-1Nb (Zr-1 мас.%Nb, сплав Э110) в ультрамелкозернистом (УМЗ) состоянии комбинированным двухэтапным методом ИПД, который включал многократное abc-прессование и многоходовую прокатку в ручьевых валках с последующим рекристаллизационным отжигом [3]. Часть образцов титана и сплава циркония в УМЗ состоянии были переведены в крупнокристаллическое (КК) и мелкозернистое состояния (МЗ) за счет рекристаллизационных отжигов. Из заготовок VT1-0 и сплава Zr1Nb в УМЗ, КК, МЗ состояниях были изготовлены образцы для усталостных испытаний в виде цилиндрических лопаток. Геометрические размеры лопаток были определены по аналитическим формулам [4], в зависимости от плотности исследуемого материала и его динамического модуля Юнга.

Проведены усталостные испытания на ультразвуковой резонансной нагружающей машине Shimadzu USF-2000, которая позволяет испытывать образцы на базе 10^9 – 10^{10} циклов с частотой 20 кГц [4,7]. Образцы VT1-0 и сплава Zr1Nb испытаны в режиме гигацикловой усталости в ультрамелкозернистом, мелкозернистом и крупнокристаллическом состояниях. Экспериментально исследованы и проанализированы распределения температурных полей на поверхности образцов VT1-0 и сплава Zr1Nb при циклическом нагружении с использованием метода инфракрасной термографии [6,7]. Проведено сравнительное исследование морфологии поверхности разрушения изломов после циклических испытаний исследуемых образцов в различных структурных состояниях.

Установлено, что формирование УМЗ структуры приводит к увеличению предела усталости титана в 1,3 раза, а сплава циркония в 1,7 раза в области гигацикловой усталости при количестве циклов не менее 10^9 . Получены зависимости максимальной температуры на поверхности образцов от времени циклического нагружения. Установлено, что процесс циклического деформирования для всех типов структурных состояний сопровождается зарождением и распространением очага тепловыделения в локальном объеме образцов и оказывает существенное влияние на величину усталостной прочности. Приращение максимальной температуры на поверхности ультрамелкозернистых образцов титана VT1-0 и сплава циркония Zr-1 мас. %Nb существенно ниже, чем для мелкозернистого и крупнокристаллического состояний, что свидетельствует о качественном изменении механизма диссипации поглощения энергии, связанного с особенностями ультрамелкозернистого состояния. Установлено, что для всех типов образцов наблюдается близкая фрактография изломов. Разрушение образцов имеет квазихрупкий характер.

Список публикаций:

- [1] Zardiackas L. D., Kraay M. J., Freese H. L. // *Titanium, niobium, zirconium and tantalum for medical and surgical applications. ASTM International. 2006. P.265.*
- [2] Valiev R.Z., Zhilyaev A.P. and Langdon T.G. // *Fundamentals and Applications. New Jersey: John Wiley & Sons. 2014. P.456.*
- [3] Sharkeev Yu. P., Eroshenko A. Yu., Danilov V. I., Tolmachev A. I., Uvarkin P. V., Abzaev Yu. A. // *Russian Physics Journal. 2014. Vol. 56. P.1156-1162.*
- [4] Bathias C., Paris P.C. // *Gigacycle Fatigue in Mechanical Practice. Dekker Publisher Co, Marcel. 2005. P.328.*
- [5] Shanyavsky A.A. // *Physal Mesomechanics. 2014. № 17(6). P.87–98.*
- [6] Плехов, О., Наймарк О., Валиев Р., Семенова И., Saintier N., Palin-Luc T. // *Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. №(13). С.33-40.*
- [7] Bannikov M.V., Naimark O.B., Oborin V.A. // *Fratturaed Iniegrità Strutturale. 2016. Vol. 35. P.50-56.*

Магнитоэлектрический эффект в слоистых структурах на основе магнитострикционного слоя и бесвинцового пьезоэлектрического преобразователя

Мальшев Олег Игоревич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Владимир Михайлович, д.т.н.

jeffri53@gmail.com

Целью данной работы является изучение особенностей магнитоэлектрический (МЭ) эффекта в области толщинно-сдвиговой моды в слоистой структуре на основе магнитострикционного слоя и биморфного пьезоэлектрического преобразователя. В качестве магнитострикционной фазы используется железо-иттриевый гранат (ЖИГ), а качестве пьезоэлектрической фазы - Y-срез бесвинцового монокристаллического лангатата.

МЭ эффект, как известно, заключается в возникновении в материале намагниченности, индуцированной внешним электрическим полем, или поляризации, индуцированной магнитным полем. МЭ эффект в композиционных материалах - результат взаимодействия электрической и магнитной подсистем материала через упругие деформации [1-2].

Если магнитострикционно-пьезоэлектрическую структуру поместить в переменное электрическое поле, то амплитуда механических колебаний будет меняться с частотой переменного поля. При совпадении частоты поля с собственной частотой образца, амплитуда колебаний приобретает максимальное значение.

Исследуемые образцы были получены путем клеевого соединения слоев ЖИГ и лангатата, при этом толщина слоя клея не превышала 12 мкм. Выбор ЖИГ связан с тем, что этот материал имеет низкие потери в однодоменном состоянии, что является важным для получения сильного МЭ эффекта в диапазоне СВЧ. Лангатат относится к бесвинцовым пьезоэлектрикам, что важно с экологической точки зрения. Кристаллы лангатата имеют небольшой пьезоэлектрический модуль и при этом малое значение относительной диэлектрической проницаемости. Поскольку прямой МЭ эффект определяется отношением пьезоэлектрического модуля к диэлектрической проницаемости, использование лангатата дает в результате высокое значение МЭ коэффициентов. Кроме того, использование Y-среза кристалла позволяет получить реакцию только на сдвиговые деформации. Для используемых образцов ось X кристалла лангатата параллельна оси [100] феррита. Подмагничивающее поле параллельно оси феррита и перпендикулярно плоскости образца. При этом переменное магнитное поле, приложенное в плоскости образца, приводит к возбуждению толщинно-сдвиговых колебаний. Механические колебания МЭ композита могут быть возбуждены либо переменным магнитным, либо электрическим полем. Уравнение сдвиговых по толщине колебаний пьезоэлектрического слоя имеет вид [3]:

$$\rho_p \frac{\partial^2 U_1}{\partial \tau^2} = \frac{\partial T_{p5}}{\partial z}, \quad (1)$$

где U_i - компонента смещения, ρ_p - плотность пьезоэлектрика, T_{pj} - компонента тензора механических напряжений, τ – время.

Аналогичное уравнение следует записать для второго пьезоэлектрического слоя, а также магнитного слоя. Для решения указанных уравнений необходимо использовать граничные условия на границах раздела слоев для компонент смещений и напряжений, соответствующих рассматриваемой структуре. Подстановка найденных решений в условие разомкнутой электрической цепи позволяет получить выражение для МЭ коэффициента по напряжению.

Для получения численных оценок МЭ коэффициента использовалась одномерная модель. Для этого используемые образцы должны иметь форму длинной узкой пластинки длиной L , шириной b и толщиной t , при

этом ось X направлена вдоль длины образца, а ось Y – вдоль толщины. При указанных предположениях отличной от нуля является только одна компонента напряжения вдоль оси X . При нахождении оценок МЭ коэффициента учитывалось, компоненты деформаций и механических напряжений связаны между собой согласно обобщенному закону Гука.

Предложенная модель применена для оценки МЭ коэффициента по напряжению для структуры состава ЖИГ – бессвинцовый пьезоэлектрический биморфный преобразователь на основе лангатата. На частоте электромеханического резонанса получено двухкратное увеличение МЭ коэффициента по напряжению для образца состава ЖИГ-биморфный пьезоэлектрический преобразователь по сравнению с двухслойной структурой ЖИГ-лангатат.

Полученные результаты могут быть использованы при изучении сильного МЭ эффекта в области наложения электромеханического и магнитного резонансов. Указанные типы резонансных явлений представляют интерес при исследовании энергетического обмена между спиновыми волнами и фононами.

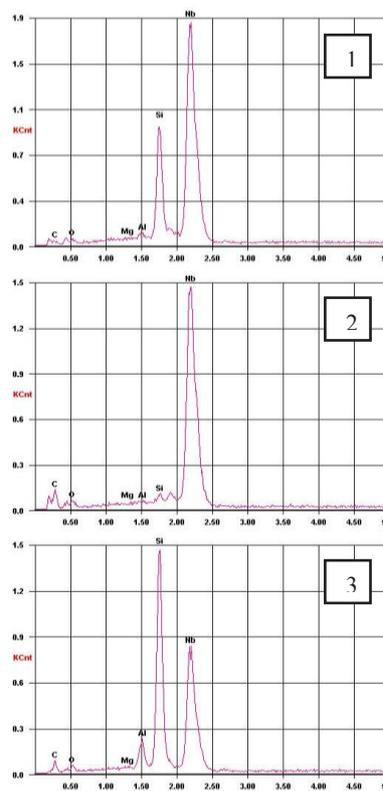
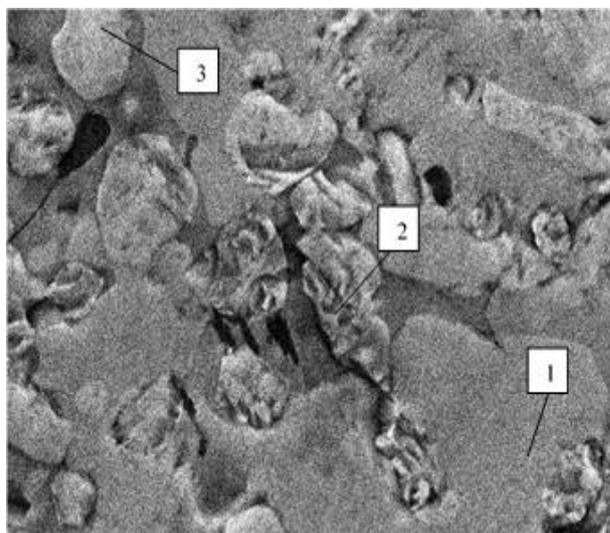
Список публикаций:

- [1] Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А., Сринивасан Г. *Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах* / ИПЦ НовГУ. Великий Новгород, 2005. 227с.
 [2] Bichurin M.I. and Petrov V.M. (2014), *Modeling of Magnetolectric Effects in Composites*. Springer, Springer Series in Materials Science, Book 201.
 [3] M. I. Bichurin, R. V. Petrov, and V. M. Petrov. *Magnetolectric effect at thickness shear mode in ferrite-piezoelectric bilayer* // *Appl. Phys. Lett.*, V. 103, 2013. P. 092902.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез системы на основе Nb-Si-C

Пантелеева Анна Васильевна
 Удмуртский государственный университет
 Никонова Роза Музафаровна, к.т.н.
pantania_97@mail.ru

Современные никелевые жаропрочные сплавы (НЖС), используемые для литья лопаток газотурбинного двигателя, достигли предельных температур 1100–1150°C, что составляет 80–85% от их температуры плавления [1]. Последующее легирование тугоплавкими элементами приводит к высокой плотности и стоимости сплавов.



№	Содержание элементов, вес. %						Предполагаемая фаза
	C	O	Mg	Al	Si	Nb	
1	4,04	1,62	0	0,66	15,38	78,30	Nb_5Si_3
2	18,34	2,87	0	0,11	0,80	77,88	NbC
3	14,19	2,26	0,22	3,44	30,3	49,59	$NbSi_2, NbC$

рис. 1. Общий вид поверхности образца и энергетические спектры, полученные с различных участков. $\times 2500$

Сплавы на основе ниобия, в отличие от НЖС, обладают низкой плотностью и высокими температурами плавления, что позволяет повысить рабочую температуру лопаток на 200-250°C. Керамические материалы Nb-Si в основном получают методами гибридного электроискрового плазменного спекания порошков, вакуумной дуговой плавки, прецизионного литья по выплавляемым моделям [1, 2]. Перспективным методом получения сплавов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Он привлекателен благодаря своей простоте, малым энергетическим затратам и высокой чистоте продуктов горения [3].

В работе методом СВС получен сплав на основе Nb-Si-C. Образец синтезировали из порошков Nb₂O₅, ПАМ, SiC в среде аргона при исходном давлении 80 атм. Для улучшения смачиваемости и соответственно прохождения реакции вводился криолит. Перхлорат калия добавляли для повышения экзотермичности реакции.

Фазовый состав определялся на дифрактометре Дрон-6 с Fe_{Kα}-излучением. Изучение микроструктуры образца осуществляли с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM-515 (РЭМ), с приставкой для рентгеновского микроанализа Genesis 2000 XMS. Металлография проводилась на оптическом микроскопе Neophot-21. Количественный химический анализ на содержание Si, Mg, Al проводился методом атомно-эмиссионной спектроскопии с помощью сканирующего ICP спектрометра Spectroflame Modula S. Содержание углерода определяли на анализаторе углерода «Эксан» по методике сжигания образца в потоке кислорода с регистрацией в ИК-ячейке.

По данным рентгеноструктурного анализа полученный образец характеризуется наличием 3-х основных фаз - Nb₅Si₃, NbSi₂, NbC. При анализе образца с помощью РЭМ были получены снимки с излома и поверхности шлифа. Результаты исследований последнего в обобщенном виде представлены на *рис. 1*.

Список публикаций:

[1] Светлов И.Л. // *Материаловедение*. 2010. №9–10. С. 18–38.

[2] Ефимочкин И.Ю., Кузьмина Н.А. // «Труды ВИАМ». 2018. №11. С. 54–63.

[3] Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. // *Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособ. / Под научной редакцией Анциферова В.Н.* - М.: *Машиностроение-1*, 2007. - 567 с.

Влияние углеродных волокон, покрытых TiO₂, на прочность композита с алюминиевой матрицей

Парамонов Роман Михайлович

Гомзин Андрей Игоревич, Галлямова Рида Фадисовна

Уфимский государственный авиационный технический университет

Зарипов Навль Гарифьянович

andre-gomzi@yandex.ru

На итоговые прочностные свойства композитов значительное влияние оказывают характер и степень взаимодействия матрицы с армирующими элементами, то же касается и перспективных композитов с алюминиевой матрицей, армированной углеродными волокном. Прямой контакт алюминиевой матрицы с углеродным волокном часто приводит к появлению карбидов Al₄C₃ в форме пластин, растущих в направлении от волокна в матрицу. Карбидные кристаллы, жестко закрепляя волокно в матрице и являясь концентраторами напряжений, приводят к значительному снижению прочности материала и хрупкому характеру разрушения [1].

Несмотря на это, интенсивное химическое взаимодействие между компонентами композита появляется не сразу, т.к. смачивание углеродных материалов расплавом алюминия практически отсутствует (получить композит с металлической матрицей, армированной углеродными волокнами, можно только жидкофазным методом ввиду малого диаметра волокон). Увеличение температуры и времени выдержки увеличивает краевой угол смачивания, но при этом интенсивность образования карбидов резко возрастает, что крайне негативно сказывается на свойствах композита [2].

Для решения приведенных выше проблем в данной работе было использовано барьерное оксидное покрытие TiO₂, нанесенное на поверхность волокон золь-гель методом.

Методом жидкофазной инфильтрации под давлением были получены композиты с матрицей из сплава АМг6, армированные высокомодульным углеродным волокном без покрытия и с TiO₂-покрытием. В обоих случаях объемная доля волокна составляла 30%. Образцы композитов были подвергнуты испытаниям на прочность при изгибе, при помощи растрового электронного микроскопа были изучены микроструктура композитов поверхности разрушения.

Снимки микроструктуры показали, что пропитка образцов композита с покрытием полная – все межволоконное пространство заполнено алюминиевым сплавом. В то же время, образцы композита с волокнами без покрытия имеют в своей структуре редкие области, свободные от матрицы. Данное явление свидетельствует о том, что покрытие из диоксида титана улучшает смачивание между волокном и матрицей, способствуя лучшей пропитке и повышению свойств.

Средняя прочность образцов композита, армированного волокном без покрытия, составила 254 МПа, средняя прочность композита, армированного волокном с TiO₂-покрытием – 664 МПа. В первом случае разрушение носило хрупкий характер – поверхность излома была преимущественно плоская, что является свидетельством слишком сильной адгезии и наличия концентраторов напряжения. Для второго случая характерно разрушение пучками – рельефная поверхность излома, когда трещина не распространяется свободно, как при хрупком разрушении. Характер более энергоёмкого разрушения для композита с покрытием коррелирует с показателями его прочности [3, 4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что барьерное покрытие из диоксида титана, нанесенное на углеродные волокна золь-гель методом, воспрепятствовало химическому взаимодействию активного алюминиевого расплава с волокном, что позволило значительно увеличить прочность композита.

Работа выполнена при финансировании из средств гранта проектов молодых ученых Республики Башкортостан, договор №10ГР.

Список публикаций:

- [1] Feldhoff A., Pippel E., Woltersdorf J. // *Interface Engineering of Carbon Fiber Reinforced Mg–Al Alloys*, *Advanced Engineering Materials*, 2000, vol. 2, no.8, pp. 471-480;
- [2] Костиков В.И. // *Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродным волокнами* / Костиков В.И., Варенков А.Н. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. – 445 с.
- [3] Pei Z., Li K., Gong J., Shi N., Elangovan E., Sun C. // *Micro-structural and tensile strength analyses on the magnesium matrix composites reinforced with coated carbon fiber*, *Journal of Materials Science*, 2009., vol.44, pp. 4124-4131;
- [4] Wang X., Jiang D., Wu G., Li B., Li P. // *Effect of Mg content on the mechanical properties and microstructure of Grf/Al composite*, *Materials Science and Engineering A*, 2008, vol. 497, pp. 31-36.

Получение интерметаллидных матриц для дисперсионного ядерного топлива методом СВ-синтеза

Пермикин Антон Андреевич

Томский политехнический университет

Кузнецов Михаил Сергеевич, к.т.н.

aap71@tpu.ru

На сегодняшний день порядка 20% электроэнергии России генерируется атомными электростанциями (АЭС). Традиционно в ядерных энергетических установках используется керамическое ядерное топливо – диоксид урана (UO₂). Однако данный вид топлива обладает существенным недостатком – низким коэффициентом теплопроводности (4 Вт/(м·К)), что приводит к высоким градиентам температур внутри топливного столба. Таким образом, использование оксидной керамики в качестве топлива накладывает существенные ограничения на КПД энергетических установок и температурные режимы работы ядерной установки. Задача повышения эффективности работы АЭС в первую очередь связана с разработкой новых улучшенных видов ядерного топлива, отвечающих повышенным требованиям безопасности. Так же стоит отметить что большинство реакторных установок IV-го поколения разрабатываются по типу высокотемпературных, с газотурбинными агрегатами в качестве генераторов, что еще больше актуализирует задачу поиска новых видов топливных композиций с высоким коэффициентом теплопроводности. Одной из перспективных композиций на сегодня является дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ).

ДЯТ представляет из себя неактивную матрицу с диспергированными в неё топливными частицами. Матрица обеспечивает интенсивный теплоотвод и выступает барьером для выхода продуктов деления. Высокую эффективность, благодаря своим теплофизическими характеристиками, имеют матрицы основанные на интерметаллидных соединениях. В ряду переходных металлов важное место занимают Ni и Zr, сплавы на их основе обладают уникальными теплофизическими свойствами, что открывает широкие возможности их использования в качестве матриц для дисперсионного ядерного топлива. Данные соединения обладают температурой плавления свыше 1000 °С, высокой теплопроводностью - порядка 200 Вт/(м·К), модуль упругости в области 200 ГПа, при этом соединения являются довольно легковесными - плотность 5-6 г/см³. В рамках данной работы исследования проводились для систем Zr-Al и Ni-Al, ввиду нейтронно-физических и теплофизических особенностей данных соединений.

Шихта подготавливалась из расчета на прохождение следующих экзотермических реакций:



После прессования осуществлялась экспериментальная отработка синтеза, температурный режим протекания реакции представлен на рисунке 1. Процесс синтеза представлен на рисунке 2.

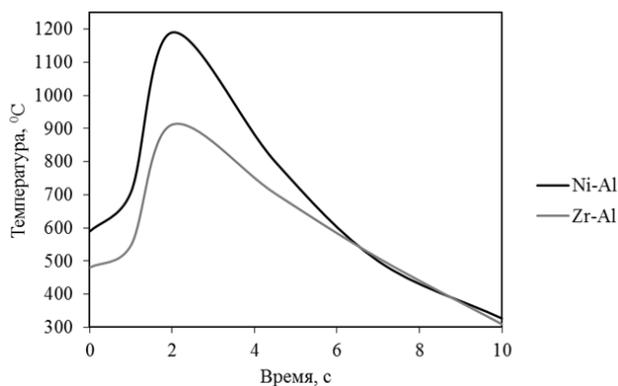


рис.1. Температурный режим протекания синтеза



рис.2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

После экспериментальной отработки образцы подвергались рентгенофазовому анализу. Результаты РФА представлены на рисунках 3 и 4.

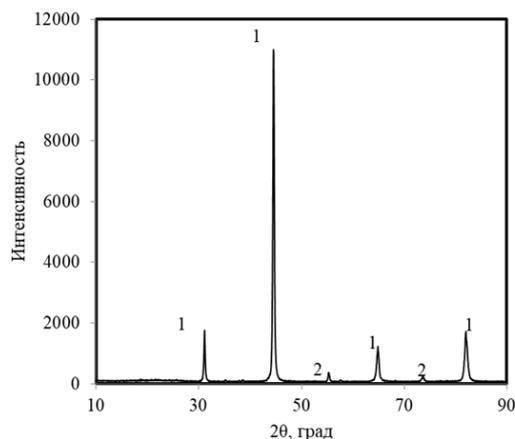


рис.3. Фазовый состав образца на основе системы Ni-Al: 1 – NiAl; 2 – Al₂O₃

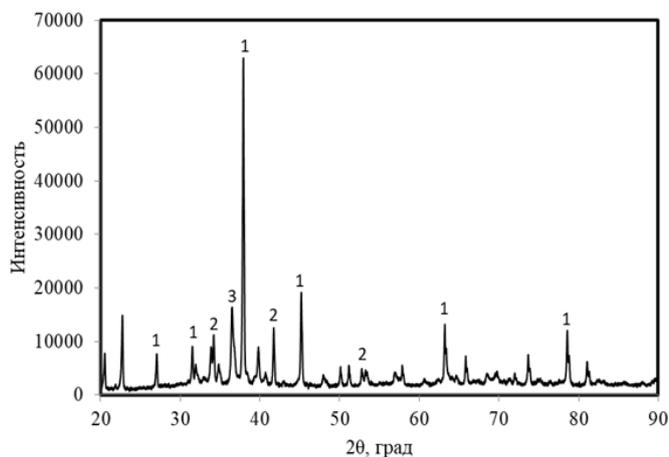


рис.4. Фазовый состав образца на основе системы Zr-Al: 1: Zr₃Al – 74,3%; 2: ZrAl₂ – 18,7%; 3: αZr – 7,0%.

Список публикаций:

[1] Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением / Под научной редакцией Е.Н. Каблова и Ю.Р. Колобова. – М.: Издательский дом МИСиС, 2008. – 328 с.

[2] Каблов, Е.Н., Литейные конструкционные сплавы на основе алюминиды никеля / Е.Н. Каблов, О.Г. Оспенникова, О.А. Базылева, // Двигатель. – 2010. – №4. – С. 24-25.

Трещиностойкость керамического композита «гидроксиапатит – многостенные углеродные нанотрубки»

Резванова Анастасия Евгеньевна

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Пономарев Александр Николаевич, к.ф.-м.н.

nastya.rezvanova@mail.ru

Выполнен статистический анализ экспериментальных данных трещиностойкости (K_c) биоактивного композита «гидроксиапатит - многостенные углеродные нанотрубки» (ГА-МУНТ). В этом композите роль биоактивной матрицы выполняет гидроксиапатит (ГА), а увеличение трещиностойкости достигается за счет внедрения добавок многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ). Трещиностойкость композита была рассчитана по формулам (1) и (2):

$$K_c = 0.071 * H * a^{1/2} * \left(\frac{E}{H}\right)^{2/5} * \left(\frac{c}{a}\right)^{-3/2} \quad \left(\frac{c}{a} \geq 2.5\right) \quad (1)$$

$$K_c = 0.018 * H * a^{1/2} * \left(\frac{c}{a}\right)^{-1/2} * \left(\frac{H}{E}\right)^{-2/5} \quad \left(\frac{c}{a} \leq 2.5\right) \quad (2)$$

где E – модуль Юнга, H – твердость по Виккерсу, F – нагрузка при индентировании, c – длина радиальной трещины, начинающаяся от угла отпечатка индентора (пирамиды), a – диагональ пирамиды [1].

Характерный размер длин трещин, полученных после вдавливания в образец индентора, варьируется от 55 до 85 микрометров. Выявлено, что с увеличением концентраций МУНТ коэффициент трещиностойкости увеличивается (рис.1). Это обусловлено тем фактом, что с увеличением концентраций МУНТ твердость по Виккерсу композита растет, а модуль Юнга композита практически не зависит от концентраций МУНТ.

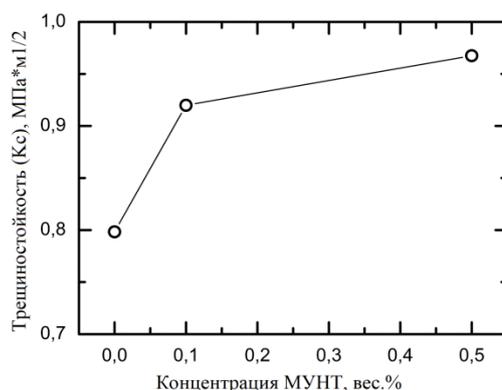


рис.1. Зависимость трещиностойкости (K_c) от концентраций МУНТ

Список публикаций:

[1] Хасанов О.Л., Струц В.К., Двилис Э.С. Сопротивление материалов. Твердость и трещиностойкость наноструктурных керамик. – Уч.пособие для вузов, ТПУ, 2016. – 151с.

Влияние смещения стационарного потенциала алюминиевой подложки в катодную область на трибологические характеристики никель-фосфорного покрытия

Рогова Инна Андреевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Ильин Александр Петрович, д ф.-м.н.; Налесник Олег Иванович, к.т.н.

inna.aleksenko92@mail.ru

Никель-фосфорные покрытия, получаемые путем восстановления никеля из растворов электролитов химического никелирования, вследствие своих отличительных особенностей – в частности, повышенной износостойкости и некоторых других ценных свойств, нашли самое широкое распространение в различных отраслях промышленности. Ввиду разнообразия применений, покрытия на готовых изделиях подвержены

влиянию различных сил трения и процессов изнашивания [1]. Поэтому, оценка трибологических характеристик получаемых покрытий является важной задачей для их промышленного применения.

Никелевые покрытия, полученные химическим способом разительно отличаются от электрохимических. Они в значительной степени превосходят их по адгезионным свойствам и износостойкости. Однако скорость получения покрытий (особенно толстослойных) данным методом невелика. Исключить данный недостаток возможно за счет смещения стационарного потенциала поверхности в процессе химического никелирования [2].

Смещение потенциала поверхности покрываемой детали в процессе химического никелирования приводит к снижению пористости получаемых покрытий. В то же время, заметно изменяется и структура поверхности: более выраженным становится распределение фрагментов структуры по размерам, что должно оказывать непосредственное влияние на износостойкость покрытий. Следовательно, цель данной работы – установление влияния смещения электрохимического потенциала поверхности в процессе химического никелирования на трибологические характеристики никелевых покрытий.

Покрытия получали согласно методике, изложенной в [2]. Полученные образцы исследовали с помощью прибора Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000. Устройство предназначено для исследования адгезионных свойств и износостойкости тонких пленок и покрытий. Диапазон нагрузки составлял от 0 до 15 Н, скорость нагружения – 15 Н/мин. В качестве индентора использовали алмазный конус с радиусом скругления 100 мкм. На индентор прикладывалась заданная нагрузка при помощи электромагнитной системы. Прикладываемая сила контролировалась датчиком, который был связан с системой управления обратной связи с очень тонким регулированием прикладываемой силы. Глубина проникновения определялась индукционным датчиком. Звуки при растрескивании регистрировались акустическим датчиком. С использованием данной методики были произведены измерения адгезионных свойств и износостойкости образцов никелевого покрытия на подложке из дюрала марки Д16Т. Полученные результаты представлены на рис. 1.

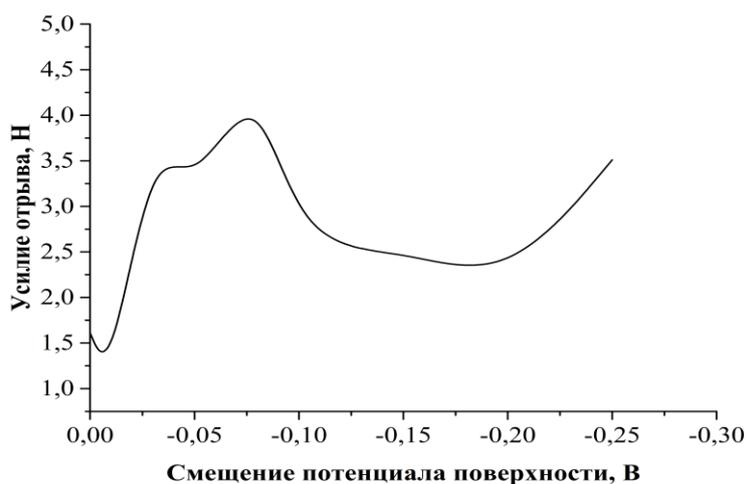


рис. 1. Зависимость усиления отрыва от смещения потенциала поверхности.

Исходя из полученных результатов можно отметить, что при изменении смещения стационарного потенциала поверхности до $-0,08$ В износостойкость покрытий увеличивается. Дальнейшее смещение стационарного потенциала в катодную область способствует снижению износостойкости. Следовательно, можно сделать вывод, что при смещении потенциала алюминиевой поверхности в область близ стационарного значения можно улучшить адгезионные характеристики покрытия и его износостойкость.

Список публикаций:

[1] Асланян И. Р., Криони Н. К., Шустер Л. Ш. // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2013. Т. 17. №. 8 (61).

[2] Рогова И.А. // Сборник тезисов, материал Двадцать четвертой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых. 2018. Т. 1. .С. 518.

Динамика локальной структуры функционализированного МОК UiO-67

Скорынина Алина Александровна
Южный федеральный университет
Бугаев Арам Лусеменович
alinaskorynina@rambler.ru

Объектом исследования являются металл-органические каркасные структуры (МОК) семейства UiO-67, впервые синтезированные в университете Осло 10 лет назад [1]. Данный класс материалов представляет собой трехмерные пористые структуры с высокой площадью поверхности. Благодаря многообразию видов, МОК находят применение в таких областях, как люминесцентные сенсоры, катализаторы, фильтры, хранение и транспортировка легких газов и многие другие [2]. Использование МОК в качестве катализаторов – новое перспективное направление, которое, однако, требует определенного синтеза структур с их функционализацией активными металлическими центрами или наночастицами. Цель нашего исследования: определить промежуточные структуры активных центров в ходе активации образцов в разных средах.

В работе исследовались образцы UiO-67, функционализированного Pd и Pt, методами спектроскопии рентгеновского поглощения в протяженной (EXAFS) и околопороговой (XANES) областях. Данные спектры были получены в ходе измерений на Европейском источнике синхротронного излучения ESRF. Анализ всего массива спектров поглощения для K-края Pd и L₃-края Pt проведен методом чередующихся наименьших квадратов для решения задачи разрешения кривых (MCR-ALS) [3].

Для описания экспериментальных данных в программном пакете VASP 5.3 выполнены DFT-расчеты для различных потенциальных промежуточных структур активных центров, которые были ранжированы в соответствии с рассчитанными энтальпиями реакции. Для наиболее вероятных путей реакции были смоделированы XANES спектры методом конечных разностей с помощью FDMNES кода, что позволило определить структурные изменения в процессе активации функционализированного UiO-67 в инертной и водородсодержащей средах.

Согласно рассчитанным энтальпиям реакций для UiO-67-Pd наиболее вероятным переходом как в инертной, так и в водородсодержащей атмосферах, является отделение PdCl₂, что согласуется с экспериментальными результатами. Для UiO-67-Pt были определены четыре различные структуры. В присутствии водорода наиболее вероятным является замещение одного атома хлора атомом водорода с образованием молекулы HCl. Вторым возможным переходом в такой же среде является отделение PtCl₂ от линкера с присоединением двух атомов водорода к атомам азота с дальнейшим образованием наночастиц Pt при температуре выше 200 °С. В отсутствия H₂ наиболее вероятен отрыв атомов хлора, что происходит в интервале от 200 до 300 °С [4].

Таким образом, комбинация экспериментальных и теоретических методик позволила определить эволюцию и структуру промежуточных состояний активных центров Pt и Pd в UiO-67.

Список публикаций:

- [1] Cavka J. H., et al. // *J. Am. Chem. Soc.* 2008. 130 (42). 13850-13851.
- [2] Evans J. D., et al. // *Coordination Chemistry Reviews.* 2019. 380. 378–418.
- [3] Jaumot J., et al. // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems.* 2015. 140. 1-12.
- [4] Bugaev A. L., et al. // *Catalysis Today.* 2019. Under review.

Исследование фильтрационного горения порошка хрома в азоте

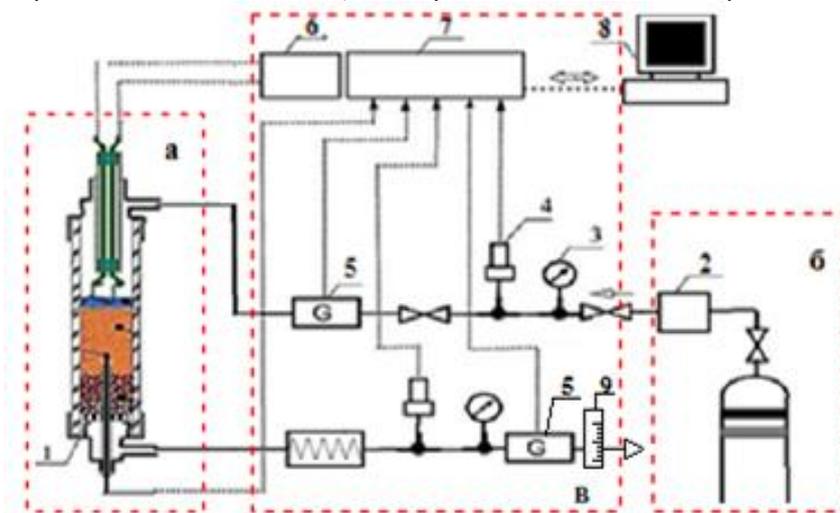
Толынбеков Айдос Бейбитбекулы
Научно исследовательский Томский государственный университет
Жуков Александр Степанович, д.ф.-м.н.
a.tolynbekov@gmail.com

Постановка задачи. Фильтрационное горение порошков металлов в среде реагирующего газа теоретически исследовано достаточно подробно, но в то же время экспериментально изучено мало [1]. В данной работе исследовалось фильтрационное горение порошка хрома марки ПХ1С в азото-аргоновой смеси на лабораторной установке проточный СВС реактор.

Выбор хрома был обусловлен тем, что температура плавления хрома составляет 1900⁰С, что позволяет исключать влияние плавления исходного материала на продукты горения и на фильтрацию [2].

Методика эксперимента. В качестве порошка использовали хром марки ПХ1С с размером частиц от 40 мкм до 100 мкм. Навеска исходного порошка засыпается в кварцевую трубку (1). Верхняя часть порошка приводится в контакт с электрической спиралью. Кварцевая трубка герметизируется. В нижнюю часть кварцевой трубки предварительно засыпается слой порошка оксида алюминия, который служит для охлаждения отходящих газов. С помощью редуктора (2) газовая смесь в кварцевую трубку подается из баллона, в котором предварительно готовится смесь газов азот-аргон (в соотношении 87.2 - 12.8%). Подачей электрического импульса на спираль в поверхностном слое инициируется экзотермическая реакция. Формируется плоский фронт горения, который начинает распространяться вдоль образца. Расход газа регулируется редуктором. Контроль давления производится по показаниям манометра (3) и датчика давления (4). Расход газа на входе в реактор и на его выходе осуществляется электронными микрорасходомерами (5) термоанемометрического типа "Red-y", а также контрольным расходомером на выходе (9). До подачи электрического тока на инициирующую спираль показания обоих расходомеров и одинаковы, т.к. отсутствует поглощение газовой компоненты дисперсной средой, которая находится в реакторе. Поглощение реагирующей компоненты газовой смеси начинается после инициирования реакции. Расход газа на выходе из реактора уменьшается, что фиксируется приборами (5) и (9), установленными на выходе установки. Температура реакции измеряется W/Re термопарой BP5/20, сигнал от которой подается через усилитель на записывающее устройство. Параметры процесса фиксируются с помощью усилителя сигнала (6) и подается на многоканальный измеритель-регулятор «ТРМ-138» (7) с последующей обработкой и архивированием программой для регистрации OWEN MANAGER ORM v.1, загруженной в компьютер (8).

Продукты горения взвешивали на весах, чтобы рассчитать массовое содержание азота в продукте.



1- камера горения, 2- редуктор, 3- манометр, 4- датчик давления, 5- электронный расходомер, 6- блок управления зажиганием 7- АЦП, 8- компьютер, 9 – контрольный расходомер
рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки проточного реактора СВС.

Результаты экспериментов. Горение порошков хрома осуществлялась в атмосфере газовой смеси, с 12.8% массовым содержанием аргона. При значениях расхода $G_{вх}$ равной $5.5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, температура горения составляла 1460°C , а скорость горения была равна 0.2 см/с. При увеличении расхода до $11 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, температура горения составляла 1412°C , а скорость горения 0.23 см/с. Продукты горения представляли из себя спек серого цвета, с рыхлой поверхностью. По результатам продукты горения состояли из соединения Cr_2N .

Обсуждение. Первые эксперименты показали что, с увеличением расхода температура горения порошков хрома меняется от 1460°C до 1412°C . Это, мы предполагаем, возможно связано с тем, что с увеличением расхода, в камеру горения нагнетается большее количество инертного аргона, на которое затрачивается тепло. Увеличение скорости горения до 0.23 см/с является этому подтверждением.

При этом степень азотирования снизилась с 8.4% до 8.0%. Результаты химического анализа показали что в продуктах горения массовая доля содержание элементов С, О и N для значения расхода $G_{вх} = 5.5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ равны 0.021%, 0.3% и 8.4%, а для расхода $G_{вх} = 11 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ равны 0.048%, 0.2% и 8.0%. По результатам расчета, массовое содержание азота в образцах при $G_{вх} = 5.5 \cdot 10^{-5}$ равен [10%], а для $G_{вх} = 11 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ [7.6%]. Следовательно, с увеличением расхода газовой смеси горение порошков хрома происходит в режиме неполного превращения, что показывают результаты химического анализа, а также результаты расчета массового содержания азота в продуктах.

Выводы:

1) Использование принудительной фильтрации позволяет синтезировать в режиме горения полунитрид хрома Cr₂N.

2) Лабораторная установка проточный реактор СВС позволяет синтезировать хром в режиме неполного превращения.

Полученные экспериментальные данные и результаты химического анализа выдвигают необходимость постановки новых направленных экспериментов по изучению данного процесса, которые могут представлять также практический интерес.

Список публикаций:

[1] Мерджанов А. Г., Боровинская И. П., Володин Ю. Е. В механизме горения пористых металлических образцов в азоте // Докл. АН СССР. — 1972. — Т. 206, № 4. — С. 905–908.

[2] Зиятдинов М.Х. Горение хрома в ступенчатом потоке азота // Физика горения и взрыва. — 2016. — Т. 52, №4. — С. 51-60.

Изучение фазового состава, микроструктуры и микротвердости высокоазотистой аустенитной стали X23AG17 в зависимости от продолжительности старения

Тумбусова Ирина Алексеевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Астафурова Елена Геннадьевна, д.ф.-м.н.

Майер Галина Геннадьевна, к.ф.-м.н.

tumbusovairina@outlook.com

Аустенитные стали обладают важным комплексом физико-механических характеристик, при этом низкий уровень предела текучести и твердости ограничивает их практическое применение в качестве конструкционных материалов. Создание высокоазотистых сталей путем легирования азотом железо-хром-марганцевого аустенита позволяет повысить пределы текучести и прочности сталей. Азот и марганец обеспечивают стабильность аустенита к фазовым превращениям и позволяют полностью заменить дорогостоящий никель [1]. Одним из основных способов повышения прочностных свойств аустенитных сталей является термическое старение. Разнообразие структуры и свойств высокоазотистых сталей в зависимости от их состава, механизма выделения частиц, типа упрочняющей фазы, количества, характера ее распределения и особенностей используемой термической обработки является основной сложностью при решении проблем упрочнения высокоазотистых сталей.

В работе исследовали влияния продолжительности старения на фазовый состав, микроструктуру и микротвердость высокоазотистой аустенитной стали X23AG17 (23Cr-17Mn-0,18Ni-0,04V-0,1C-0,6N, мас. %). Для получения аустенитной структуры, исследуемую сталь закалывали в воду после выдержки 30 мин при температуре 1200°C. Старение образцов проводили при температуре 700 °C в течение 0,5, 1, 2, 5, 10 и 50 часов в среде гелия с последующей закалкой в воду комнатной температуры.

Рентгеноструктурный анализ образцов показал, что сталь X23AG17 после закалки имеет структуру азотистого аустенита ($\gamma_{\text{Ni-Fe}}$) с параметром решетки $a=3.628 \text{ \AA}$ и содержит 18% δ -феррита с параметром решетки $a=2.88 \text{ \AA}$. Установлено, что в процессе старения δ -феррит претерпевает распад с образованием σ -фазы и аустенита. Изменение фазового состава стали при старении происходит по следующей схеме: $\gamma_{\text{Ni-Fe}} + \delta$ -феррит (исходное состояние) $\rightarrow \gamma_{\text{Ni-Fe}} + \sigma$ -фаза + $\gamma_{\text{N}_2\text{-Fe}} + \text{Cr}_2(\text{N,C}) + \delta$ -феррит (после старения).

На металлографических снимках образцов закаленной стали наблюдали зерна аустенита и зерна, обладающие повышенной травимостью, соответствующие δ -ферриту. После старения в течение 0,5 ч структура носила смешанный характер: наблюдали зерна азотистого аустенита, не претерпевшие фазовый распад ($\gamma_{\text{Ni-Fe}}$), и зерна, в которых произошел фазовый распад (δ -феррит \rightarrow аустенит + σ -фаза + $\text{Cr}_2(\text{N,C})$). Одновременно с распадом δ -феррита на границах аустенитных зерен зарождаются выделения нитридов хрома $\text{Cr}_2(\text{N,C})$ по механизму прерывистого распада. Фронт реакции прерывистого распада распространяется от границ к центру зерна, постепенно заполняя его объем. В результате распада помимо зерен азотистого аустенита (γ_{Ni}) формируются зерна с пластинами нитрида хрома в обедненном по азоту аустените ($\gamma_{\text{N}_2\text{-Fe}}$). С увеличением продолжительности старения объемная доля зерен, претерпевающих распад, возрастала от 33% (0,5 ч.) до 54% (50 ч.). В зернах азотистого аустенита $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$, не претерпевшие фазовый распад, наблюдали мелкозернистые частицы нитрида хрома $\text{Cr}_2(\text{N,C})$, выделяющиеся по непрерывному механизму. В результате обеднения твердого раствора $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$ по азоту и углероду при образовании частиц по механизму непрерывного распада привело к уменьшению параметра решетки аустенита в них с 3.628 \AA (исходное состояние) до 3.6273 \AA (выдержка 50 часов).

В исходном состоянии микротвердость стали составляла 3.1 ± 0.02 ГПа. Значение микротвердости в зернах $\gamma_{\text{Ni-Fe}}$, не претерпевших фазовый распад, при малых временах старения (0.5-1ч) возрастает незначительно до 3.5 ± 0.3 ГПа. Старение после 1 часа привело к резкому увеличению значений микротвердости зерен, претерпевших фазовый распад, до 4.8 ± 0.8 ГПа. Этот эффект обусловлен обильным выделением частиц Cr_2N и интерметаллидной σ -фазы. Максимальные значения микротвердости двух фаз наблюдали после продолжительности старения 10 часов: 3.7 ± 0.2 ГПа (зерна, претерпевшие распад) и 4.9 ± 0.3 ГПа (зерна азотистого аустенита). Старение в интервале 10 и 50 часов приводит к незначительному спаду микротвердости одновременно двух фаз соответственно до 3.3 ± 0.2 ГПа и 4.7 ± 0.2 ГПа. Снижение прочностных свойств при большой продолжительности старения вызвано увеличением размеров фаз.

Авторы благодарны Гальченко Н.К. за помощь в проведении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 17-19-01197.

Список публикаций:

[1] Банных О. А., Блинов В.М., Костина М.В., Блинов Е.В., Мурадян С.О. О возможности применения в российском арматуростроении аустенитных азотистых сталей // *Материалы в машиностроении* – 2014. – С. 67-75.

Эволюция ИК спектров химически модифицированного поливинилиденфторида при долговременном хранении

Чалов Дмитрий Александрович

Злобина Наталья Алексеевна, Живулин Владимир Евгеньевич

Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет

Песин Леонид Абрамович, д.ф.-м.н.

chalovdmitriy@gmail.com

В последние годы большое число работ посвящено как практическому синтезу, так 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 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 успешного использования любого материала в наиболее ответственных отраслях (космическая техника, медицина и т.д.) ключевое значение имеет стабильность его физико-химических свойств. Поэтому изучение процесса старения синтезируемого вещества не только позволяет уточнить его природу и строение, но имеет самостоятельное значение для определения физико-химических параметров и условий, при которых структура может считаться устойчивой.

Исследуемый образец синтезирован методом химического ДФ продолжительностью 30 минут по методике, описанной в [2]. Исходным материалом служила пленка ПВДФ марки Ф-2МЭ толщиной 20 мкм, предоставленная ОАО «Пластполимер» (г. Санкт-Петербург). Дегидрофторизирующая смесь состояла из насыщенного раствора КОН в этаноле и ацетона в объемном соотношении 1:9. Сразу после ДФ образец последовательно промывался в ацетоне и этаноле. Регистрация ИК-спектров после ДФ производилась регулярно в течение более 500000 минут с помощью спектрометра фирмы Shimadzu модель IRAffinity-1 в геометрии на пропускание в интервале волновых чисел $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. Наиболее частые измерения проводились в течение нескольких первых часов после синтеза. Хранение образца на всем протяжении измерений происходило в темноте в атмосфере воздуха при комнатной температуре. Параметризация формы спектров ИК и выявление закономерностей изменения их формы в результате старения образца проводилось с помощью свободно распространяемой компьютерной программы Fituk.

Сравнительный анализ формы спектров исходной пленки ПВДФ и синтезированного образца спустя различные промежутки времени после прекращения воздействия дегидрофторизирующей смеси показал наличие большого количества идентичных по частотному положению спектральных особенностей. В то же время существуют спектральные интервалы, в которых существенны изменения, обусловленные химическим ДФ. Эти факты свидетельствуют о карбонизации лишь части исходного полимера.

Наиболее ярко модификация формы ИК спектров, инициированная ДГФ, проявляется в областях волновых чисел 2500-3800 (СН и ОН связи) и 1450–1800 см^{-1} (двойные углерод-углеродные и углерод-кислородные связи: С=C, С=О).

В первой области при карбонизации вместо дублетной линии симметричных и асимметричных колебаний CH_2 групп, характерной для исходного ПВДФ, в первом же спектре, полученном через 19 минут после синтеза, наблюдается мощная полоса поглощения, характерная для жидкого этанола. В интервале 19-150 мин интенсивность этой полосы убывает, причём скорость уменьшения в области колебаний ОН групп шестикратно превышает таковую в области колебаний СН связей. Данный факт свидетельствует об испарении жидкого этанола, оставшегося в синтезированном плёночном образце после финитной промывки, а также о прикреплении этоксигрупп к карбонизированным фрагментам углеродного скелета. По мере дальнейшего старения образца интенсивность полосы СН монотонно уменьшается до 40% таковой в первом спектре (19 мин), а широкой полосы ОН при проставии свыше 10000 мин постепенно увеличивается. Эти изменения формы спектров, скорее всего, связаны с деструкцией этоксигрупп в результате их окисления в атмосфере воздуха, а также с накоплением жидкой воды при старении карбонизированного слоя вещества вследствие увеличения его пористости и гигроскопичности.

Следует также отметить наличие в спектрах не связанной с этоксигруппами слабо изменяющейся при старении образца особенности при 3090 см^{-1} , которая наблюдалась нами и ранее, но не получила до сих пор однозначной интерпретации. Предположительно её можно связать с колебаниями СН связей в подобии фрагментов ароматических колец, образовавшихся при сшивке соседних частично карбонизированных цепей.

Деконволюция спектров в частотной области, соответствующей колебаниям С=C и С=О связей, выявила наличие семи составляющих с центрами вблизи 1478, 1509, 1537, 1600-1610, 1665-1670, 1720 и 1750 см^{-1} , отсутствующих в ИК спектре исходной плёнки ПВДФ. При старении образца до 1500 мин все эти составляющие практически не меняются. Затем в течение последующих долговременных измерений (около 500000) минут первые три составляющие существенно и монотонно уменьшаются, а последние две – увеличиваются. Составляющие вблизи 1600-1610 и 1665-1670 см^{-1} изменяются очень слабо и немонотонно.

Полосы поглощения вблизи 1720 и 1750 см^{-1} в научной литературе интерпретируются как результат валентных колебаний С=О связей. Увеличение их интенсивности в спектрах стареющего более 1500 мин образца однозначно связаны с процессами окисления его карбонизированной части в атмосфере воздуха.

Происхождению первых трёх полос мы не можем в настоящее время дать однозначное объяснение. В качестве предположения можно связать полосу при 1537 см^{-1} с пульсационными колебаниями в подобии фрагментов ароматических колец, образовавшихся при сшивке соседних частично карбонизированных цепей. Также весьма осторожно можно предположить, что спектральные особенности при 1478 и 1509 см^{-1} являются следствием валентных колебаний С=C связей, в непосредственном соседстве с которыми находятся, соответственно, две или одна этоксигруппы. Этоксигруппы увеличивают приведённую массу колеблющегося структурного фрагмента и уменьшают частоту колебаний. В пользу этой гипотезы свидетельствует сравнение интенсивности обсуждаемых особенностей ИК спектров: первая из них в 5-7 раз слабее второй. Две этоксигруппы, заместившие атомы фтора и прикрепившиеся к углеродному скелету с противоположных сторон от С=C связи, образуют более симметричную структуру, чем одна, уменьшая интенсивность ИК поглощения. Уменьшение поглощения при трёх низких частотах начинается одновременно с увеличением поглощения С=О связями, указывая на связь процессов деструкции этоксигрупп и окисления.

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.

Получение тугоплавкого нитрида Ta_2N синтезом сжигания в воздухе смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала

Чудинова Александра Олеговна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Ильин Александр Петрович, д.ф.-м.н.

chudinova.1509@mail.ru

В настоящее время нитриды используются практически во всех технологических областях: механике, медицине, электронике, материаловедении. Возможность образования нитридов допускалась только в качестве промежуточных веществ, обязательно доокисляющихся до оксидов [1-4]. Тем не менее, химическое связывание азота воздуха известно и происходит при сгорании порошков алюминия с оксидами металлов IV (Ti, Zr и Hf) и

V (V, Nb и Ta) групп Периодической системы с образованием соответствующих нитридов. В то же время для элементов V группы Периодической системы аналогичные эксперименты системно не проводились.

Рост промышленного потенциала России связан с глубокой переработкой минеральных ресурсов и, в частности, с получением тугоплавких нитридов. Ранее было экспериментально показано, что при сжигании смесей нанопорошка алюминия с оксидами титана, циркония и гафния в воздухе в продуктах сгорания стабилизировались соответствующие нитриды с общей формулой MeN [5]. Целью данного исследования является определение фазового состава конечных продуктов сгорания смесей нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала, с максимальным выходом нитрида тантала.

В работе использовали промышленный порошок пентаоксида тантала (марки TaO-1, ТУ 48-4-408-78), и нанопорошок алюминия, полученный с помощью электрического взрыва проводника. Рентгенофазовым анализом (РФА) [6] определяли фазовый состав продуктов сгорания, используя дифрактометр «Дифрей-401». Исходные смеси порошков диагностировали по четырем параметрам активности с помощью дифференциального термического анализа (ДТА) [7].

Результаты исследования показали (рис.1), что при горении в воздухе смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала в конечном продукте стабилизируется кристаллическая фаза нитрида тантала (Ta₂N).

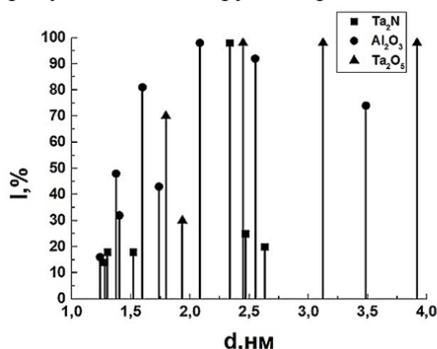


рис.1. Стрих-рентгенограмма продуктов сгорания в воздухе смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала

Результаты исследования показали (рис.1), что при горении в воздухе смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала в конечном продукте стабилизируется кристаллическая фаза нитрида тантала (Ta₂N). Экспериментально установлено, что максимальный выход нитрида тантала в продуктах сгорания смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала, согласно рентгенофазовому анализу достигает Ta₂N = 54,0 отн. %. Химическое связывание азота воздуха играет важную роль в нитридообразовании, так как определяет состав продуктов сгорания и синтеза тугоплавкого нитрида тантала. Процесс сжигания проводится с помощью инициирования свободно насыпанной шихты при атмосферном давлении.

Список публикаций:

- [1] Самсонов Г. В., Кулик О. П., Полищук В. С. Получение и методы анализа нитридов. Киев: Наук. думка, 1978.
- [2] Nobuzo Terao. Structure des Nitrures de Niobium. Jap. J. of applied physics. V.64, N.5. 1965. pp. 353-367.
- [3] Yongsheng Zhou, Pan Jin. Tantalum nitride nanowires: Synthesis and characterization // College of Chemistry and Materials Engineering, Anhui Science and Technology University, China. Materials Letters Volume 136, 1 December 2014, Pages 168-170.
- [4] Боборыкин В. М., Гремячкин В. М., Истратов А. Г. и др. О влиянии азота на горение алюминия // Физика горения и взрыва. – 1983. - №3 – С. 22-29.
- [5] Химия синтеза сжиганием / пер. с яп. / под ред. М. Коидзуми. – М.: Мир, 1998. – 247 с.
- [6] Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.
- [7] Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 218 с.

Сверхпроводящие пленки на основе YBCO

Шапиев Гусейн Шапиевич

Дагестанский государственный университет

Гаджимагомедов С.Х.

shguseyn@mail.ru

Представлены результаты исследования структуры и свойств тонких пленок YBa₂Cu₃O_{7-δ}, полученных распылением мишени, изготовленной по керамической технологии с добавкой нанопорошка [1-3]. Исходный порошок подвергался термообработке при температуре 910°C в течение 20 часов, затем он прессовался (100МПа) и спекался при 920°C в течение 1 часа. Эффективная плотность этой наноструктурированной керамики оказалась равной ~ 6,0 г/см³ – за один этап спекания.

Наилучшие характеристики по морфологии и электрическим свойствам пленок, получены при использовании мишени, изготовленной по керамической технологии с добавкой 20% нанопорошка [1]. Пленки получены при следующих технологических параметрах: давление ~ 4 Па; конфигурация расположения мишень-подложка – off-axis, угол между подложкой и мишенью $35^\circ - 45^\circ$; расстояние мишень - подложка – 18 - 20 мм; температура подложки $700^\circ\text{C} - 750^\circ\text{C}$; токи разряда 100 мА - 400 мА; среда распыления Ag/O₂ в соотношениях 1:1-1:2.

На рисунке 1 приведены ПЭМ изображение и Фурье-образ скола структуры Si/SiO₂/YBa₂Cu₃O_{7- δ} . Как видно, просматриваются, монокристаллический кремний с аморфным слоем оксида кремния, затем переходный слой от оксида кремния к нанесенному слою YBa₂Cu₃O_{7- δ} . Монокристаллическая структура кремниевой подложки блокируется аморфным слоем. Тем не менее, осаждаемый слой на поздних стадиях роста, приобретает блочную (нано – и микрокристаллических размеров) кристаллическую структуру, ориентированную различным образом (см. рис. 1а).

На переходном слое (интерфейсе толщиной ~ 10 nm) наблюдается плавный переход осаждаемой пленки от аморфного к нанокристаллическому состоянию (см. рис.1b), после которого сразу растут кристаллиты различных размеров (см. рис. 1а).

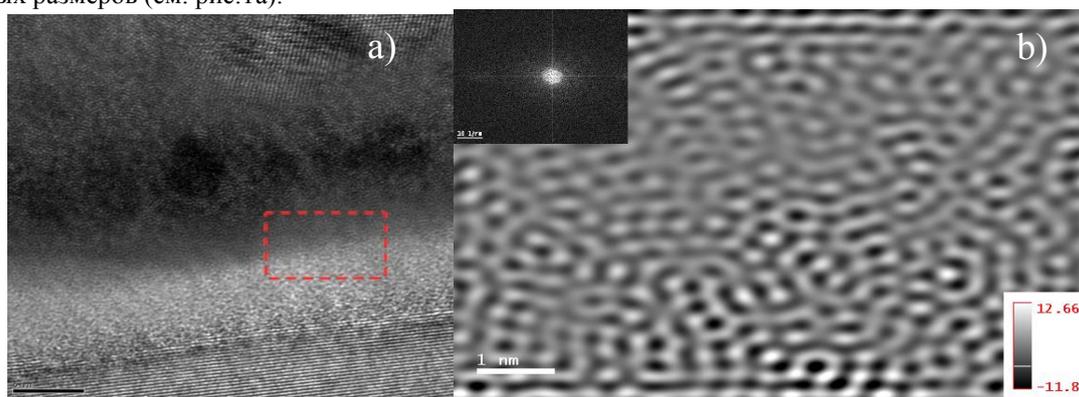


рис. 1. ПЭМ изображение скола структуры Si/SiO₂/YBa₂Cu₃O_{7- δ} и Фурье-образ выделенной области (соответствующая электрограмма на вставка).

Перепад высот составляет 100 нм, средняя шероховатость – 25 нм, а размеры зерен меняются от 50 до 80 нм. На сканах и изображении структуры на сколе Si/SiO₂/YBa₂Cu₃O_{7- δ} (на ПЭМ) наблюдается тенденция возрастания зерен – блоков текстуры по мере удаления от интерфейса. По мере увеличения толщины пленки наблюдаемая на скане неоднородность сглаживается.

На рисунке 2 приведена температурная зависимость электросопротивления пленки, полученной магнетронным распылением мишени при токе разряда 200 мА на кремниевых подложках $\sim 35^\circ$ (при этих углах абсолютные электросопротивления оказывались ниже).

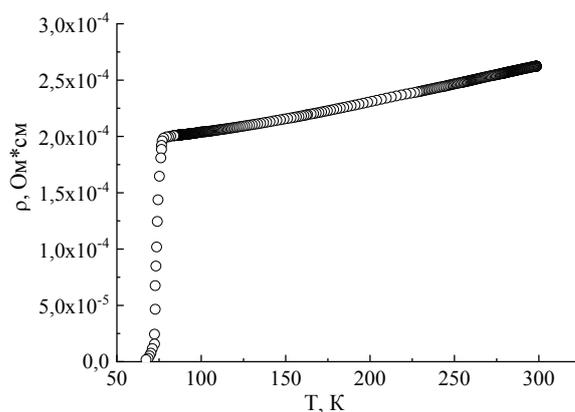


рис. 2. Температурная зависимость электросопротивления пленки YBa₂Cu₃O_{7- δ}

Работа была поддержана Гос. зад. 3.5982.2017/8.9 и грантом РФФИ № 18-08-00092а

Список публикаций:

[1] Гамматаев С.Л., Хашафа А.Х.Д., Палчаев Д.К., и др. // Вестник ДГУ, 2015. Т. 30. Вып. 6, с. 14-20.

[2] Шабанов Н.С., Гаджимогомедов С.Х., Палчаев Д.К. и др. // Патент RU № 2601073, 02.06.2016, Бюл. № от 27.10.2016

[3] Palchayev D. K., Gadzhimagomedov S. Kh., Murlieva Zh. Kh. et al. // Series: Journal of Physics: Conf. Series 941 (2017) 012076.

19 - Физика и экология

Алексеева Арина Олеговна, 1 курс
Новороссийск, Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета, промышленного и гражданского строительства
Расчет ИК-спектров поглощения смеси углеводородов нефти в выбросах из резервуаров
Шеманин Валерий Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: Stas_14@rambler.ru стр. 444

Баландин Кирилл Алексеевич, 1 курс
Новороссийск, Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета, промышленного и гражданского строительства
Численное моделирование лазерного зондирования сероводорода в морской воде
Чартий Павел Валикович, к.ф.-м.н.
e-mail: Stas_14@rambler.ru стр. 445

Веденин Евгений Игоревич, инженер-исследователь
Новороссийск, Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета, промышленного и гражданского строительства
Исследование индустриальных аэрозольных потоков методами лазерного зондирования под различными углами
Шеманин Валерий Геннадьевич, д.ф.-м.н.
e-mail: svetokdojdei@mail.ru стр. 446

Гардт Мария Витальевна, 3 курс
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 стр. 448

Голубева Татьяна Сергеевна, 1 курс
Новороссийск, Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета, промышленного и гражданского строительства
Оценка углового распределения рассеяния излучения лазера на парах стронция в цементном аэрозоле
Половченко Светлана Васильевна, к.т.н.
e-mail: Stas_14@rambler.ru стр. 448

Горбунов Алексей Сергеевич, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Объемная активность радона в воздухе на территории Северного Кавказа
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: 999alesha@mail.ru стр. 449

Дергачева Анастасия Валерьевна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории Новочеркасской ГРЭС
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: anastasyadergacheva@yandex.ru стр. 450

Исаева Екатерина Викторовна, 1 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Анализ нормативной документации в области радиационной безопасности
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: ek.aterinaisaeva@mail.ru стр. 452

Кашаева Елизавета Александровна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 453

Ковалева Алина Андреевна, 1 курс
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 стр. 454

Лихацкий Виталий Витальевич, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Современная гамма спектрометрия в радиэкологии
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: adc-not@bk.ru стр. 455

Ляхова Наталья Викторовна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радионуклиды в атмосферных аэрозолях
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: llia.2013@yandex.ru стр. 457

Мезина Ксения Александровна, инженер-исследователь
Новосибирск, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, лаб. 216
**Сравнительный анализ характера поступления Be-7, Pb-210 и Cs-137 в лишайниках, мхах и хвощах
Арктической и южной зонах Западной Сибири**
Мельгунов Михаил Сергеевич, к.г.-м.н.
e-mail: mezinaka@igm.nsc.ru стр. 458

Михайлова Татьяна Андреевна, аспирант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
**Статистический анализ данных по радионуклидному и элементному составу атмосферы г. Ростова-на-
Дону**
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: tanymisha@mail.ru стр. 459

Назаров Евгений Игоревич, магистрант 2 года обучения
Екатеринбург, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, физико-
технологический институт
Анализ поступления углерода-14 в атмосферу в результате выбросов АЭС Европы
Екидин Алексей Акимович, к.ф.-м.н.
e-mail: e.nazarov1005@gmail.com стр. 460

Огиенко Артём Вадимович, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиационная обстановка на территориях типичных сельских поселений Ростовской области
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: bort123470@gmail.com стр. 461

Пронина Екатерина Вячеславовна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 462

Риттер Илона Викторовна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Содержание ЗН в водоемах Ростова-на-Дону
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: ilona.ritter@mail.ru стр. 463

Сидорина Ульяна Андреевна, 1 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиоэкологические последствия аварии на АЭС Фукусима.
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: ulianasideorina72@gmail.com стр. 464

Топорков Никита Васильевич, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Оценка неопределенности измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: no.egil@ya.ru стр. 466

Халаимова Алика Викторовна, 4 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, биохимической физики
Исследование долгосрочного изменения уровня засветки неба, как экологического фактора
e-mail: halaimovaalika@mail.ru стр. 467

Ширяева Анастасия Андреевна, 2 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Распределение радионуклидов в почвах Адыгеи (Майкопский район)
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
e-mail: anastasia.shiryaeva00@mail.ru стр. 469

Расчет ИК-спектров поглощения смеси углеводородов нефти в выбросах из резервуаров

Алексеева Арина Олеговна

Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского государственного технологического университета

Шеманин Валерий Геннадьевич, д.ф.-м.н.

arina-alekseeva6@mail.ru

При таких технологических процессах как хранение и транспортировка нефти и нефтепродуктов происходит испарение углеводородного сырья. Воздушные выбросы сопровождаются небезопасными условиями труда и эксплуатации оборудования, негативным воздействием на качество окружающей среды и приводят к экономическим убыткам. Последние непосредственно связаны с ресурсосбережением, так как основными компонентами выбросов являются легкие фракции нефти – предельные углеводороды (алканы), которые представляют собой основное сырье для нефтехимических производств. Таким образом, при испарении легких углеводородов понижается качество продукта, повышается температура кипения фракций, понижается октановое число, что сказывается при производстве высококачественного бензина.

Для определения содержания углеводородов в воздушном выбросе из емкости хранения или транспортировки используются расчетные методические указания и рекомендации. Однако не существует способа измерить состав воздушного выброса на месте.

Поэтому целью настоящей работы является расчет и анализ ИК-спектра поглощения смеси углеводородов, соответствующей выбросу из нефтебаз и танкеров.

Зная соотношение концентрации молекул в воздушном выбросе (метан – 6,58%, этан – 19,73%, пропан – 19,98%, изобутан – 24,15%, бутан – 8,77%, гексан – 6,19% и т.д.), можно по измеренной концентрации молекул гексана, рассчитать концентрации другим молекул в смеси. Для подтверждения этого положения была выполнена компьютерная реконструкция ИК спектра поглощения смеси в предположении, что контур описывается функцией Лоренца, определяющей коэффициент поглощения для каждой составляющей ИК спектра смеси молекул:

$$k(\nu) = \frac{S}{\pi} \frac{\sigma}{\sigma^2 + (\nu - \nu_0)^2} \quad (1)$$

где ν_0 – резонансная частота, см^{-1} ; S – интенсивность, $\text{см}^{-1}/(\text{молекула} \cdot \text{см}^{-2})$, σ – ширина полосы, $\text{см}^{-1}/\text{атм}$.

На *Рис. 1* приведен результат численной реконструкции спектра ИК поглощения смеси углеводородов в области частоты от 2800 до 3100 см^{-1} .

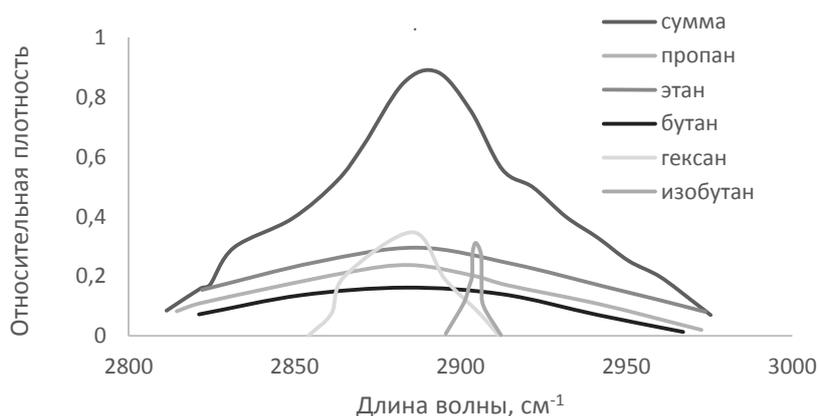


рис.1. Реконструированный спектр ИК поглощения смеси углеводородов

В результате подтверждено, что по максимуму полосы ИК спектра поглощения гексана можно определить концентрацию молекул гексана, а по ней рассчитать концентрацию всех других молекул в этой смеси углеводородов.

Численное моделирование лазерного зондирования сероводорода в морской воде

Баландин Кирилл Алексеевич

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета

Чартий Павел Валикович, к.ф.-м.н.

Kirillb2001@mail.ru

Как известно [1], в Черном море существует обширный слой сероводородной воды, которая расположена на разных глубинах в разных частях моря, от 90 до 150 метров. Уровень сероводородного слоя постоянно пульсирует, то поднимается иногда до уровня 75 м, то снижается. Поэтому возможно повышение концентрации молекул сероводорода в воде и загрязнение ими атмосферного воздуха над морем. Все это представляет серьезную проблему в связи с высокой токсичностью и взрывом сероводорода.

Мониторинг газовых молекул с летающей платформы может стать эффективным способом решения этой проблемы за счет большой площади охвата на поверхности моря или большого измерительного объема в атмосферном пограничном слое и возможности получить больше информации за короткий промежуток времени.

Поэтому целью настоящей работы является разработка лидара комбинационного рассеяния света для зондирования молекул сероводорода в воде и в атмосферном пограничном слое на уровне ПДК и выше с летающей платформы на высотах порядка сотен метров в режиме синхронного счета фотонов.

Оптическая схема такого лидара приведена на рис. 1.

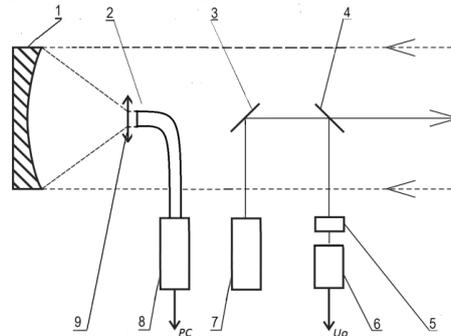


рис.1. Оптическая схема лидара КРС: 1-сферическое зеркало приемного телескопа, 2- волоконный ввод, 3 – глухое зеркало, 4 - стеклянная пластина, 5 - интерференционный светофильтр, 6 – фотоприемник, 7- лазер, 8- микро спектрометр, 9 - линзовый объектив.

Проанализируем зависимость времени измерения от концентрации молекул сероводорода в воде при зондировании с летающей платформы вглубь моря до 100 м. Для этого случая перепишем лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами в воде [2]:

$$n(\lambda, H_a, H_w) = n_0 \cdot K_1 \cdot \Delta H \cdot k_w G(H) f t \cdot S_0 \cdot T_0(\lambda_0, H_a) \cdot T(\lambda, H_a) \cdot N(H_w) \times \\ \times (d\sigma / d\Omega) \cdot T_{0w}(\lambda_0, H_w) \cdot T_w(\lambda, H_w) / 4\pi n_w^2 (H_a + H_w / n_w)^2 \quad (1)$$

где $n(H_a, H_w)$ – число фотонов, зарегистрированное фотодетектором лидара на длине волны комбинационного рассеяния света λ с высоты H_a и из глубины H_w ; ΔH – шаг по глубине от поверхности моря, k_w – двухпроходный коэффициент пропускания границы раздела воздух-вода, K_1 – лидарная константа на длине волны λ , S_0 – площадь приемной апертуры телескопа; $G(H)$ – геометрическая функция лидара, $N(H)$ – концентрация исследуемых молекул, t – время измерения, два сомножителя – пропускание атмосферы – равны соответственно [5]:

$$T_0(\lambda_L, H) = \exp\left[-\int_0^H \alpha(\lambda_L, z) dz\right] \quad \text{и} \quad T(\lambda, H) = \exp\left[-\int_0^H \alpha(\lambda, z) dz\right]$$

где $\alpha(\lambda_L, z)$ и $\alpha(\lambda, z)$ – коэффициенты ослабления на частотах лазерного излучения и комбинационного рассеяния света молекулами сероводорода, $(d\sigma/d\Omega)$ – дифференциальное сечение КРС исследуемыми молекулами.

Результаты расчетов по уравнению (1) для зондирования молекул сероводорода с концентрацией до 10^{15} см⁻³ для пяти значений глубины зондирования в воде на длине волны лазерного излучения 532 нм представлена на Рис. 2. Этот результат свидетельствует о невозможности зондирования молекул сероводорода с концентрациями менее 10^{13} см⁻³ на длине волны лазерного излучения 532 нм на глубинах более 80 м.

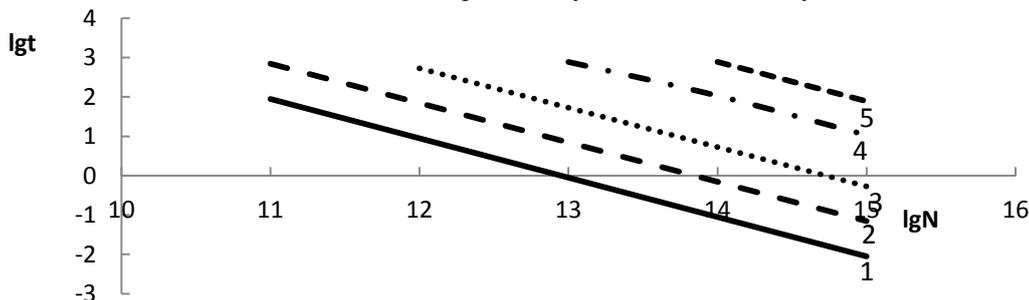


рис. 2. Графики рассчитанной по уравнению (3) логарифмической зависимости времени измерения t (в с) от логарифма концентрации молекул сероводорода N (в см⁻³) для пяти значений глубин H_w 10 (1), 30 (2), 50 (3), 80 (4), 100 (5) м и длины волны лазерного излучения 532 нм при зондировании с летающей платформы на высоте 100 м над уровнем моря

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что время измерения для уровня концентрации исследуемых молекул сероводорода 10^{15} см⁻³ на длине волны лазерного излучения 532 нм, высоты полета платформы в диапазоне до 500 м и глубины зондирования в толщу воды до 100 м достигает 2030 с для такого варианта лидара комбинационного рассеяния света. Поэтому можно вести речь о регистрации таким лидаром с летающей платформы за разумные времена концентрации исследуемых молекул сероводорода на уровне ПДК с высоты 100 м. Следовательно, можно будет зондировать молекулы сероводорода в воде с концентрациями на уровне ПДК и выше с высоты до 100 м.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными [2] и отражают различие в уровнях ПДК исследованных молекул углеводородов [3], а разработка новых вариантов лидаров открывает потенциальные возможности для дистанционного зондирования низких концентраций молекул сероводорода в воде с летающей платформы.

Работа была частично поддержана в рамках Основной части Гос. задания Министерства образования и науки РФ № 5.7721.2017/БЧ

Список публикаций:

[1] <http://syvpressa.ru/society/article/155858/?cbit=1> Иванов А. Из Черного моря уходит жизнь 06.09.2016.

[2] Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир.1987. 550 с.

[3] Привалов В. Е. и др. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Лань, 2013. 288 с.

Исследование промышленных аэрозольных потоков методами лазерного зондирования под различными углами

Веденин Евгений Игоревич

Новороссийский политехнический институт филиал КубГТУ

Шеманин Валерий Геннадьевич, д.ф.-м.н.

svetokdojdei@mail.ru

Одним из основных параметров аэрозольных потоков, которым управляют в реальном производстве, является распределение частиц по размерам или дисперсный состав.

Числовым параметром, характеризующим функцию распределения частиц по размерам, является средний объемно-поверхностный размер частиц - диаметр d_{32} , который хорошо коррелирует с другими средними параметрами распределения, такими как, средний геометрический диаметр и стандартное геометрическое отклонение логарифмически нормального распределения [1, 2].

Этот же параметр измеряется по дифференциальному поглощению, как и ранее, что позволяет восстанавливать функцию распределения частиц по размерам с достаточной степенью точности. Лидарный сигнал рассеяния Ми частицами аэрозоля так же будет зависеть от этой функции. Поэтому в работе выполнено исследование зависимости сигнала аэрозольного лидара от диаметра d_{32} частиц цементного аэрозоля. Функция распределения размера частиц правильно описывается функцией логарифмически нормального распределения.

Для решения задачи восстановления функции распределения частиц по размерам разработана экспериментальная лазерная установка на основе лидара (рис. 1). Сигнал аэрозольного лидара в направлении назад из измерительного объема, сформированного лабораторным генератором частиц цементного аэрозоля в воздушном потоке, регистрировался приемным телескопом типа Ньютона 12 диаметром 120 мм и через волоконный ввод 13 подавался на вход микро спектрометра 14 типа FSD-8, работающего под управлением ПК 15. В лабораторном лидаре в качестве излучателя использовался YAG-Nd лазер 16, работающий на второй гармонике с длиной волны 532 нм в непрерывном режиме с мощностью до 0,2 Вт.

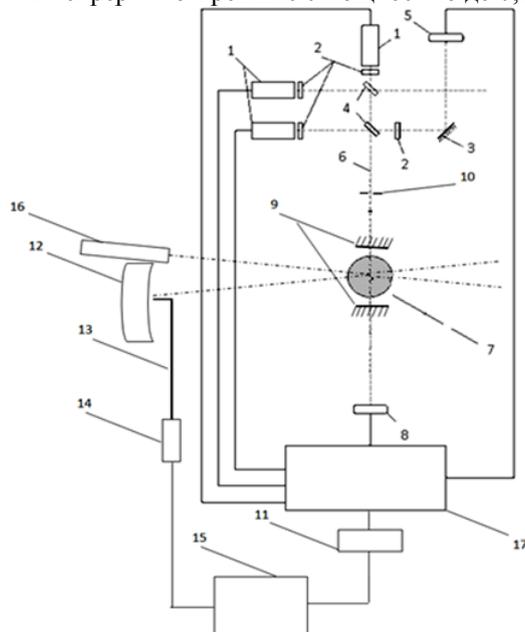


рис.1. Схема экспериментальной установки

1 – лазеры 650, 1064, 405 нм; 2 – светофильтры; 3 – зеркало;
4 – светоделительные стекла; 5 – опорный фотоприемник; 6 – лазерный пучок; 7 – аэрозольный поток; 8 – фотоприемник ослабленного излучения; 9 – система зеркал; 10 – пластинка с отверстием; 11 – АЦП; 12 – телескоп; 13 – световод; 14 – спектрометр; 15 – ПК; 16 – лазер 532 нм; 17 – блок формирования, регистрации и обработки сигнала

Через воздушный поток, сформированный на выходе газохода, пропускались четыре лазерных луча, один на 532 нм – лидара и три луча на 405, 650 и 133 1064 нм в схеме дифференциального ослабления направлялись на один фотоприемник 8 со своей схемой обработки сигнала. Калибровка всей установки была выполнена в лабораторных условиях на расстояниях до 2 м. Результаты лабораторных измерений позволили определить по известным оптическим константам и заданной геометрии мощность сигнала лидара на длине волны 532 нм, приходящуюся на единицу размера частиц около d_{32} диаметра, которое равно $(6,7 \pm 1,6)$ Вт/м.

Проверка этих данных была выполнена численным решением лидарного уравнение для упругого рассеяния Ми для частиц цементного аэрозоля, в котором коэффициент рассеяния был представлен как линейная функция диаметра частиц d_{32} . Результаты моделирования для реальных цементных частиц дали значение мощности сигнала лидара, приходящуюся на единицу размера частиц около d_{32} диаметра, равно $(5,6 \pm 0,9)$ Вт/м. Результат моделирования подтверждает результаты экспериментов с хорошей точностью [3].

Таким образом, была создана лабораторная установка для одновременного измерения спектрального коэффициента пропускания лазерного излучения на трех длинах волн и мощности рассеяния Ми в направлении на длине волны 532 нм. Решение этой задачи дает возможность восстановить реальную функцию распределения частиц по размерам.

Список публикаций:

- [1] Ведин Е.И. Изменение функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования [Текст] / Е.И. Ведин, С.В. Половченко, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин // Безопасность в техносфере – 2016 - № 1(58) январь-февраль. – с.41-47.
[2] Ведин Е.И. Лазерный контроль среднего объемно-поверхностного диаметра частиц для оценки параметров аэрозольного загрязнения атмосферы [Текст] / Е.И. Ведин, В.В. Дьяченко, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин // Безопасность в техносфере – 2017 - № 6(69) ноябрь-декабрь. – с.3-11.
[3] Ведин Е.И., Половченко С.В., Сарычев И.А., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Зависимость сигнала аэрозольного лидара от размеров частиц // Двадцать шестая международная научная конференция Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии транспорте. Труды конференции. 2018. С.132-133.

Изучение влияния трития на биолюминесцентную реакцию бактериальной люциферазы

Гардт Мария Витальевна
Сибирский федеральный университет
gardt1998@list.ru

Повышенный радиационный фон оказывает воздействие на живые организмы. В частности, тритий в виде тритиевой воды обладает высокой проникающей способностью. Так как энергия бета-частиц мала, тритий является удобным объектом для изучения защитных реакций организма в условиях низких и средних доз облучения.

Свечение морских люминесцентных бактерий и их ферментативных систем чрезвычайно чувствительно к присутствию токсичных соединений, поэтому они являются универсальными биотестами и характеризуются высокой скоростью анализа (1-5 мин), чувствительностью, воспроизводимостью результатов, а также возможностью приборной регистрации и количественной оценки токсичности.

Ранее было исследовано низкодозовое (<0,1 Грей) воздействие трития (в составе тритиевой воды, НТО) на биолюминесценцию морских бактерий и сопряженной системы реакций, катализируемых бактериальными ферментами [1]. Показано, что воздействие трития на эти системы соответствует модели радиационного горемезиса, т.е. тритий может как активировать, так и ингибировать эти системы. Целью работы является изучение влияния трития на простейшую биолюминесцентную систему - реакцию бактериальной люциферазы, и сравнение с более сложными биолюминесцентными системами.

Измерения биолюминесценции проводили для 10 радиоактивностей НТО (<200 Мбк/л), спектры биолюминесценции регистрировали методом остановленного потока. Выявлена активация биолюминесценции в реакции бактериальной люциферазы, не превышающая 20%, в отличие от биферментной системы (до 250%) и клеток морских бактерий (до 60%). Не наблюдали ингибирования биолюминесценции бактериальной люциферазы, в то время как биферментная система подавлялась при радиоактивностях трития, больших 10 Мбк/л. Не наблюдали зависимости эффекта трития от времени инкубирования НТО с ферментом люциферазой. Таким образом, простейшая биолюминесцентная реакция оказалась менее чувствительна к низкодозовому воздействию трития, чем сопряженная система ферментативных реакций и бактериальные клетки.

Список публикаций:

[1] *M.A. Selivanova, O.A. Mogilnaya, G.A. Badun, G.A. Vydryakova, A.M. Kuznetsov, N.S. Kudryasheva. Effect of tritium on luminous marine bacteria and enzyme reactions. Journal of Environmental Radioactivity, 2013, V.130. - P. 19-25.*

Оценка углового распределения рассеяния излучения лазера на парах стронция в цементном аэрозоле

Голубева Татьяна Сергеевна
Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ
Половченко Светлана Васильевна, к.т.н.
Golubeva.t2000@mail.ru

Аэрозольные потоки широко используются в промышленности и играют большую роль в жизни человека, так как влияют на окружающую среду, в связи с этим необходимо проанализировать состояние и развитие различных потоков. Для исследования параметров аэрозолей существует множество приборов, но они, в большинстве случаев, основаны на принципах отбора проб и не могут отражать истинные характеристики объектов исследования. Поэтому для исследования, разумно, использовать лазерные методы.

Одним из наиболее популярных методов измерения частиц является метод интегрального светорассеяния, основанный на измерении углового распределения интенсивности рассеяния света при прохождении через дисперсную среду. Наиболее важной преградой для использования такого метода определения характеристик микроструктуры является неоднозначность результаты определения спектра размеров частиц. Это проявляется в том, что одним и тем же измерениям, для которых характерны незначительные погрешности, могут соответствовать существенно разным распределениям частиц по размерам.

В данной работе исследованы зависимости углового распределения рассеянного излучения от длины волны и размеров частиц цементного аэрозоля на основе метода интегрального светорассеяния. Для моделирования углового распределения были использованы характеристики лазерной установки, разработанной учеными города Томска, работающей на парах стронция с 11 длинами волн, которые

охватывают очень широкий диапазон (от 0,4 до 6,45 мкм). На основе теории рассеяния Ми рассчитаны элементы матрицы Стокса в диапазоне углов рассеяния от 0 до 180 градусов. При этом были учтены спектры размеров аэрозольных частиц, образующихся в технологических процессах, и их трансформация в результате аэродинамической классификации в пылегазоочистном оборудовании (ПГО). Были построены индикатрисы рассеяния лазерного излучения выбранных длин волн и найдены углы рассеяния, наиболее чувствительные к изменению спектров размеров частиц, выбрасываемых в атмосферу. На основе инвариантов спектров размеров частиц показана возможность их реконструкции по результатам измерения рассеянного лазерного излучения.

На *рис.1* представлена зависимость индикатрисы рассеяния от угла зондирования θ при различных комплексных показателях преломления $m = \nu - i\chi$ при фиксированной длине волны $\lambda=0,6$ мкм для аэрозоля с модальным радиусом $r_0=2$ мкм. Наиболее чувствительным к изменениям вещественной части комплексного показателя преломления является диапазон углов от 90^0 до 180^0 .

Зависимости, полученные в данной работе, позволяют выявлять углы зондирования, которые чутко реагируют на изменения длины волны, комплексного показателя преломления, размеры частиц индустриального аэрозоля и, напротив, наименее чувствительные участки углов.

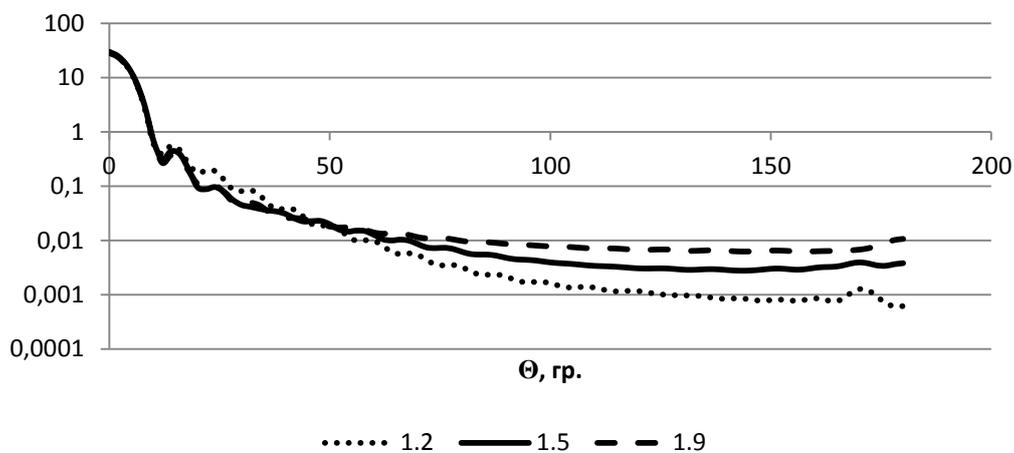


рис. 1. Индикатриса рассеяния при различных значениях вещественной части комплексного показателя преломления ($\nu = 1,2; 1,5; 1,9$).

Таким образом, получены исходные параметры для построения аэрозольного лидара для решения задач промышленности.

Объемная активность радона в воздухе на территории Северного Кавказа

Горбунов Алексей Сергеевич

Дергачева Анастасия Валерьевна, Машаров Кирилл Сергеевич, Михайлова Татьяна Андреевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

999alesha@mail.ru

Радон – это инертный газ без цвета и запаха, входит в состав радиоактивных рядов ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th . В природе встречаются четыре изотопа радона ^{218}Rn , ^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn . Наиболее долгоживущем из них является ^{222}Rn , его период полураспада составляет 3,8 суток. В приземный слой воздуха изотопы радона поступают из почвы (эманирование радона). При попадании из воздуха в лёгкие человека альфа-частицы, образовавшиеся при распаде радона, действуют на биологическую ткань, что может привести к развитию рака легких и иных заболеваний.

Для оценки вклада от природных источников в дозу облучения населения в различных регионах Юга Европейской части России были выбраны модельные площадки, расположенные на различных высотах над уровнем моря. Исследования проводились на равнинных, степных территориях Ростовской области и в горных районах Республик Адыгея, Северная Осетия-Алания и Кабардино-Балкария.

Объемную активность радона (^{222}Rn) в воздухе измеряли при помощи радиометра радона РРА-01М-03. Радиометр радона РРА-01М-03 предназначен для измерений объемной активности ^{222}Rn и ^{220}Rn в воздухе жилых и рабочих помещений, а также на открытом воздухе.

Объемная активность радона в воздухе на открытой местности зависит от множества факторов. В первую очередь, на эманацию радона в воздухе влияет геологическое строение территории – содержание урана в породах, наличие радиоактивной минерализации, определяемая разломной тектоникой и развитием экзогенных процессов, проницаемость пород.

Климатические условия региона (температура воздуха, скорость ветра, наличие осадков и пр.) могут способствовать изменению объемной активности радона не только в течение года, но и в течение одного дня. На некоторых территориях существенное значение имеют техногенные источники поступления радона – при сжигании угля, как на предприятиях топливной энергетики, так и населением при отоплении частных домов [1, 2].

Местоположение	Минимум	Максимум	Среднее	Погрешность
Ростовская область	10.0	189.2	64.4	10.1
Республика Адыгея	14.0	111.0	49.6	5.0
Республика Северная Осетия и Алания	15.0	123.0	54.9	7.0
Республика Кабардино-Балкария	6.0	25.0	17.2	0.8

В Ростовской области модельные площадки расположены в районе региональных глубинных разломов земной коры (Цимлянский, Дубовский районы), что способствует повышенной эманации радона с поверхности почвы. Распространенные в данных районах темнокаштановые почвы отличаются довольно высоким содержанием естественных радионуклидов, в частности ^{226}Ra (до 40 Бк/кг [3], что усиливает эманацию радона с поверхности почвы. Также, в некоторых населенных пунктах Ростовской области до сих пор использует уголь при отоплении частных домов, что вносит дополнительный вклад в объемную активность радона в воздухе на территории исследования.

На остальных модельных площадках, расположенных на северном склоне Большого Кавказа, наряду с геологическим строением, важнейшую роль играет ветровой режим: этот фактор определяет наиболее низкие значения на высокогорных площадках в Кабардино-Балкарии и на площадке в Адыгее, значительная часть которой относится к участку долины р. Белая, образующему каньон в гранитоидном массиве. При этом гранитоидные породы характеризуются довольно высокими значениями удельной активности ^{226}Ra (~30-110 Бк/кг), изменяющимися в зависимости от вариаций исходного минерального состава и метасоматической переработки [3;4].

В целом, можно отметить, что объемная активность радона сильно варьируется в зависимости от геологического строения региона. Полученные результаты согласуются с литературными данными, несмотря на зависимость объемной активности радона от климатических условий.

Список публикаций:

- [1] Berezinsky N.A. et al//. Influence of earthquake preparation processes on radon concentration and electrical conductivity of the surface atmosphere. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2011. 2, 14 – 21.
 [2] Serdukova A.S., Captanov Yu. T.//: Atomizdat. 1969. P. 312.
 [3] Avetisyan S.R. et al//. Certificate of state registration of Database № 2015621659 RF /; Applicant and copyright holder Southern Federal University (RU) - Application No. 2015621210; Claimed. 01.10.15; Date of state Reg. 18.11.15.
 [4] Popov Yu.V. et al// Successes of modern natural science. 2014. 9, 2, 115 – 119.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории Новочеркасской ГРЭС, Ростовская область

Дергачева Анастасия Валерьевна

Горбунов Алексей Сергеевич, Топорков Никита Васильевич, Михайлова Татьяна Андреевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

anastasyadergacheva@yandex.ru

Новочеркасск – один из самых экологически неблагоприятных городов на территории не только Ростовской области, но и всего Северного Кавказа. Это обуславливается тем, что в черте города и на прилегающих к нему территориях расположено множество предприятий. Наибольший интерес вызывает предприятие топливной энергетики ГРЭС, работающая на угле и газе. При сжигании органического топлива в атмосферу поступает большое количество продуктов горения, в том числе радионуклидов. Затем они выбрасываются в атмосферу в виде летучей золы, которая остается на почве, растениях и т.д в результате сухих и мокрых выпадений [1]. В итоге, предприятия, работающие на угле, могут являться одним из источников повышенного радиационного фона.

В работе использованы данные радиоэкологических экспедиций 2012-2016 годов в регионе Новочеркасской ГРЭС.

Контрольные участки закладывались вокруг Новочеркасской ГРЭС на различном расстоянии. На всех контрольных участках перед отбором почвенных образцов измеряли мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) дозиметрами радиометрами СРП-88н, ДРБП-03 и ДКС-96 с блоком детектирования БДКС-96с.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения является одним из параметров, характеризующих радиоактивность природных и техногенных экосистем. Согласно Нормам радиационной безопасности Российской Федерации [2] гамма-фон на территориях не должен превышать 0,3 мкЗв/ч.

Ниже представлены результаты определения МЭД гамма-излучения на контрольных участках природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС.

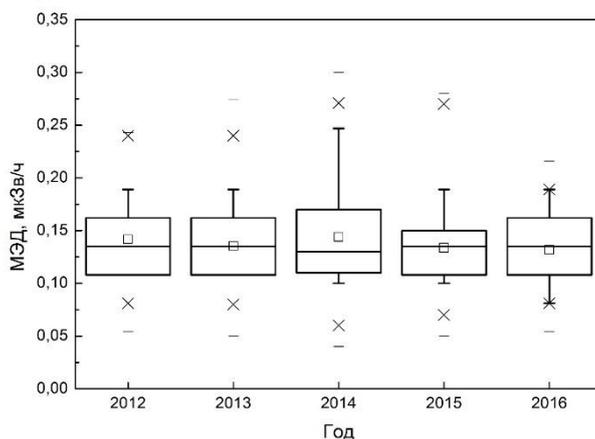


рис. 1. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на контрольных участках территории Новочеркасской ГРЭС

Гамма-фон на территориях, в основном, обусловлен излучением от радионуклидов, содержащихся в почве (таких как, естественные радионуклиды рядов ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , искусственный ^{137}Cs), плотностью потока радона с поверхности почвы и космическим излучением (в том числе и от солнечной радиации). Распределение МЭД гамма-излучения в регионе исследования варьирует в достаточно широких пределах (Рис. 1), что характерно для Ростовской области [3] и согласуется с литературными данными (0,1–0,2 мкЗв/ч) [4,5].

Таким образом, в связи с тем, что Новочеркасск находится в зоне риска повышения концентраций отравляющих веществ, необходимы периодическое отслеживание работы загрязняющих предприятий и проведение мониторинга территории города и заводов.

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] СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г.Г. Онищенко от 7 июля 2009 г. №47 с 01 сентября 2009г.
- [3] Features of ^{137}Cs distribution and dynamics in the main soils of the steppe zone in the southern European Russia / E.A. Buraeva et al. // *Geoderma*. 2015. V. 259-260. P. 259-270.
- [4] Studies on natural radioactivity of soil in Xiazhuang uranium ore field, Guangdong, China / W.X. Wang et al. // *Environmental Science*. 2005. V. 25. P. 120–123.
- [5] Natural radioactivity levels in topsoil from the Pearl River Delta Zone, Guangdong, China / G. Song et al. // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2012. V. 103. P. 48-53.

Анализ нормативной документации в области радиационной безопасности

Исаева Екатерина Викторовна
Южный федеральный университет
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
ek.aterinaisaeva@mail.ru

В области радиационной безопасности человека и окружающей среды важен контроль. В Российской Федерации контроль проводится через Федеральные Законы, ГОСТы, СанПины, разнообразные методики и инструкции к приборам.

Работа посвящена анализу нормативно-технической документации в области радиационного контроля (РК) и радиационной безопасности человека и окружающей среды. В Российской Федерации основными нормативными документами в области радиационной безопасности являются Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009 [1]) и Основные санитарные правила по обеспечению радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010 [2]). Одни из первых НРБ были введены в действие в 1987 году (НРБ-76/87 [3]).

С каждым новым изданием НРБ уточняются некоторые данные о воздействии ионизирующего излучения (ИИ) на организм человека, накапливается опыт по осуществлению РК. Часть «Основные понятия и термины» хорошо отражает этот процесс. Так, например, НРБ-76/87 имеет такое определение как «Активность А радионуклида в источнике». В НРБ-96 [4] этот термин был только переименован – «Активность». Но начиная с НРБ-99[5] это понятие получило расширение и было разделено на пять различных определений. От освещения общеизвестных определений в более новых изданиях НРБ отказались. Так, например, «Зиверт» и «Бэр», ранее упомянутые в НРБ-76/87 в последующих изданиях отсутствуют в части «Основные понятия и термины».

Часть «Ограничение природного излучение» отсутствует в НРБ-76/87. Зато в последующих переизданиях НРБ эта часть постоянно перетерпевает различные изменения.

Ограничение	НРБ-96	НРБ-99	НРБ-99/2009
Суммарная альфа- и бета-активности	$\leq 0,2$ мЗв/год	$\leq 0,1$ мЗв/год	$\leq 0,1$ мЗв/год
Удельная активность природных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах	$A_u + 1,2A_{Th} \leq 2,8$ кБк/кг	$A_u + 1,5A_{Th} \leq 4,0$ кБк/кг	$A_u + 1,5A_{Th} \leq 1,0$ кБк/кг

Часть «Ограничение медицинского облучения» не получала каких-либо масштабных изменений с 1987 по 1999. Но в НРБ-99/2009 получила широкое дополнение имеющихся пунктов и включение новых. Например, были введены ограничения по облучению женщин детородного возраста и детей младшего возраста. Так, НРБ-99/2009 предписывает определить является ли женщина беременной или кормящей матерью, а также в обязательном порядке проинформировать пациентов о радиационном риске.

Таким образом, накопленный опыт по реализации РК и проведению профилактических мероприятий в соответствующих учреждениях и во внешней среде, а также новые исследования и полученные данные постоянно вносят свои коррективы в нормативно-техническую документацию в области РК и РБ человека и окружающей среды.

Список публикаций:

- [1] НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 225 с.
- [2] ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 82 с.
- [3] НРБ-76/87. Нормы радиационной безопасности (НРБ-76/87): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 1987. – 79 с.
- [4] НРБ-96. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 1996. – 126 с.
- [5] НРБ-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. - 116 с.

Статистическая обработка и анализ данных элементного состава атмосферных аэрозолей

Кацаева Елизавета Александровна
Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
lizakashaeva1997@gmail.com

В исследовании приземного слоя атмосферы большой интерес вызывает изучение структуры физико-химических свойств и источников атмосферных аэрозолей. Однако положение аэрозолей в экосистеме всё ещё преуменьшено. Атмосферные аэрозоли выбрасываются из природных и антропогенных источников. Вклад от природных источников, в отличие от антропогенных, значительно варьируется во времени (годовая и сезонная изменчивость) и зависит от расстояния до источника.

В данной работе представлен количественный анализ и определение возможных источников поступления поллютантов в приземный слой атмосферы.

Модельной площадкой был выбран г. Ростов-на-Дону, находящийся в степной зоне с умеренно-континентальным климатом [1]. Пробы атмосферных аэрозолей отбирались на фильтры из ткани Петрянова ФПП-15-1.7 общей площадью 0,56 м² на аспирационной станции Лаборатории ядерной физики НИИ физики Южного федерального университета в 2000-2009 г. в рамках комплексного исследования приземного слоя атмосферы в юго-восточной части г. Ростова-на-Дону. Химический состав 90 исследуемых образцов определялся с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра на основе полного внешнего отражения РФС-001. В результате измерений и статистической обработки результатов для химического состава поллютантов были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Статистика химического состава поллютантов

	K	Ca	Sc	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Pb
Среднее	6,9	46,0	1,1	0,5	27,4	0,2	0,9	0,4	1,3	0,1	0,8
Стандартная ошибка	0,3	1,5	0,1	0,0	1,8	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1
Медиана	7,3	48,3	1,1	0,6	24,8	0,2	0,6	0,3	1,3	0,0	0,8
Мода	0,0	40,3	0,0	0,0	17,9	0,0	1,3	0,0	0,9	0,0	0,0
Стандартное отклонение	3,2	13,9	1,2	0,3	16,9	0,2	1,7	0,6	0,5	0,2	0,9
Дисперсия выборки	10,3	192,6	1,4	0,1	284,5	0,0	2,9	0,4	0,3	0,0	0,8
Эксцесс	0,4	1,8	53,7	0,1	5,7	-1,6	28,2	61,7	2,4	7,2	0,7
Асимметричность	-0,3	-1,1	6,4	-0,8	2,0	0,1	5,2	7,3	0,5	2,0	1,0
Интервал	15,4	72,4	11,0	1,1	85,5	0,5	11,1	5,9	3,4	1,2	3,9
Минимум	0,0	1,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Максимум	15,4	73,5	11,0	1,1	85,9	0,5	11,1	5,9	3,4	1,2	3,9
Сумма	619,0	4140,3	98,8	47,4	2462,3	16,3	81,6	34,0	116,0	13,0	72,4
Уровень надежности(95,0%)	0,7	2,9	0,3	0,1	3,5	0,0	0,4	0,1	0,1	0,0	0,2

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Пирсона

Элемент	K	Ca	Mn	Fe	Sr	Pb	Cu	Zn	S
K	1,00								
Ca	0,62	1,00							
Mn	0,70	0,66	1,00						
Fe	0,63	0,77	0,76	1,00					
Sr	0,07	0,26	0,11	0,05	1,00				
Pb	0,37	0,31	0,44	0,34	0,10	1,00			
Cu	0,02	0,30	-0,04	0,39	-0,08	-0,02	1,00		
Zn	0,59	0,46	0,67	0,53	0,11	0,63	-0,06	1,00	
S	0,29	0,13	0,16	0,15	-0,07	0,23	-0,08	0,45	1,00

Вариации концентраций литогенных (естественных) элементов определяются их содержанием в почве исследуемой территории. Поэтому исходя из геохимического состава почвы и критерия большей величины концентрации в пробах атмосферных аэрозолей предположительно можно выделить группу естественных

почвенных (K, Ca, Fe, S, Mn) и антропогенных (Zn, Pb, Sc, Co, Sr) элементов. Элементы этих групп должны вести себя похожим образом, что может указывать на их общий источник поступления. Для более подробного изучения схожести поведения некоторых элементов были посчитаны коэффициенты корреляции Пирсона.

По полученным коэффициентам возможно отследить сложное поведение некоторых элементов, таких как Ca, Fe и Mn. Можно утверждать, что они могут иметь природное происхождение, вклад в содержание которого вносят и антропогенные факторы. У Zn самые большие коэффициенты корреляции наблюдаются с Pb и Mn, которые входят в антропогенную группу. С калием тоже связана некоторая неоднозначность, так как по данным анализа он коррелирует как с чисто антропогенными элементами (Zn), так и с элементами смешанного происхождения (Ca, Fe, Mn).

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (проект №3.6439.2017/8.9, по ЮФУ №БЧ0110-11/2017-36) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

Список публикаций:

[1] Кобышева Н. В. *Климат России* / Н. В. Кобышева [и др.]. – СПб: Гидрометеоиздат, 2001 – 645 с

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

Ковалева Алина Андреевна

Новороссийский политехнический институт (филиал) КубГТУ

Чартий Павел Валикович, к.ф.-м.н.

kovalevaalina2000@mail.ru

Прочность бетонных изделий и сроки ее увеличения в значительной степени зависят от тонкости помола цемента. Завершающим этапом производства цемента является его измельчение, которое разделяется на 3 стадии. На первой стадии используют щековые или конусные дробилки, на второй и третьей стадиях — ударные дробилки. При измельчении цемента происходит наибольший выброс аэродисперсных потоков за время производства цемента. Поэтому после технологических процессов аэродисперсные потоки поступают в атмосферу, чем приводят к её загрязнению. Для предотвращения загрязнения аэродисперсные потоки проходят очистку в пылегазоочистном оборудовании, но для полной очистки воздуха этого недостаточно.

Таким образом, в связи с решением задач влияния деятельности промышленных предприятий на состояние окружающей среды, контроля технологических стадий производства необходимо проводить анализ состояния и развития разнообразных аэродисперсных потоков. И в случае несоответствия выполнить необходимые действия для нормализации. Сложная пространственная структура подобных потоков затрудняет получение данных об оптических характеристиках аэрозоля обычными контактными методами. Поэтому для их исследования рационально использовать лазерные методы, в частности, метод спектральной прозрачности.

Но существенным препятствием применения данных методов является неоднозначность результатов определения спектра размеров частиц. Так, одни и те же измерения с незначительной погрешностью могут составлять различные распределения частиц по размерам. Что может привлечь дополнительную недостоверную информацию о результатах измерений или о функции распределения частиц по размерам.

Целью данной работы является анализ зависимости фактора эффективности ослабленного излучения от длины волны, размеров частиц. Что поможет управлять тонкостью помола с максимально возможной оперативностью за счет контроля продуктов помола в реальном времени, обеспечивать минимизацию выхода некачественного продукта. Для моделирования рассматриваемой зависимости были использованы длины волн в диапазоне от 0,4 до 6,45 мкм, характерные для лазера на парах стронция.

Применение метода спектральной прозрачности возможно в области до первого максимума функции Q , т.е. где зависимость фактора эффективности ослабления наиболее сильно выражена от длины волны λ .

Отношение экспериментально измеренных оптических толщ на двух длинах волн равно отношению усредненных факторов эффективности ослабления и представляет собой функцию среднего размера частиц:

$$\frac{\tau_{\lambda_i}}{\tau_{\lambda_j}} = \frac{\bar{Q}(\delta_{32}, \lambda_i, m)}{\bar{Q}(\delta_{32}, \lambda_j, m)} = F_{ij}(\delta_{32}) \quad (1)$$

Усредненный фактор эффективности ослабления и объемно-поверхностный диаметр определяются по формулам:

$$\bar{Q}(\delta, \lambda, m) = \frac{\int_0^{\infty} Q(\delta, \lambda, m) \delta^2 f(\delta) d\delta}{\int_0^{\infty} \delta^2 f(\delta) d\delta} \quad (2)$$

$$\delta_{32} = \frac{\int_0^{\infty} \delta^3 f(\delta) d\delta}{\int_0^{\infty} \delta^2 f(\delta) d\delta} \quad (3)$$

где δ – диаметр частиц, $f(\delta)$ – дифференциальная функция распределения частиц по размерам.

Графики зависимости отношений усредненных факторов эффективности $\frac{\bar{Q}(\lambda_i)}{\bar{Q}(\lambda_j)}$ от δ_{32} для трех длин волн приведены на рис. 1.

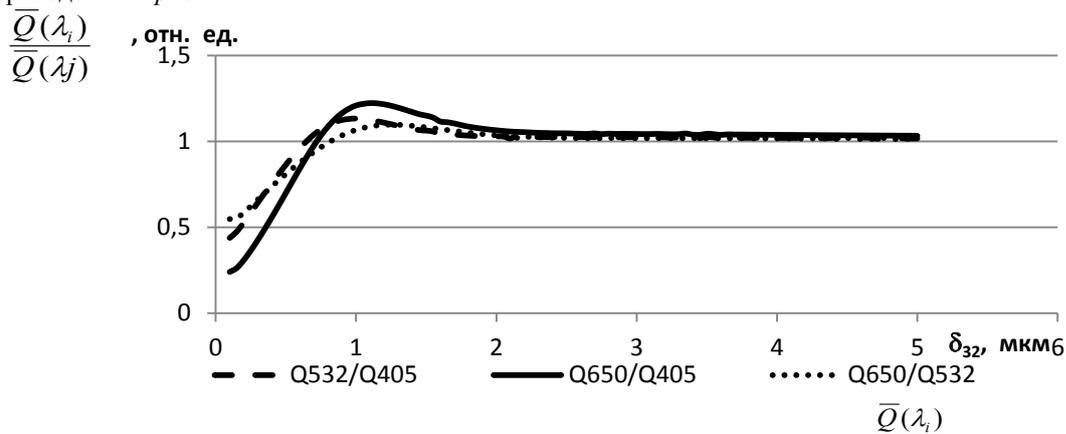


рис.1 График зависимости отношения усредненных факторов эффективности $\frac{\bar{Q}(\lambda_i)}{\bar{Q}(\lambda_j)}$ от среднего объемно-поверхностного диаметра δ_{32} для трех длин волн.

Таким образом, для решения задач влияния деятельности промышленных предприятий на окружающую среду и для оперативного контроля тонкости помола эффективнее всего использовать метод спектральной прозрачности для аэрозоля размером частиц до 1,5 мкм.

Список публикаций:

- [1] Архипов В. А. Лазерные методы диагностики гетерогенных потоков. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1987. - 140 с.
- [2] Половченко С. В., Шеманин В. Г., Чартий П. В. Восстановление функции распределения модифицированным методом спектральной прозрачности // АИИПР, Сб. докладов 22 международной конференции «Лазеры. Изменения. Информация 2012». Том 1. С.-Пб. Изд. Политех. ун-та. 2012. С. 313-321.

Современная гамма спектрометрия в радиоэкологии

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

Одной из важнейших задач радиоэкологии является проблема определения радионуклидного состава объектов окружающей среды. В процессе распада радионуклидов их ядра излучают гамма кванты, энергия которых для каждого элемента строго определена. Эту особенность применяют для определения радиоактивного состава вещества по гамма-спектрам. Для этих целей используют специальное оборудование – гамма-спектрометры.

В данной работе рассмотрены современные детекторы для гамма-спектрометрии. Наиболее широкое применение получили сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы, благодаря высокой плотности рабочей среды. В 80-х годах из полупроводниковых детекторов лучшим по своим свойствам считался Ge(Li). Однако он имел существенные недостатки – хранение и использование такого детектора требовало его

охлаждение до температуры жидкого азота [1]. В современности ему на смену пришли ОЧГ детекторы. Их можно хранить без охлаждения, а жидкий азот заменили на элементы Пельтье. Касательно сцинтилляционных детекторов достойной замены NaI(Tl) до сих пор не найдено.

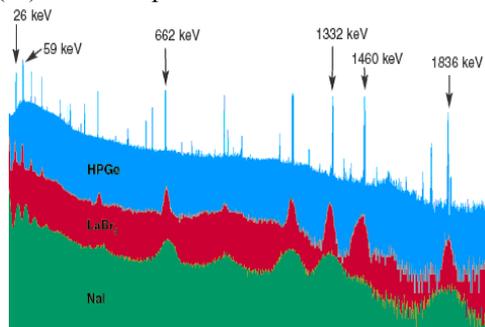


рис.1. Сравнение спектров измеренных с Ge, LaBr₃(Ce) и NaI(Tl) детекторами [2]

В последнее время всё большее внимание уделяется поиску новых сцинтилляционных и полупроводниковых материалов применимых в спектрометрии гамма-излучения. Широко применяемые в радиоэкологических исследованиях ОЧГ детекторы [3,4] обладают высоким энергетическим разрешением (в среднем около 1 КэВ для энергии квантов в 122 кэВ), высокую эффективность регистрации (до 100%), широкий диапазон регистрируемых энергий (от 10 кэВ до 10 МэВ) [5], но для работы требует охлаждения жидким азотом и кроме этого дорог в производстве. NaI(Tl) обладает низкой собственной радиоактивностью, высокой эффективностью регистрации (100%), низкой себестоимостью, но дает не слишком высокое энергетическое разрешение (около 46 кэВ для квантов с энергией в 662 кэВ) [6], а так же гигроскопичен. Эти проблемы вызывают необходимость разработки новых детекторов.

Среди полупроводниковых материалов наибольшее внимание уделяется CdTe и GaAs. CdTe обладает довольно высоким энергетическим разрешением (около 850 эВ для энергии квантов в 122 кэВ), может работать при комнатной температуре, но из-за проблем с производством кристаллов больших объемов обладает низкой эффективностью регистрации (около 4% для квантов с энергией 1 МэВ) и не большим диапазоном энергий регистрируемых квантов (10кэВ – 1МэВ) [7]. GaAs, так же как и CdTe, обладает низкой эффективностью регистрации (около 1% для квантов с энергией 100 КэВ), может работать при комнатной температуре, имеет высокое энергетическое разрешение (около 600 эВ для квантов с энергией 600 кэВ), но кроме того благодаря низкому уровню собственных шумов имеет более широкий диапазон регистрируемых энергий (1 кэВ – 1 МэВ) [8].

Среди сцинтилляционных материалов наиболее перспективными считаются бромид церия и бромид лантана. Бромид лантана имеет высокое энергетическое разрешение (около 20 кэВ для квантов с энергией 662 кэВ), высокую эффективность регистрации (100%), но обладает высокой собственной радиоактивностью и кроме того обладает высокой себестоимостью [9]. Бромид церия тоже имеет высокую эффективность регистрации (100%), обладает высоким энергетическим разрешением (28 кэВ для квантов с энергией 662 кэВ) и тоже имеет высокую себестоимость [10].

В целом адекватной замены ОЧГ детектору и сцинтиллятору на основе NaI(tl) на сегодняшний день не найдено. Существующие полупроводниковые материалы уступают ОЧГ детектору в эффективности регистрации и энергетическом разрешении. Современные сцинтилляторы уступают NaI(Tl) в цене или радиационной чистоте, хотя и могут иметь более высокое энергетическое разрешение.

Список публикаций:

- [1] Альфа-бета-гамма спектроскопия под редакцией К. Зигбана вып 1, АТОМИЗДАТ 1969.
- [2] Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ [Электронный ресурс]. 2019. - Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/detectors/gammadet/index.html>, свободный.
- [3] P. J. Wallbrink, D. E. Walling, Q. He IAEA 2002 Radionuclide Measurement Using HPGe Gamma Spectrometry
- [4] E.A. Buraeva a , O.S. Bezuglova b , V.V. Stasov a , □, V.S. Nefedov a , E.V. Dergacheva c , A.A. Goncharenko d , S.V. Martynenko a , L.Yu. Goncharova b , S.N. Gorbov b , V.S. Malyshevsky c , T.V. Varduny Features of ¹³⁷Cs distribution and dynamics in the main soils of the steppe zone in the southern European Russia 2015
- [5] Экофера, 2019, ЭкоПАК-03, *izlucheniya/spektrometry/1000214-ochg-spektrometr-gamma-izlucheniya-eko-pak-03-s-10-detektorom-i-s-zashchitoy (1 марта 2019)*
- [6] Mirion, 2019, NAIS-3x3, https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4_mirion/files/pdf/spec-sheets/nais-3x3-nal-led-temperature-stabilized-scintillation-detector.pdf?1523633309 (accessed 1 march 2019)
- [7] Amptek, 2019, XR-100CdTe, <http://amptek.com/products/xr-100cdte-x-ray-and-gamma-ray-detector/> (accessed 1 march 2019)
- [8] Отчет о научно-исследовательской работе в рамках гранта РФФИ № 10-08-00782 2010г. по теме: «Арсенид-галлиевые детекторы рентгеновского излучения с высоким энергетическим разрешением, работающие при комнатной температуре»
- [9] Mirion, 2019, LABR-1.5x1.5, <https://www.mirion.com/products/labr3-15-x-15-lanthanum-bromide-scintillation-detector> (accessed 1 march 2019)
- [10] Mirion, 2019, CEBRS-2x2, <https://www.mirion.com/products/cebrs-2x2-cerium-bromide-led-temperature-stabilized-scintillation-detector> (accessed 1 march 2019)

Радионуклиды в атмосферных аэрозолях

Ляхова Наталья Викторовна

Огиенко Артем Вадимович, Риттер Илона Викторовна, Кацаева Елизавета Александровна,

Михайлова Татьяна Андреевна, Александрович Никита Александрович

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

llia.2013@yandex.ru

Атмосфера является основным резервуаром и переносчиком радионуклидов. Основным носителем радионуклидов в атмосферном воздухе являются аэрозоли – дисперсные системы на основе частиц вещества в твердой или жидкой фазах [1]. Более половины суммарной мощности радиоактивной дозы, получаемой населением мира, связано с радиоактивностью при вдыхании аэрозольных частиц [2].

В данной работе рассматривались следующие радионуклиды ^{137}Cs , ^{238}U , ^{234}Th , ^{224}Ra и ^{226}Ra находящиеся в атмосферных аэрозолях г. Ростов–на–Дону в период 2000-2009 гг.

В ходе корреляционного анализа между концентрациями активности данных радионуклидов и некоторыми климатическими параметрами ($p = 0,01$) была выявлена связь между метеопараметрами, ^{226}Ra и ^{137}Cs . Кроме этого существует связь между скоростью ветра и ^{234}Th , а также между относительной влажностью воздуха, температурой и ^{224}Ra . Также результаты показывают заметную корреляцию между ^{234}Th и ^{226}Ra ($p = 0,59$), которая позволяет полагать, что эти радионуклиды имеют общий источник поступления в приземный слой воздуха.

Так как содержание рассматриваемых радионуклидов варьируется в широких диапазонах, то данные за период 2000-2009 года были усреднены. Средняя удельная активность ^{137}Cs колеблется в пределах до 8 мкБк/кг. Для ^{234}Th этот диапазон составляет от 100 до 350 мкБк/кг. Для ^{224}Ra и ^{226}Ra данные диапазоны составляют 3-15 мкБк/кг и 5-25 мкБк/кг соответственно.

Также в данной работе изучалось сезонное поведение радионуклидов в атмосферных аэрозолях.

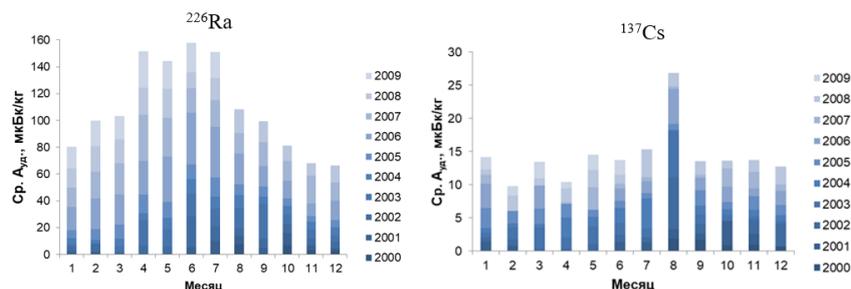


рис.1. Среднемесячная удельная активность ^{226}Ra и ^{137}Cs

Сезонное поведение у ^{226}Ra имеет характерную особенность: увеличение активности в весенне-летний период года и уменьшение в осенне-зимний период. Максимумы содержания ^{137}Cs приходятся на август или сентябрь каждого года. Вероятно, это происходит из-за сбора урожая на территории Ростовской области. В воздух в конце лета – начала осени поднимается колоссальное количество пыли, которая вносит существенный вклад в содержание искусственного радиоцезия в атмосферных аэрозолях.

Кроме этого, в рассмотрении сезонного поведения ^{234}Th были установлены два максимума удельной активности, приходящиеся на февраль-март и на июль-сентябрь. Этот факт также подтверждает зависимость содержания данного радионуклида в атмосфере от метеоусловий.

При изучении средней удельной активности ^{224}Ra , было установлено повышение удельной активности в 2002 году. Стоит отметить, что лето в 2002 году было засушливым, что повлияло на концентрацию данного радионуклида.

Таким образом, на удельную активность радионуклидов влияют ряд факторов, среди которых: метеопараметры, деятельность человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (проект №3.6439.2017/8.9, по ЮФУ №БЧ0110-11/2017-36) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

Список публикаций:

[1] Давыдов М. Г., Бураева Е. А. // Радиэкология: учебник для вузов. Ростов-на-Дону: Изд-во Феникс 2013. С. 635.

[2] Sahin L, Hafizoglu N, Cetinkaya H, Manisa K, Bozkurt E, Bicer A (2017) Assessment of radiological hazard parameters due to natural radioactivity in soils from granite-rich regions in Kutahya Province. *Isotopes Environ Health Stud, Turkey*.

Сравнительный анализ характера поступления ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в лишайниках, мхах и хвое Арктической и южной зонах Западной Сибири

Мезина Ксения Александровна

Мельгунов Михаил Сергеевич, Восель Юлия Сергеевна, Белянин Дмитрий Константинович

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Мельгунов Михаил Сергеевич, к.г.-м.н.

mezinaka@igm.nsc.ru

Радиоактивные изотопы естественного происхождения ^7Be и ^{210}Pb в значительных количествах поступают на земную поверхность из атмосферы. Источники происхождения этих радионуклидов различные. В современных исследованиях «атмосферные» ^7Be и ^{210}Pb часто используются в качестве индикаторов различных природных процессов [1-5]. А в тоже самое время и мхи, и лишайники в практике мировых исследований часто используют в качестве биологических индикаторов атмосферных загрязнений [6-8].

В современной литературе отсутствуют широко известные данные об совместном атмосферном поступлении ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в Арктической и южной зонах Западной Сибири. Цель работы – провести сравнительный анализ характера поступления ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в компоненты биогеоценоза в тундровых зонах (Арктической и южной (высокогорная часть)) Западной Сибири.

В работе исследовались компоненты биогеоценоза (мхи, лишайники, хвоя кедр и лиственницы) Арктической зоны Западной Сибири, отобранные в сентябре 2018 года. И образцы, отобранные на юге Западной Сибири (высокогорная часть Горного Алтая) в июне 2018 года. Измерение активностей ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в подготовленных сухих образцах проводилось методом полупроводниковой гамма-спектрометрии.

Для Арктической зоны Западной Сибири средние содержания ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в хвое лиственницы составляют: 207, 106 и 5 Бк/кг, соответственно. В хвое кедр их содержания другие, а именно, ^7Be – 46, ^{210}Pb – 18 и ^{137}Cs – 44 Бк/кг. Во мхах ^7Be – 317, ^{210}Pb – 909 и ^{137}Cs – 27 Бк/м², а в лишайниках ^7Be – 307, ^{210}Pb – 705 и ^{137}Cs – 36 Бк/м².

Для юга Западной Сибири были получены следующие содержания: в хвое лиственницы ^7Be – 65, ^{210}Pb – 52 и ^{137}Cs – 2 Бк/кг. В хвое кедр ^7Be – 51, ^{210}Pb – 26 и ^{137}Cs – 8 Бк/кг. Во мхах ^7Be – 167, ^{210}Pb – 653 и ^{137}Cs – 15 Бк/м², а в лишайниках ^7Be – 208, ^{210}Pb – 568 и ^{137}Cs – 10 Бк/м².

Сравнительный анализ полученных данных показывает:

- В Арктической зоне Западной Сибири наблюдаются высокие содержания ^7Be и ^{210}Pb в хвое лиственницы, и они значительно выше, чем на юге Западной Сибири (Горный Алтай). Это связано с разным временем накопления исследуемых радионуклидов. Отбор образцов на Горном Алтае осуществлялся в начале вегетационного периода хвои, а в Арктической зоне, наоборот, в конце.
- В обеих исследуемых зонах для хвои кедр и лиственницы наблюдается зависимость. Хвоя лиственницы обогащена естественными радионуклидами, но обеднена ^{137}Cs , а для хвои кедр наблюдается обратная зависимость.
- Во мхах и лишайниках Горного Алтая ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs меньше, в чем во мхах и лишайниках Арктической зоны Западной Сибири.

Работа в Арктической зоне выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-77-10039, а в высокогорной части Алтая выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-41076 РГО_а. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН, аналитические исследования проведены в ЦКП «Многоэлементные и изотопные исследования» ИГМ СО РАН.

Список публикаций:

- [1] Baskaran M. et al. // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1993. Т. 98. – №. D11. С. 20555-20571.
- [2] Baskaran M., Shaw G. E. // *Journal of Aerosol Science*. 2001. Т. 32. №. 4. С. 443-452.
- [3] Branford D. et al. // *Water, air, and soil pollution*. 2004. Т. 157. №. 1-4. С. 107-116.
- [4] Gourdin E. et al. // *Journal of environmental radioactivity*. 2014. Т. 136. С. 195-205.
- [5] Renfro A. A. et al. // *Journal of environmental radioactivity*. 2013. Т. 116. С. 114-123.
- [6] Израэль Ю. А. и др. // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 1982. Т. 5. С. 6-18.
- [7] Израэль Ю. А. и др. // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 1985. Т. 7. С. 9-26.
- [8] Нифонтова М. Г. // *Экология*. 1997. №. 4. С. 273-277.

Статистическая обработка и анализ данных радионуклидного состава атмосферных аэрозолей

Михайлова Татьяна Андреевна

Машиаров Кирилл Сергеевич, Кацаева Елизавета Александровна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

tanymisha@mail.ru

Атмосфера является крайне динамичной средой, в которой протекает множество процессов, таких как перенос воздушных масс, который играет определяющую роль в формировании климата или процессы поглощения и рассеяния солнечной радиации [1, 2]. Происхождение атмосферных аэрозолей может быть совершенно разным. Основными естественными источниками являются вулканы, испускающие большое количество соединений серы, кремния и различных оксидов, растения, степные и лесные пожары, а также мировой океан, испарения которого приносят в состав атмосферы серьезное разнообразие [3].

В данной работе представлен статистический анализ атмосферных аэрозолей. Модельной площадкой был выбран г. Ростов-на-Дону, находящийся в степной зоне с умеренно-континентальным климатом. Пробы атмосферных аэрозолей отбирались на фильтры из ткани Петрянова на аспирационной станции Лаборатории ядерной физики НИИ физики Южного федерального университета в 2000-2009 г. Радионуклидный состав 429 исследуемых образцов определялся с помощью гамма-спектрометра «Прогресс». В результате измерений и статистической обработки результатов для данных по радионуклидному составу аэрозолей была получена зависимость активности радионуклидов от метеопараметров. Ниже в таблице представлена корреляционная матрица, которая показывает связь между метеопараметрами и удельной активностью радионуклидов в приземном слое воздуха, где G – удельная загрязненность ($\text{г}/\text{м}^3$); T – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); RH – относительная влажность воздуха (%); P – атмосферное давление (мм.рт.ст.); V – скорость ветра ($\text{м}/\text{с}$); ${}^7\text{Be}$, ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{210}\text{Pb}$, ${}^{234}\text{Th}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{224}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{40}\text{K}$ – объемная активность соответствующих радионуклидов ($\text{Бк}/\text{м}^3$).

Параметр	G , $\text{г}/\text{м}^3$	T , $^{\circ}\text{C}$	RH , %	P , мм.рт.ст.	V , $\text{м}/\text{с}$	${}^7\text{Be}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{137}\text{Cs}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{210}\text{Pb}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{234}\text{Th}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{238}\text{U}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{226}\text{Ra}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{224}\text{Ra}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{232}\text{Th}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	${}^{40}\text{K}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$
G , $\text{г}/\text{м}^3$	1,000													
T , $^{\circ}\text{C}$	0,160	1,000												
RH , %	0,048	-0,142	1,000											
P , мм.рт.ст.	-0,057	-0,586	0,101	1,000										
V , $\text{м}/\text{с}$	-0,127	-0,073	0,085	0,055	1,000									
${}^7\text{Be}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,158	0,527	0,097	-0,262	0,319	1,000								
${}^{137}\text{Cs}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,313	0,105	0,017	-0,011	-0,052	0,213	1,000							
${}^{210}\text{Pb}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,019	-0,302	0,031	0,245	0,233	0,032	0,112	1,000						
${}^{234}\text{Th}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	-0,042	-0,057	0,000	0,010	0,255	0,159	0,067	0,064	1,000					
${}^{238}\text{U}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,030	0,127	-0,029	-0,080	-0,137	0,129	0,667	0,379	-0,143	1,000				
${}^{226}\text{Ra}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,104	0,238	0,049	-0,182	0,390	0,533	0,325	0,081	0,307	0,475	1,000			
${}^{224}\text{Ra}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,162	0,135	0,026	-0,039	0,031	0,122	0,128	-0,025	0,037	0,582	0,143	1,000		
${}^{232}\text{Th}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,288	0,125	0,055	-0,105	0,117	0,255	0,413	0,008	0,158	0,194	0,396	0,158	1,000	
${}^{40}\text{K}$, $\text{Бк}/\text{м}^3$	0,266	0,300	0,032	-0,184	-0,045	0,239	0,472	0,019	-0,084	0,792	0,283	0,116	0,249	1,000

Оцененные коэффициенты корреляции Пирсона помогают подробнее изучить взаимосвязь метеопараметров и активности радионуклидов. Для 860 степеней свободы критическим значением Пирсона является 0,09 при доверительной вероятности 99% ($p=0,01$). Например, поведение естественного космогенного радионуклида ${}^7\text{Be}$ зависит от таких процессов как: вертикальный перенос, обмен воздушных масс между тропосферой и стратосферой, а также данный радионуклид повторяет температурный ход. ${}^{210}\text{Pb}$, ${}^{234}\text{Th}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$ попадают в атмосферу как с помощью ветрового подъема с подстилающей поверхности, так и с выбросами автотранспорта, сжигание органического топлива и выбросами различных предприятий.

В заключении хочется отметить, что корреляционная матрица помогает перегруппировать радионуклиды, позволяет оценить влияние различных параметров на объемную активность данных элементов и их дальнейшее поведение. Проведение корреляционного анализа является одним из первых этапов в моделировании поведения поллютантов в такой динамической среде, как приземная атмосфера урбанизированных территорий.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (проект №3.6439.2017/8.9, по ЮФУ №БЧ0110-11/2017-36) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

Список публикаций:

- [1] Achad M. Chemical markers of biomass burning: Determination of levoglucosan, and potassium in size-classified atmospheric aerosols collected in Buenos Aires, Argentina by different analytical techniques / Achad M., Softa C., de C. V. Pérola, Bajano H., Gómez D., Smichowski P. // *Microchemical Journal* – 2018 – In Press
- [2] Xin Wan Chemical composition of size-segregated aerosols in Lhasa city, Tibetan Plateau/ Xin Wan, Shichang Kang, Jinyuan Xin, Bin Liu, Tianxue Wen, Pengling Wang, Yesi Wang, Zhiyuan Cong. // *Atmospheric Research*. – 2016 – Vol. 174-175 – P.142-150.
- [3] Береснев С. А. Физика атмосферных аэрозолей: Курс лекций / С. А. Береснев, В. И. Грязин // Издательство Уральского университета, Екатеринбург – 2008 – 227 с.

Анализ поступления углерода-14 в атмосферу в результате выбросов АЭС Европы

Назаров Евгений Игоревич¹

Антонов Константин Леонидович², к.ф.-м.н

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

²Институт промышленной экологии УрО РАН

Екидин Алексей Акимович, к.ф.-м.н.

e.nazarov1005@gmail.com

Контролируемый выброс радионуклидов в атмосферу является законным практическим способом обращения с радиоактивными отходами, применяемым в атомной промышленности и смежных с ней областях. Важной и необходимой составляющей контроля выбросов является постоянный мониторинг [1]. Углерод-14 включен в программу мониторинга выбросов на более чем 90% АЭС Европы [2]. В РФ С-14 входит в перечень радионуклидов, в отношении которых необходимо осуществлять меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [3].

Для оценки поступления углерода-14 в атмосферу в результате газоаэрозольных выбросов АЭС Европы были рассчитаны медианные удельные показатели выбросов (ГБк/(ГВт·ч)) [4] за последние 20 лет. Результаты представлены в таблице:

Тип РУ	GCR	AGR	LWGR	BWR	PHWR	ВВЭР	PWR	FBR
Удельный выброс, ГБк/ГВт·ч	0,564	0,163	0,148	0,063	0,042	0,047	0,024	0,014

Эти показатели были получены на основе данных о ежегодном выбросе С-14 (ГБк) [5] и произведенной электроэнергии европейскими АЭС (ГВт·ч) [6]. Анализ ежегодных показателей выброса углерода-14 с 1995 по 2017 гг. позволил поделить все станции на 3 группы: с наилучшей, устойчивой и наихудшей практикой. Наилучшую практику показали АЭС с реакторными установками (РУ) типа PWR, наихудшую – GCR.

Наибольший вклад в содержание С-14 в атмосфере вносят РУ типа GCR, показавшие наихудшую практику, при этом доля произведенной электроэнергии GCR составляет 4% от всех европейских АЭС. На втором месте оказались РУ типа PWR, имеющие наилучшую практику. Это объясняется тем, что 53% всей электроэнергии от АЭС Европы генерируют PWR.

Список публикаций:

- [1] *Руководство по безопасности № RS-G-1.8. «Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты».* МАГАТЭ. Вена 2016.
- [2] *Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015, № 1316-р.* Москва.
- [3] Пышкина М.Д. *Определение основных дозообразующих нуклидов в выбросах АЭС PWR и ВВЭР. // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии 2017. №. 2 (18). С. 98-107.*
- [4] Назаров Е. И., Екидин А.А., Васильев А.В. // *Известия высших учебных заведений. Физика. Томск: Изд-во Национального исследовательского Томского ун-та. 2018. № 12-2. С.67-73.*
- [5] *Официальный сайт Международного Агентства по Атомной Энергии [Электронный ресурс] - режим доступа: <http://www.iaea.org/PRIS>*
- [6] *Официальный сайт базы данных Европейской Комиссии о выбросах и сбросах радиоактивных веществ. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://europa.eu/radd/index.doxx>*

Радиационная обстановка на территориях типичных сельских поселений Ростовской области

Огиенко Артём Вадимович

Ляхова Наталья Викторовна, Риттер Илона Викторовна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

bort123470@gmail.com

Ростовская область – сельскохозяйственный район с большим количеством пахотных земель. Удобрения, которые повсеместно используются в сельском хозяйстве, могут наносить значительный урон окружающей среде. Яркий пример – фосфаты, которые содержат значительные количества естественных радионуклидов земного происхождения и могут влиять на изменения природного гамма-фона территорий. Так же, в ряде сельских поселений (СП) находятся крупные предприятия тяжёлой и лёгкой промышленности, вносящие свой вклад в загрязнение почв, воздуха и воды.

Работа посвящена оценке радиоактивности окружающей среды типичного сельского поселения городского типа на примере Кулешовского сельского поселения (Ростовская область, Азовский район)

Измерения гамма фона (мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, МЭД) проводились на высоте 100 см от поверхности на главной автомагистрали в трех областях данного СП, а так же на прилегающих к ней улицах. МЭД измерялась дозиметром-радиометром ДРБП-03. Почва отбиралась в 4 областях вокруг озера Кулешовского СП, в доступных для сбора точках – местах, где отсутствовала густая растительность и была возможность добраться до воды. Методики отбора и подготовки проб почвы использовались стандартные. Удельную активность радионуклидов в почвенных образцах определяли гамма-спектрометрическим методом на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс-гамма» Время набора гамма-спектров не превышало 24 часа. Ниже, на рис. 1 и в таблице представлены обобщенные результаты измерения МЭД на территории Кулешовского СП.

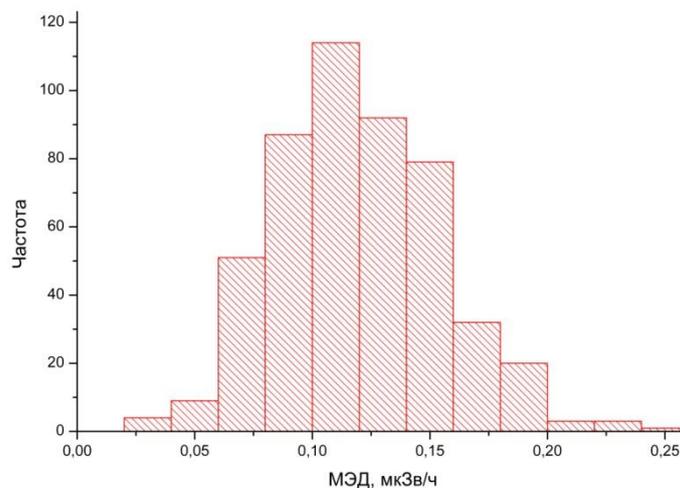


рис. 1. Распределение МЭД на территории Кулешовского сельского поселения

МЭД, мкЗв/ч	Область 1	Область 2	Область 3	Область 4	Область 5
Ср значение	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12
Минимум	0,02	0,04	0,02	0,06	0,02
Максимум	0,19	0,21	0,23	0,24	0,22

В целом, МЭД на исследуемых территориях находится в пределах 0,10-0,12 мкЗв/ч, соответствует Нормам радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009, [1]) и характерна для территорий Ростовской области [2,3]. В таблице ниже приведены данные по содержанию радионуклидов в почве (слой 0-5 см) береговой зоны озера Кулешовского СП.

Радионуклид	Удельная активность, Бк/кг		
	Максимум	Минимум	Среднее
¹³⁷ Cs	13,9	1,1	5,4
²²⁶ Ra	21,7	5,1	14,1
²³² Th	24,5	6,9	15,5
⁴⁰ K	504,0	58,0	253,2

Почвы, в основном, дерново-аллювиальные, с высоким содержанием песка. Верхний почвенный слой (дерновый горизонт) содержит значительное количество глинистых и илистых фракций. В основном, среднее содержание радионуклидов в данных почвах характерно для аллювиальных почв Ростовской области с высоким содержанием песка [4].

Типичные сельские поселения Ростовской области с низкой антропогенной нагрузкой могут относиться к фоновым территориям. При этом, развивающаяся промышленность и автотранспорт достаточно негативно влияют на окружающую среду. Исходя из вышесказанного необходимо периодически проводить радиоэкологические мониторинговые исследования не только на крупных урбанизированных территориях, но и на территориях мелких аграрных объектов.

Список публикаций:

[1] СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

[2] Buraeva E.A. et al. // *Geoderma*. 2015. №259-260. P. 259-270.

[3] Бурева Е.А. и др. // *Фундаментальные исследования*. № 10, (часть 5), 2013, с. 1073-1077.

[4] Бурева Е.А. и др. // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 4; URL: www.science-education.ru/110-9652

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

Пронина Екатерина Вячеславовна

Кацаева Елизавета Александровна, Проценко Влада Вячеславовна, Михайлова Татьяна Андреевна

Южный федеральный университет

Бурева Елена Анатольевна, к.х.н.

ev_pronina_105@mail.ru

В окружающей человека среде содержится множество радионуклидов естественного и искусственного происхождения. Для мониторинга содержания и особенности миграции радионуклидов изучаются объекты окружающей среды. Растительность широко используется в качестве биоиндикатора загрязненности окружающей среды не только радионуклидами, но и тяжелыми металлами. Из почвы в наземные растения радионуклиды могут переходить двумя способами: усвоение атмосферных аэрозолей через листья и соцветия, переход из почвы с помощью корневой системы [1].

В данной работе изучены особенности накопления и переноса естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и искусственного ^{137}Cs в системе почва-растение. Модельные площадки расположены в Цимлянском, Волгодонском и Дубовском районах Ростовской области в степной зоне с умеренно-континентальным степным климатом [2]. Для оценки влияния особенности микрорельефа территории на распределение радионуклидов в почвах и процессы переноса радионуклидов в системе почва-растения в 2017 году в степных регионах были отобраны образцы почв и растительной массы на контрольных участках КУ-3 и КУ-201. Данные участки входят в 30-ти километровую зону наблюдения Ростовской АЭС. На КУ-3 распространены каштановые почвы, полынно-злаковая степь. Участок расположен на склоне (порядка 5%) к овражно-балочной системе. Участок КУ-201 расположен в пойме реки Дон, почвы – аллювиальные супесчаные под луговой растительностью.

Образцы почв и растений отбирались в период цветения основной массы растительности во второй половине июня. Отбирались на элементарных квадратах 10x10 м по сетке с шагом 2 м. почва отбиралась кернами в виде монолитов с линейными размерами примерно 10x15x15 см (глубина 0-10 см) вместе с растительной массой. Далее, растительная масса отделялась от почвы, отмывалась в проточной дистиллированной воде, высушивалась и измерялась с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра «Прогресс-гамма». Разделения на соцветия, корневую и стеблевую части, а также по видовому составу не проводилось. Основной задачей данного эксперимента являлась оценка накопления и переноса радионуклидов в растительную массу.

Ниже в качестве примера представлены распределения удельной активности ^{232}Th и ^{40}K в почве и в растительности по элементам рельефа.

Естественные радионуклиды ^{232}Th и ^{40}K имеют схожее поведение и в разных типах почвы и в растительности. В точках с повышенным содержанием данных радионуклидов в почвах имеет место их низкое содержание в растительной массе и наоборот.

Для интерпретации особенности распределения радионуклидов в почве и растительной массе в пределах элементарного квадрата необходимо учитывать не только довольно развитый микрорельеф, но и свойства почвы, в первую очередь гранулометрический состав.

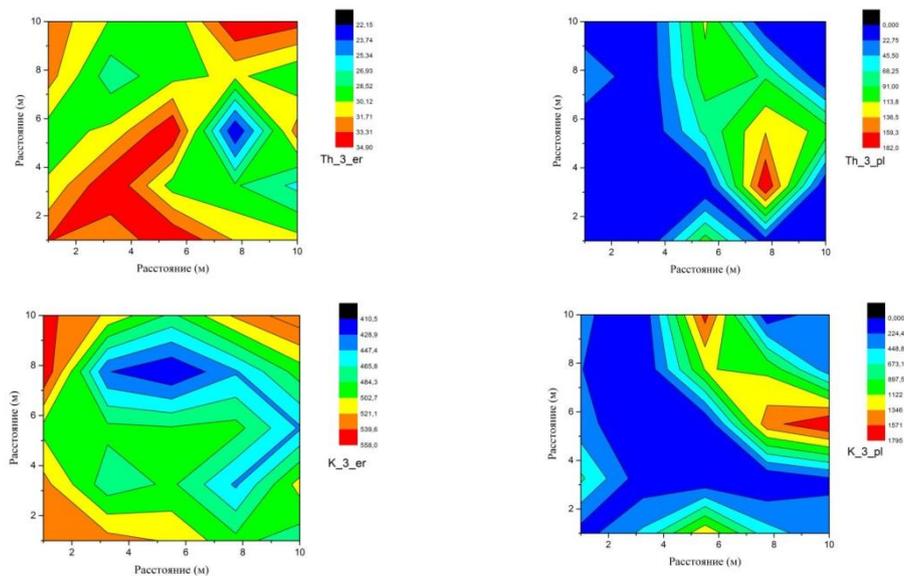


рис. 1. Распределение удельной активности ^{232}Th и ^{40}K в каштановых (KV-3) и аллювиально-луговых (KV-201) почвах и в растениях в зоне наблюдения Ростовской АЭС

Мощные среднесуглинистые почвы обладают прочной структурой, большой влагоемкостью и водоудерживающей способностью и с глубоким залеганием горизонта скопления извести. А в солонцеватых тяжелосуглинистых почвах при высыхании образуются твердые как камни глыбы, что препятствует поступлению радионуклидов в растительность [4].

Так же поступление радионуклидов в растительность может быть обусловлено процентным содержанием физической глины в верхних слоях почвы (дерновый горизонт, как правило, на исследуемых участках примерно 10-15 см). В среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почвах степного типа почвообразования содержание физической глины составляет примерно 75-85% и выше, а в тяжелосуглинистых солонцовых почвах – 50-65% [5]. Размеры частиц в глине менее 0,002мм, а в песках составляет 0,05-2мм. Следует отметить, что на поверхности глины хорошо удерживаются радионуклиды, а вследствие наличия одного из свойств глины – набухания, верхние слои почвы насыщаются водой, что помогает радионуклидам легко проникать в корневую часть растительной массы [6].

Список публикаций:

- [1] Бондарь, Ю.И., Доступность ^{137}Cs и ^{90}Sr растениям из различных компонентов почвы. / Ю.И. Бондарь, Г.С. Шманай, Л.С. Ивашевич. // Почвоведение. — 2000. — №4. — С. 439–445.
 [2] Муниципальное бюджетное учреждение культуры Аксайского района Межпоселенческая центральная библиотека им. М. А. Шолохова [Электронный ресурс]. 2009. - Режим доступа: <http://libr-aksay.ru/?page=18379>, свободный.
 [4] Вальков В.Ф. Экология почв Ростовской области. – Ростов н/Д.:Изд-во СКНЦ ВШ, 1994. – 79 с.
 [5] Шейн, Е.В. Курс физики почв: Учебник. / Е.В. Шейн. // М.: Изд-во МГУ. — 2005. — 432с.
 [6] Переволоцкая, Т.В. Радиационное лесоводство: Основы лесной радиэкологии: практическое руководство для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство». / Т.В. Переволоцкая. // М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им.Ф. Скорины. — 2014. — 45с.

Содержание ^3H в водоемах Ростова-на-Дону

Риттер Илона Викторовна

Огиенко Артём Вадимович, Ляхова Наталья Викторовна

Южный федеральный университет

Мальшевский Вячеслав Сергеевич, д.ф.-м.н.; Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

Ilona.ritter@mail.ru

Тритий является сверхтяжелым изотопом водорода, а также его единственной радиоактивной формой. Он образуется в верхних слоях атмосферы посредством взаимодействия частиц космического излучения с ядрами некоторых атомов. Период полураспада трития составляет 12,32 лет, после чего этот изотоп превращается в ^4He и испускает электрон и антинейтрино. Значительное количество трития попадает в окружающую среду в результате антропогенной деятельности: эксплуатации атомных станций, производства

ядерного оружия. Хотя при полураспаде атома выделяется всего 18, 59 кэВ энергии, а образовавшиеся β -частицы распространяются в воздухе на очень малое расстояние, но, тем не менее, этот радиоактивный изотоп представляет опасность при вдыхании, поглощении вместе с пищей, проникновении через кожу. Биологическое полувыведение данного радионуклида занимает 9-14 дней.

Для контроля радиационной безопасности населения в пределах г. Ростова-на-Дону были отобраны и измерены на уровень содержания ^3H образцы воды из пресных водоемов, которые могли бы попасть в организм человека. Отбор проб производился в нескольких районах Ростова-на-Дону, преимущественно в областях рек Темерник и Дон.

Для определения содержания трития в воде использовали жидкосцинтилляционный радиометр спектрометрический SL-300. Объем пробы составлял 10мл, объем сцинтиллятора – 10 мл. Время экспозиции одной пробы составляло 2 часа. Ниже представлены сводные данные по содержанию трития в исследуемых водных пробах.

Параметр	Активность		
	Ки/л	Бк/л	кБк/м ³
Минимум	2.25	8.33	8.33
Среднее	3.70	13.67	13.67
Максимум	4.96	18.35	18.35

Полученные значения не превышают указанных в НРБ-99/2009 (Приложение 2а: “Значения дозовых коэффициентов e (мЗв/Бк) при поступлении радионуклидов в организм взрослых людей с водой и уровни вмешательства УВ (Бк/кг) по содержанию отдельных радионуклидов в питьевой воде”). Низкое содержание радиоактивных изотопов обусловлено также тем, что такое крупное энергетическое предприятие, как Ростовская АЭС, находится на расстоянии более 200 км от Ростова-на-Дону и не может нанести серьезного вреда окружающей среде данного населенного пункта.

Сравнивая данные показатели со значениями удельной активности некоторых зарубежных городов, к примеру, Ханоя, можно заключить, что в целом вариации трития в различных водоемах Земли достаточно сильно отличаются друг от друга, при этом, в основном, находятся в предельном интервале допустимых значений.

Мониторинг питьевой воды в районе населенных пунктов очень важен, поскольку при попадании трития весь человеческий организм подвергается воздействию β -частиц, вызывающих радиационное поражение кожи и лучевую болезнь. Среди отобранных проб имелись образцы воды из источников, используемых местным населением в качестве питьевой.

Список публикаций:

- [1] Vu Hoai and ect. // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018. № 192. С. 143-149.
 [2] Boyer P. and ect. // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018. № 181. С. 128-137.
 [3] Coha I. and ect. // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. № 162-163. С. 56-67.

Радиоэкологические последствия аварии на АЭС Фукусима

Сидорина Ульяна Андреевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

ulianasidorina72@gmail.com

Широкое использование энергии атомного ядра во всех сферах жизни, образовании и научных исследованиях сопровождается радиационными инцидентами и авариями, приводящими к масштабным экономическим и социальным потерям при ограниченных ущербах здоровью людей. Изучение и ликвидация последствий аварии на АЭС Фукусима-1 является одной из наиболее насущных проблем современного мира, так как долгоживущие радионуклиды до сих пор составляют радиационный фон префектуры Фукусима и близлежащих районов. Данная работа посвящена анализу исследований, посвященных аварии на АЭС Фукусима-1, произошедшей 11 марта 2011 года.

Почва, растительность, воздух, пресная вода, продукты питания и морская вода на востоке Японии, в результате, сильно загрязнены осажденными радионуклидами, которые были выброшены в окружающую среду в результате аварии. Особенно широко исследуются ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , как достаточно долгоживущие радионуклиды [1-3]. Источниками поступления радионуклидов с АЭС Фукусима-Дайити в объекты экосферы могли стать поврежденные реакторы блоков №1-3 и бассейны с ОЯТ (отработавшее ядерное топливо).

Общее количество ^{137}Cs и ^{131}I в префектуре Фукусима из-за аварии на АЭС «Фукусима-Дайити», вызванной землетрясением магнитудой 9,0 и вызванным цунами 11 марта 2011 года, оценивается примерно в $1,5 \times 10^{17}$ Бк и $1,3 \times 10^{16}$ Бк соответственно.

На территории Японии 15-16 марта 2011 года образовалось пятно радиоактивного загрязнения в префектуре Фукусима на расстоянии 50 км от АЭС (Рис. 1). 21 марта мощность дозы гамма-излучения в центре пятна достигла 100 мкЗв/ч, а через месяц снизилась до 40 мкЗв/ч за счет распада короткоживущих радионуклидов (изотопов теллура и йода) [1].

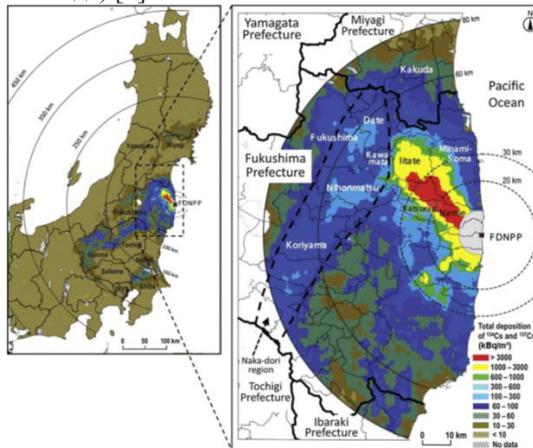


рис.1. Предполагаемое общее осаждение радиоцезия после ядерной аварии на Фукусиме, примерно половина из которых составляет ^{137}Cs [1]

Загрязнение воды Тихого океана происходило как воздушным путем, так и посредством сброса в океан воды, используемой для охлаждения аварийных реакторов. С 11 по 16 марта 2011 года в районе АЭС Фукусима преобладал западный ветер и перенос воздушных масс происходил на восток в сторону Тихого океана. Вместе с дождем радионуклиды выпадали в воды Тихого океана. По данным мониторинга в воде были обнаружены ^{131}I , ^{132}I , ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs . В общей сложности в океан было сброшено от 8,5 до $26 \cdot 10^{12}$ Бк ^{137}Cs и примерно столько же ^{134}Cs [1].

Радиоактивное осаждение, определившее загрязнение почвы во многом зависело от размеров аэрозолей, атмосферных и метеорологических условий. Основным предметом изучения загрязнения почв являлся ^{137}Cs [2]. В почвах плотность выпадений ^{137}Cs колебалась между 16 и $34,627$ Бк/м² [2]. Радиостронций (^{89}Sr , ^{90}Sr) вызвал беспокойство общественности, так как он имеет высокий риск внутреннего облучения при попадании внутрь зараженных сельскохозяйственных культур. Концентрация ^{90}Sr в поверхностных образцах почв варьировалась от 2,5 до 570 Бк/кг [3]. ^{129}I является второстепенным радионуклидом при аварии на реакторе. Суммарное выпадение ^{129}I , оцененное по пробам почв находилось в диапазоне от 0,0156-6,06 Бк/м² [3].

Таким образом, авария на АЭС Фукусима привела к значительному загрязнению окружающей среды. Фукусима до сих пор остается зоной радиоактивного загрязнения. В настоящее время, префектуре Фукусима, учеными со всего мира активно проводятся исследования загрязненности различных объектов и территорий искусственными радионуклидами. Данные работы актуальны и позволят внести весомый вклад в такие области науки, как радиэкология и радиобиология.

Список публикаций:

[1] Балонов М. И. // Авария на АЭС «Фукусима-1»: хронология событий, меры по минимизации последствий, радиоактивные выбросы, анализ причин // Авария на АЭС "Фукусима-1": организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения российской федерации. 2012. Гл. 1. С. 10-51.

[2] Manuel Lopez-Vicente, Yuichi Onda, Junko Takahashi, Hiroaki Kato, Shinya Chayama, Keigo Hisadome // Radiocesium concentrations in soil and leaf after decontamination practices in a forest plantation highly polluted by the Fukushima accident// Environmental Pollution// Elsevier.2018. P. 448-456

[3] Povinec P. P., Hirose K., Aoyama M. // Fukushima Accident: Radioactivity Impact on the Environment // Newnes, 2013, P. 170-180.

Оценка неопределенности измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения

Топорков Никита Васильевич

Александрович Никита, Савинкина Полина Викторовна, Грачев Артур Сергеевич, Дергачева Анастасия Валерьевна

Южный федеральный университет

Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.

no.egil@ya.ru

Измерение фонового излучения территории производится согласно установленным методикам, в обобщенном варианте: выбирается квадрат с длиной стороны 10 метров, выбираются 5 точек, обычно это углы и центр квадрата и в каждой точке производится 3-7 измерений мощности эквивалентной дозы (МЭД) на заданном расстоянии от поверхности почвы, в зависимости от цели исследования, методики проведения измерений и оборудования. В дальнейшем полученные результаты по точкам усредняются для получения результата по территории.

В настоящее время, согласно ГОСТу [1], регламентирующему измеряемые величины при радиационном контроле, основной нормируемой величиной, характеризующей радиоактивное излучение, является МЭД, измеряемая в Зивертах в час. Согласно Методике измерений [2], результаты измерений МЭД должны представлять собой среднее измеренное значение (\bar{X}) и интервал вокруг него, в котором с доверительной вероятностью 95% находится действительное значение измеряемой величины (X):

$$X = \bar{X} \pm U. \quad (1)$$

где: \bar{X} – среднееарифметическое по n измерениям, U – неопределенность измерений, для исследования фона окружающей среды достаточно использовать неопределенность типа А (U_A), учитывающую только статистические ошибки измерений:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2)$$

$$U_A = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}. \quad (3)$$

Был проведен эксперимент, в ходе которого на одной территории, в пяти точках, на одной высоте от поверхности земли и в одно время были проведены 20 измерений МЭД, тремя разными дозиметрами, наиболее используемыми в радиационном контроле: СРП-88Н, ДКС-96 с блоком детектирования БДПГ-96 и ДРБП-03.

На рис. 1 приведены частотные диаграммы распределения полученных результатов ста измерений.

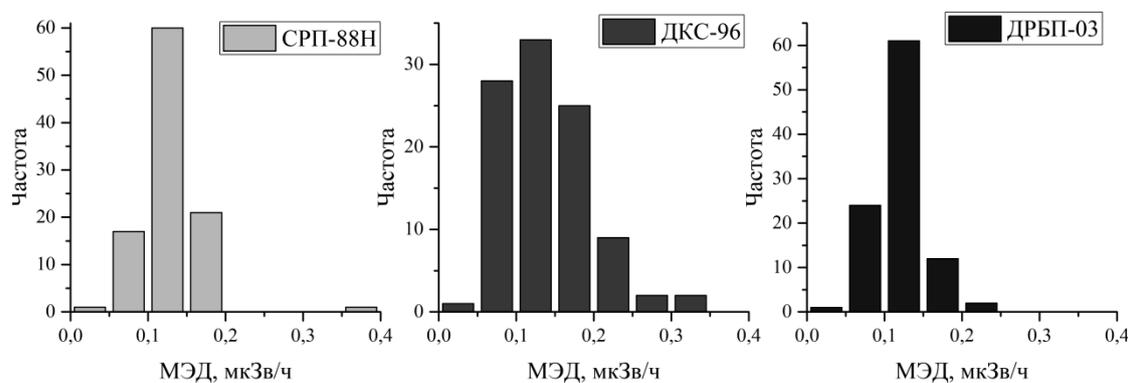


рис. 1. Частотная диаграмма результатов эксперимента

Средние значения МЭД для СРП-88Н, ДКС-96 и ДРБП-03 составили, 0,12 мкЗв/ч, 0,14 мкЗв/ч и 0,12 мкЗв/ч соответственно. Данное расхождение обуславливается разными типами детектирующих устройств, для СРП-88Н и ДКС-96 это сцинтилляционный детектор на основе кристаллов NaI(Tl), а для ДРБП-03 – газоразрядный счетчик, при этом инструментальная погрешность регламентированная производителем составляет 10%, 13% и 15% соответственно. При учете этого полученные результаты почти полностью согласуются между собой.

На рис. 2 графически изображена обработка результатов измерений для каждой точки по отдельности и для всей территории в виде $X = \bar{X} \pm U_A$.

Такой разброс неопределенности для каждого дозиметра и в следствии итоговых результатов измерений: СРП-88Н: $0,12 \pm 0,077$ мкЗв/ч, ДКС-96: $0,14 \pm 0,088$ мкЗв/ч, ДРБП-03: $0,12 \pm 0,064$ мкЗв/ч. Из эксперимента не следует что ДРБП-03 является более точным дозиметром, по сравнению с остальными, эксперимент еще раз подтвердил высокую вариативность МЭД фонового природного излучения ввиду описанных выше факторов и

хаотичной природы гамма-излучения, так как радиоактивные частицы могут быть испущены равновероятно в любом направлении. Это и обуславливает невозможность получения результатов измерений природной МЭД близких к действительному значению при единичном измерении

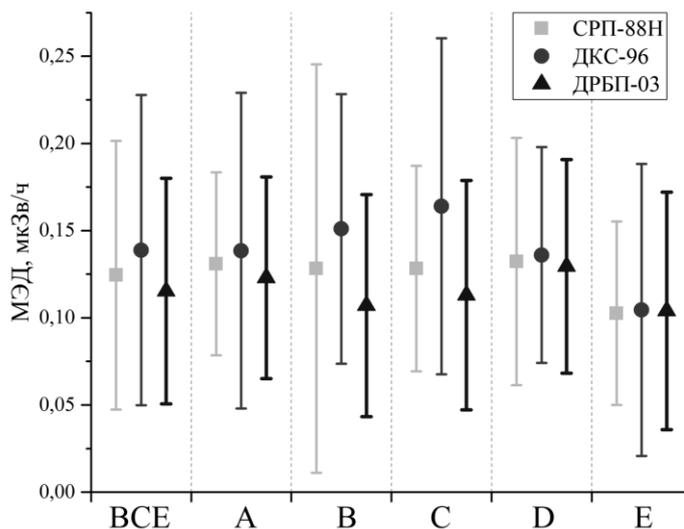


рис. 2. Оценка неопределенности измеренной МЭД

Для установки более точной зависимости разброса неопределенности от количества измерений и проверки обоснованности, предписанного в различных методиках, количества измерений будет проведен эксперимент с измерением МЭД от специального источника в непосредственной близости детектирующего устройства к нему, чтобы снизить вмешательство случайных факторов, допустимых при измерении фонового излучения.

Список публикаций:

[1] ГОСТ 8.638 – 2013. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2014 – 16с. Дата введения: 01.06.2015.

[2] МИ 2453 – 2015. Методика измерений. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики радиационного контроля. Общие требования. Менделеево: ВНИИФТРИ, 2015 – 19с. Дата введения: 1.03.2016.

Исследование долгосрочного изменения уровня засветки неба, как экологического фактора

Халаимова Алика Викторовна

Назаров Сергей Валентинович

Севастопольский государственный университет

Рогова Ольга Валентиновна, к.ф.-м.н.

halaimovaalika@mail.ru

С развитием цивилизации, с ростом территории городов факторы антропогенного характера все больше оказывают влияние на окружающую среду. Одним из таких факторов, ставшим крайне актуальным в последние десятилетия для населения крупных городов, является световое загрязнение [1]. Световое загрязнение («засветка») – засвечивание ночного неба искусственными источниками освещения. Это явление вызвано неоптимальной и неэффективной конструкцией многих систем городского освещения, рассеивающих часть энергии вверх. Эффект осветления неба усиливается распространёнными в воздухе аэрозолями. Эти частицы дополнительно преломляют, отражают и рассеивают излучаемый свет [2]. Основными источниками светового загрязнения являются крупные города и промышленные комплексы [3]. Свет, направленный вверх, создает над городами «световые купола».

Для исследования степени светового загрязнения и его динамики был проведен анализ архива снимков телескопа АЗТ-8 в Крымской астрофизической обсерватории. Снимки получены в процессе фотометрических наблюдений активных ядер галактик в КрАО в 2002-2016 гг. CCD камерой AP7p, расположенной в первичном фокусе телескопа АЗТ-8.

Из архива снимков были исключены снимки, имеющие лунную засветку. Обработка фотографий осуществлялась программой, разработанной сотрудником Коуровской обсерватории Вадимом Крушинским

специально для определения яркости фона. Программа написана на языке программирования Python с использованием библиотек numpy и scipy. В процессе обработки в программе проводилась очистка изображения от высокочастотного шума.

Также был установлен прибор Sky Quality Meter предназначенный для измерения яркости ночного неба. Sky Quality Meter измеряет яркость неба в звездных величинах на квадратную угловую секунду. Чем больше значение этой величины, тем лучше небо для наблюдений. (Места со значением фона более 21 mag/arcsec могут считаться пригодными для наблюдений объектов "глубокого" космоса.)

При рассмотрении изменения уровня засветки по сезонам за период наблюдения, выяснилось, что наибольший рост уровня засветки происходит в зимний сезон и составляет 22,2 %, наименьший – 1,41 % в весенний. Летний период показывает снижение уровня засветки на 20,32 %.

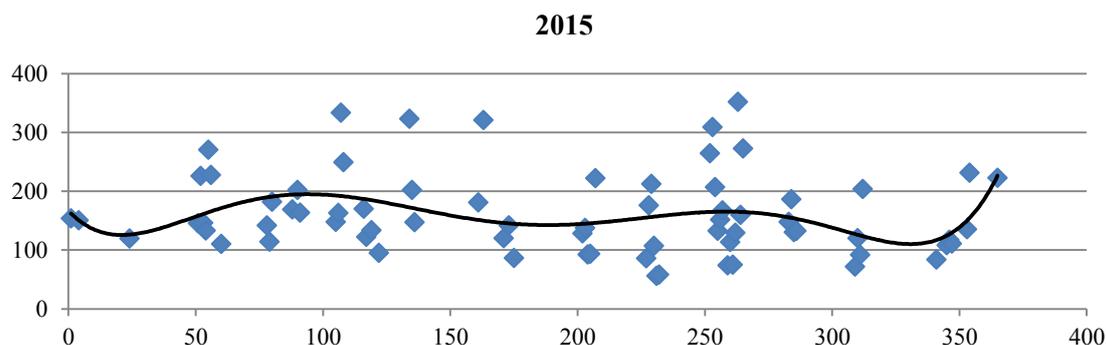


рис. 1 Годовой ход засветки ночного неба за 2015 год . По оси абсцисс – номер дня в году

Полученные при исследовании данные по изменению засветки ночного неба показывают увеличение светового загрязнения. Также, необходимо знать, что световое загрязнение влияет на устоявшуюся экосистему и имеет многочисленные последствия. Одним из последствий чрезмерного использования искусственного света являются потери энергии. Искусственное освещение окружающей среды влияет на цикл роста многих растений. Искусственный свет в ночное время полностью меняет среду обитания всех ночных существ и ведет к гибели птиц, земноводных, насекомых и млекопитающих – ночных хищников [4].

Увеличение засветки ночного неба влияет и на здоровье человека [5]. В темное время суток у человека вырабатывается 70 % важного гормона мелатонина, который вырабатывается только в ночной период, и является одним из сильнейших антиоксидантов. Мелатонин в первую очередь защищает ДНК клеток, снижая таким образом риск возникновения и развития онкологических, а также сердечно-сосудистых заболеваний [6]. Он выступает как естественный иммуностимулятор.

Для уменьшения влияния роста индустрии и урбанизации на засветку ночного неба необходимо принять ряд мер, уменьшающих рассеивание света источниками освещения вверх. Ряд таких мер предложен в статье Капцова и др. [1]. Одной из них является использование фонарей с закрытыми лампами, направляющие свет только вниз, которые используются, например, в КрАО.

Для контроля уровня светового загрязнения была создана международная ассоциация темного неба (International Dark-Sky Association, IDA). Эта организация стремится довести проблему светового загрязнения до граждан, правительства и собственников крупных промышленных предприятий.

Согласно рекомендации международной ассоциации по борьбе со световым загрязнением, для минимизации вредных последствий светового загрязнения, а также экономии электроэнергии:

Уличное освещение должно быть включено только, когда необходимо (например, датчики движения)

Освещать только объекты, которые действительно нуждаются в освещении

Попадание света на объекты, не требующие освещения, должно быть исключено

Светильники должны иметь специальную конструкцию отражателя, направляющую световой поток только вниз

Таким образом, в связи с негативным влиянием увеличения освещения ночного неба на астрономические наблюдения, экологию и здоровье человека, необходимо далее исследовать это явление и искать пути его решения.

Список публикаций:

- [1] Кацлов В.А., Герасев В.Ф., Дейнего В.Н. Световое загрязнение как гигиеническая проблема. Гигиена и санитария, 2015, т. 94 (7), с. 11-15
- [2] Акименко Т.А., Горбунова О.Ю. Прохождение света сквозь аэрозольную среду. Известия ТулГУ. Технические науки, 2011, вып. 5, ч. 3, с. 82-87.
- [3] Ecological consequences of artificial night lighting. Eds. C. Rich, T. Longcore. Washington: Island Press, 2006, 458 p.
- [4] Айзиков Д.Л., Юнаш В.Д., Лотош Т.А., Мамеева Ю.П., Виноградова И.А. Влияние различных режимов освещения на репродуктивную активность и темпы физиологического развития потомства крыс. Ученые записки Петрозаводского государственного университета: серия естественные и технические науки. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2014, № 4, с. 36-42.
- [5] Кельмансон И.А. Экологические и клинико-биологические аспекты нарушений циркадианных ритмов сон-бодрствование у детей и подростков. Биосфера, 2015, т. 7, № 1, с. 131-145.
- [6] Анисимов В.Н., Виноградова И.А. Световой режим, мелатонин и риск развития рака. Вопросы онкологии, 2006, т. 52, № 5, с. 491-498.

Распределение радионуклидов в почвах Адыгеи (Майкопский район)

Ширяева Анастасия Андреевна
Пронина Екатерина Вячеславовна
Южный федеральный университет
Бураева Елена Анатольевна, к.х.н.
anastasia.shiryayeva00@mail.ru

В горных районах широко развиты различные радиоактивные аномалии, часто связанные с месторождениями и добычей полезных ископаемых. На территориях с сильно расчлененным рельефом местности, как правило, преобладает водная эрозия, происходит смыв и переотложение поллютантов (в том числе и радионуклидов) в понижениях рельефа: ущельях, долинах и т.д. Горные регионы Республики Адыгея (Майкопский район) богаты ураносодержащими объектами, проводились разведка и добыча полезных ископаемых. В Майкопском районе Республики Адыгея, из штолен происходит вынос поллютантов в объекты окружающей среды. Вокруг штолен фиксируется повышенный фон гамма-излучения (порядка 0,4 мкЗв/ч снаружи и до 1,8 мкЗв/ч внутри).

Работа посвящена исследованию особенности распределения естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и искусственного ^{137}Cs в основных зональных и интразональных почвах Горной Адыгеи. Модельной площадкой был выбран Майкопский район Республики Адыгеи со следующими типами почв: луговая, аллювиально-дерновая, бурая лесная, ранкер лесной. В работе использовались данные радиоэкологических экспедиций с 2012 по 2017 годов. Удельную активность радионуклидов определяли гамма-спектрометрическим методом, используя сцинтилляционный спектрометр «Прогресс-гамма». Время набора спектра не превышало 24 часа. Погрешность измерений удельной активности радионуклидов не более 15%. Ниже, в таблице представлены статистические данные по содержанию радионуклидов в почвах исследуемой территории. На рисунке приведен пример распределения искусственного ^{137}Cs в бурых лесных почвах, отобранных по различным элементам рельефа, на склоне ущелья реки Сук. На участках от БЛ-В до СС5 – развиты бурые лесные почвы (на участках СС1 – СС3 и СС5 бурые лесные неполноразвитые, на участке СС4 – бурые лесные примитивные, на участке СС6 – пойменные, дерново-аллювиальные). Ниже, в таблице и на рисунке представлены данные о содержании и распределении радионуклидов в почвах горной Адыгеи.

Год	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
	Средняя удельная активность, Бк/кг			
2012	25,9±2,3	31,0±3,0	396,4±36,6	44,1±3,9
2013	23,8±2,1	34,6±3,3	472,2±47,1	49,4±4,8
2014	30,8±2,9	33,1±2,7	427,2±40,7	30,7±2,7
2015	27,55±2,4	27,7±2,5	352,5±33,7	29,1±2,4
2016	24,0±1,8	24,0±2,1	480,1±44,8	36,1±3,6
2017	25,7±2,0	27,3±2,7	397,3±35,9	31,6±3,1

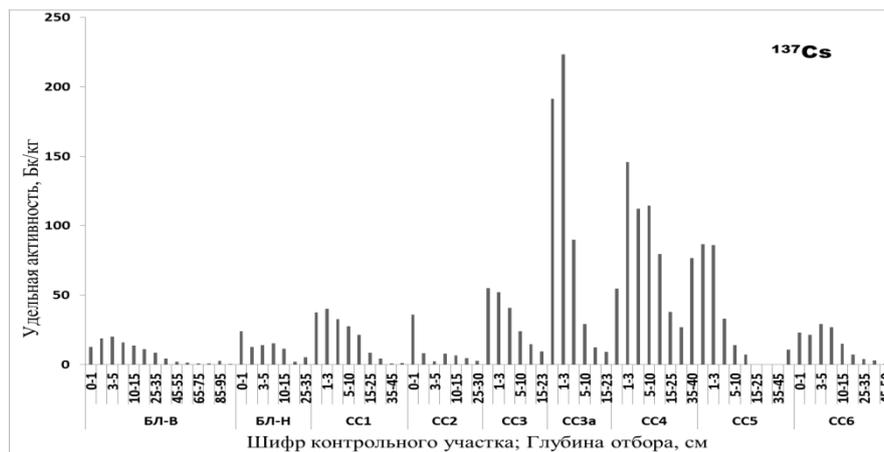


рис.1. Распределение удельной активности ¹³⁷Cs в бурых лесных почвах на склоне ущелья реки Сюк

В целом, средняя удельная активность естественных радионуклидов в почвах горной Адыгеи за шесть лет практически не изменяется. Незначительное уменьшение активности искусственного ¹³⁷Cs может быть связано как с его естественным распадом, так и с латеральной и радиальной миграцией данного радионуклида в условиях сильно расчлененного рельефа.

В катене на склоне ущелья реки Сюк последовательно сменяют друг друга: бурые лесные полнопрофильные, бурые лесные примитивные, бурые лесные неполноразвитые почвы и дерново-аллювиальные в пойме реки Сюк. Максимальное содержание ¹³⁷Cs в почвах данной катены отмечается на участках СС3а и СС4 (бурые лесные примитивные почвы). Все участки от СС1 до СС6 расположены вдоль склона. В пойме реки Сюк происходит регулярное вымывание элементов (в том числе, радионуклидов) из почвы в период осенних и весенних паводков, когда пойма затопляется. Также, в составе дерново-аллювиальных почва (СС6) преимущественно содержится песок с низкой сорбционной способностью.

В заключение необходимо отметить, что исследования особенности распределения радионуклидов в почвах территорий со сложным рельефом актуальны в области радиационной безопасности окружающей среды и позволяют решать задачи по особенностям миграции радионуклидов в наземных экосистемах.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (проект №3.6439.2017/8.9, по ЮФУ №БЧ0110-11/2017-36) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

20 - Проблемы и методология преподавания физики

- Брежнев Георгий Романович, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Занимательная физика, или как заинтересовать младшего школьника наукой
Мастропас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: brezhnev.jo@yandex.ru стр. 473
- Воробьев Максим Олегович, учитель
Тамбов, Школа №3 г. Котовска Тамбовской обл., ИМФИ
Методы эффективного преподавания физики
e-mail: vorob--yov@mail.ru стр. 474
- Геня Татьяна Анатольевна, 1 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, электроэнергетики и электротехники
Система дистанционного обучения Moodle как метод преподавания физики в вузах
Довгаленко Владимир Васильевич,
e-mail: qfwtegrity@mail.ru стр. 465
- Гуманова Мария Витальевна, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Учебный форум как элемент интерактивной технологии обучения
Мастропас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: gumanova96@mail.ru стр. 476
- Дюло Валерия Дмитриевна, 2 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, институт ядерной энергии и промышленности
Особенности организации и выполнения виртуальных лабораторных работ по физике
Рипп Александр Гешелевич, к.т.н.
e-mail: ripp1946@mail.ru стр. 478
- Коханов Павел Владимирович, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Методологические аспекты преподавания темы «геометрическая оптика» посредством моделирования световых лучей в пакете MATLAB
Донец Игорь Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: pashok-zidane1996@mail.ru стр. 479
- Крайнова Дарья Владимировна, магистрант 1 года обучения
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 стр. 480
- Лашина Кристина Александровна, 5 курс
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 стр. 482
- Макарова Ольга Геннадьевна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Особенности применения электронных тренажеров натуральных лабораторных работ в курсе изучения физики в 10 классе
Файн Марина Борисовна
e-mail: olka8156@mail.ru стр. 483

Мандрик Василина Олеговна, 3 курс
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 стр. 484

Меденцева Екатерина Олеговна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Методика применения технических средств обучения на уроках физики на примере изучения раздела 'Оптика'

Файн Марина Борисовна
e-mail: medentseva.katya@mail.ru стр. 485

Мирзоян Карина Владимировна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Моделирование в школьном курсе физики

Мастропас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: karinka_mirzoyan@mail.ru стр. 487

Новосёлова Ксения Алексеевна, 3 курс
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](mailto:kсениabelova97@gmail.com) стр. 488

Петрова Ольга Викторовна, магистрант
Сыктывкар, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, институт точных наук и информационных технологий

Формирование представлений о естественнонаучной картине мира учащихся общеобразовательной школы на внеклассных занятиях по теме «Спектральные явления в окружающем мире»

e-mail: teiou@mail.ru стр. 489

Поповская Татьяна Сергеевна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Формирование исследовательских компетенций студентов в процессе участия в проектной деятельности по физике в рамках НСО

Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.
e-mail: tanya14011@mail.ru стр. 490

Слива София Андреевна, 2 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, институт ядерной энергии и промышленности
Экспериментальные исследования работы силы трения на криволинейной траектории

Мирошниченко Евгения Владимировна,
e-mail: ripp1946@mail.ru стр. 491

Стирманова Юлия Федоровна, 5 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Динамические и статистические закономерности в школьном курсе физики

Мастропас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.
e-mail: stirmanova1996@mail.ru стр. 492

Тарасов Данил Дмитриевич, 2 курс
Севастополь, Севастопольский государственный университет, институт ядерной энергии и промышленности
Гидродинамика в лабораторном практикуме по физике

Матузаева Ольга Вячеславовна, к.т.н.
e-mail: ripp1946@mail.ru стр. 493

Занимательная физика, или как заинтересовать младшего школьника наукой

Брежнев Георгий Романович

Южный федеральный университет

Мастерова Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.

brezhnev.jo@yandex.ru

Школьники начинают изучать физику как самостоятельный учебный предмет только в 7 классе. При этом мы прекрасно знаем, что многие парадоксы окружающей нас природы объясняются именно физическими формами движения. Формирование заинтересованности младших школьников в получении новой информации посредством обучения оказывается непростой методической задачей. Большинство из них поглощены «общением» с современными гаджетами, остальную информацию считают скучной и малозначимой. Повысить заинтересованность в получении новых знаний позволяет любая внешкольная работа по предмету, если она строится как пропедевтика изучения физики. Площадкой для такой работы может стать и летний оздоровительный лагерь, и походы на природу, и летние исследовательские школы для младших школьников, и разного рода проектные смены.

Один из возможных вариантов знакомства младших школьников с физическими явлениями – занимательные опыты, необычностью и эффективностью вызывающие интерес. Из опыта своей педагогической деятельности мы предлагаем молодым преподавателям физики в качестве своеобразной рекламы учебного предмета использовать такие опыты. Цель их демонстрации – привлечение внимания к научному поиску. Рассмотрим некоторые из них

Зажженная спичка

Для данного простейшего опыта нам понадобится: спичка, фонарь и затемнённое помещение. Зажгите спичку и держите её на небольшом расстоянии от стены. Посветив фонарём на спичку, вы увидите, что на стене будет отражаться только рука и сама спичка. Вещь достаточно очевидная для взрослого человека, но у ребёнка вызывает недоумение. (Объяснение: огонь не будет отбрасывать тени, так как не является препятствием прохождения для света).

Нелопнувший шарик

Нам понадобится: воздушный шар, деревянная шпажка и небольшое количество моющего средства. Смажьте верхушку и нижнюю часть моющим средством, задайте вопрос детям: «Что будет, если я сейчас проткну шарик этой острой деревянной шпажкой?» Большинство наверняка посчитает, что шарик лопнет. Проткните шар, начиная снизу, и увидите удивлённых детей, так как шар не лопнул. (Объяснение: шар не будет лопаться, если его проткнуть в точках наименьшего натяжения, которые как раз расположены в верхней и в нижней частях шара).

Плавающие спички

Нам потребуется: миска, вода, 4 спички, жидкое мыло. В данном опыте мы будем заставлять плавать спички с помощью мыла. Опускаем в миску с водой 4 спички, спички будут практически неподвижны на поверхности воды. Задайте ребятам вопрос: «Что будет, если мы капнем в воду несколько капель жидкого мыла?». Также, как и в прошлом опыте, мало кто догадается, что случится, а если и догадается, то с большой долей вероятности не сможет объяснить природу явления. Капаем моющее средство в центр миски и видим, как спички мгновенно расплываются по краям миски. (Объяснение: мыло уменьшит поверхностное натяжение воды и вследствие этого спички расплывутся).

Примечание: не забудьте рассказать ученикам, о том, что же такое поверхностное натяжение. Можно для большего понимания привести пример о скольжении водомерки по водной глади.

Многослойная жидкость

Для этого опыта нам будут нужны: фруктовый сок, растительное масло, спирт, высокая стеклянная ваза. Этот опыт будет достаточно познавателен для ребят. Налейте на дно вазы сок, потом постепенно, медленно наливайте по стенкам вазы растительное масло. Добавьте в спирт краску (для наглядности) и также аккуратно налейте его поверх масла. В результате у нас получится красивая трёхслойная палитра. (Объяснение: разная плотность жидкостей).

В заключении хочется еще раз обратить внимание на то, что в эпоху разнообразных компьютерных технологий учитель должен как никогда стараться разнообразить способы подачи нового материала обучающимся. Ведь большая часть информации не воспринимается именно из-за неинтересной подачи материала. Еще эффективнее такая работа может быть организована, если школьники смогут выполнять занимательные эксперименты самостоятельно при умелом ненавязчивом руководстве со стороны педагога. И

если для решения возникающих в ходе выполнения таких работ проблемных ситуаций у младших школьников еще нет достаточной теоретической базы, то этот факт как раз и может стать основой интереса к получению знаний при обучении.

Список публикаций:

[1] *Методика обучения и воспитания. Физика, Общие вопросы*, Павлова М.С., 2014

[2] *Соколов И. И. Методика преподавания физики в средней школе. — Изд. 4-е, перераб. — М. : Учпедгиз, 1959. — 373, [1] с. : ил. - Библиогр. в конце глав*

Методы эффективного преподавания физики
Воробьев Максим Олегович
МОУ СОШ №3 с УИОП г. Котовска Тамбовской области
vorob--yov@mail.ru

Трудно переоценить интерес школьника к предмету, если ребенок понимает, где ему пригодятся полученные знания в жизни. [1,2] В этой статье автор делится успешным опытом использования методики практического использования знаний по физике в жизни на примере игры-квеста, посвященного дню победы 9 мая. Игра проходила в течение месяца, каждый четверг после уроков, таким образом, в ней смогли принять участие 4 возрастные группы 7-е классы, 8-е классы, 9-е классы, и все 10-е и 11-е классы.

Все классы каждой возрастной группы в день игры становились командами с названиями и отличительными знаками посвященными Дню победы. Каждой команде предстояло пройти 7 станций, на которых требовались знания по физике, истории, русскому и иностранному языкам, а также умения слаженно работать в команде при прохождении полосы препятствий. Названия каждой станции также относились к военной тематике. Здесь будет подробно описана работа станции «Законы победы», в разработке которой принимал участие автор этого тезиса.

За основу была взята статья [3], в которой очень хорошо описан вклад физиков в великую победу. Именно так называлась презентация, с которой начиналась работа на станции. В ней рассказывалось о военных машинах «Катюша» и законе сохранения импульса, электромагнетизме и размагничиванию военных кораблей под руководством И. В. Курчатова, резонансе и устранении флаттера у самолетов военной авиации под руководством М. В. Келдыша. Особый интерес вызвали опыты по получению бронестекла для самолетов проводимые И. И. Китайгородским, рассказ о вкладе физиков в обеспечение безопасного функционирования «Дороги жизни» по льду Ладожского озера под руководством П. П. Кобеко. Также оживление слушателей вызывал прототип современных зарядных устройств для сотовых телефонов, а в годы войны зарядка для радиоприемников и передатчиков в виде термоэлектрогенератора, так называемый «партизанский котелок», работающий от перепада температур при нагревании воды на костре, который разработал академик А. Ф. Иоффе. Многие фамилии ученых физиков ребята слышали впервые, поэтому в реакции слушателей уверенно отмечались гордость за отечество, патриотизм и любовь к предмету.

После презентации за оставшееся время, команде предлагалось задание, по результатам которого, начислялись баллы. В седьмых классах это были три задачи на военную тематику [4]. Восьмым классам было предложено при помощи большой бутылки с водой, карандаша, скотча, нити с грузом и листа бумаги показать, как работали «прогибографы», - устройства с помощью которых физики измеряли колебания льда во время работ по обеспечению безопасного передвижения транспорта по «Дороге жизни» на Ладожском озере. Школьная парта, принималась за лед, по которому должны безопасно перемещаться автомобили, карандаш приклеивался скотчем к крышке бутылки, нить с грузом привязывали к карандашу и опускали на пол, также как на приборах по измерению вибраций льда применяли грузила, опускаемые через отверстия во льду на дно Ладожского озера. Двое человек одновременно создавали вибрации стола, еще двое держали плотный лист бумаги, чтобы он касался кончика карандаша, и перемещали лист бумаги относительно сооруженной конструкции. Чем сильнее были вибрации стола, тем большие колебания рисовались на листе карандашом. Оценивалась правильность демонстрирования эксперимента по измерению вибраций и командная работа.

Старшим классам было дано задание по размагничиванию военных кораблей. Металлические корпуса кораблей в магнитном поле Земли превращаются в огромные плавающие магниты, становясь легкой «добычей» для магнитных мин противника. В роли корабля с магнитным полем выступал школьный полосовой магнит, в виде мины использовалась магнитная стрелка. Если корабль в виде магнита «проплывает» над магнитной стрелкой она отклоняется, что приводит к срабатыванию взрывного механизма мины. Задача старшеклассников, используя тонкий метровый провод и батарейку на 4,5 вольта уменьшить магнитное поле так, чтобы при прохождении «корабля» над «миной» стрелка не отклонилась, и ее взрывной механизм не

сработал. В этом задании также учитывались командная работа, нестандартные решения, правильное нанесение обмотки и соблюдение полярности при подключении к батарее.

В итоге данный проект показал свою эффективность в виде повышения показателей обученности, качества знаний и интереса к предмету в целом во всех классах, принимающих участие в нем. Сотрудники МОУ СОШ №3 с УИОП г. Котовска планируют сделать данное мероприятие ежегодным, перед празднованием Дня победы 9 мая.

Список публикаций:

[1] Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. Пособие для учителей. М., «Просвещение», 1975.

[2] 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.

[3] Голубь П.Д., Кропотова Н. А. Военная тематика и патриотическое воспитание школьников на уроках физики. Алтайский государственный педагогический университет. г.Барнаул

[4] Ермакова Е. В., Плотников Е. П. Составление физических задач на основе материалов о Великой Отечественной войне // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – № 7 (июль). – С. 56–60. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/15234.htm>.

Система дистанционного обучения Moodle как метод преподавания физики в ВУЗах

Геня Татьяна Анатольевна

Севастопольский государственный университет

Довгаленко Владимир Васильевич

qfwtegrity@mail.ru

На сегодняшний день существует множество разных способов изучения физики в вузах: очное, заочное, дистанционное и смешанное (совокупность традиционных университетских занятий с использованием современных средств телекоммуникаций) обучение. Самой распространённой является очная форма, то есть получение знаний непосредственно на аудиторных занятиях. Причиной этого является то, что информация, необходимая для изучения, предоставляется преподавателем в понятной и доступной форме, следовательно, не требуется длительного самостоятельного поиска среди множества источников. Материал поясняется на реальных примерах, закрепляется на практических и лабораторных занятиях. Существует обратная связь между педагогом и студентом, имеется возможность обмениваться знаниями и опытом с другими обучающимися. Наличие материальной базы в непосредственной близости дает возможность реализовывать личные и групповые проекты. Но также у очной формы существует ряд недостатков: строгое расписание занятий, не учитывающее индивидуальные способности; отсутствие возможности повторить пропущенный или непонятный материал вместе с преподавателем, сделать упор на менее изученную тему; затраты на проживание и проезд в случае, если вуз расположен далеко от места жительства предполагаемого студента. Преподавание физики в вузах вызывает существенные трудности также в связи с тем, что обширный и сложный материал необходимо изучить за сравнительно короткое время.

Дистанционное обучение, предполагающее взаимодействие учителя и учащихся между собой на расстоянии и основанное на современных технологиях связи, особенно на возможностях сети интернет, а также платформ для самостоятельного образования, помогает решить данные проблемы. Процесс обучения проходит таким образом: вуз на личном сайте или в специальном обеспечении, к которому имеют доступ обучающиеся, публикует необходимые для изучения материалы, списки и время занятий, здесь же создаётся личный кабинет студентов и преподавателей для прямой и обратной связи, после чего учащиеся выбирают и могут просмотреть необходимые им лекции в режиме реального времени, получают домашнее задание, могут следить за своим прогрессом, в любой момент вернуться к непонятой теме, пересмотреть пропущенное занятие, задать вопрос в общем чате или лично педагогу. Также есть возможность создавать курсы личного обучения или же пользоваться уже готовыми программами. Среди видов дистанционного обучения выделяют чат-занятия (учебные занятия, при котором все участники имеют одновременный доступ к чату), веб-занятия (дистанционные уроки, конференции, семинары, лабораторные работы, практикумы и другие формы учебных занятий, проводимых с помощью средств телекоммуникаций), телеконференции (проводятся, как правило, на основе списков рассылки с использованием электронной почты).

Примером платформы для дистанционного образования является Moodle – веб-приложение с открытым кодом, которое встраивается в сайты и используется учебными заведениями для онлайн-обучения. То есть каждое образовательное учреждение может внедрить систему дистанционного обучения и, при необходимости,

дополнить её нужными модулями, что облегчает учебный процесс и улучшает качество обучения. Возможности Moodle:

- Электронный формат позволяет использовать в качестве «учебника» не только текст, но и интерактивные ресурсы любого формата, поэтому студенты не привязаны к конкретному месту и времени, могут двигаться по материалу в собственном темпе.
- Обучение осуществляется как асинхронно, так и в режиме реального времени посредством онлайн лекций и семинаров.
- Система поддерживает обмен файлами любых форматов.
- Обсуждение вопросов происходит на форуме, в чате и в личных сообщениях.
- Рассылки оперативно информируют всех участников курса или отдельные группы о текущих событиях.
- Moodle создаёт и хранит портфолио каждого учащегося, контролирует время учебной работы в сети.

Поэтому с 2017 года в СевГУ (в институте радиоэлектроники и информационной безопасности) была впервые введена система очно-дистанционного обучения Moodle в одной группе по одному направлению. В настоящее время планируется внедрить еще по 8 дисциплинам. Студенты и преподаватели опробовали её на себе, отметив достоинства и недостатки.

Достоинства очно-дистанционной формы обучения:

1. Возможность заниматься в любое время и в любом месте, главное условие - наличие интернета;
2. Лучшее усвоение материала по сравнению с использованием только очной формы обучения; интересные задания, которые хочется решать; индивидуальная система оценивания.
3. Статистика всех действий, обучающихся в системе; решение сложных задач в чате с преподавателем; контроль посещаемости системы преподавателем; частичный или полный доступ к курсу в зависимости от успеваемости.

Подытоживая всё вышесказанное, можно сделать вывод, что работа в виртуальной обучающей среде — это наше будущее, ведь по сравнению с очной формой дистанционная позволяет заниматься удалённо, в любое время, используя множество различных, но собранных в одном месте и проверенных ресурсов.

Учебный форум как элемент интерактивной технологии обучения

Гуманова Мария Витальевна

Южный федеральный университет

Мастропас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.

gumanova96@mail.ru

В настоящее время, пожалуй, самая быстро развивающаяся технология в сфере образования вообще и школьного в частности – индустрия e-learning. С момента появления в Законе об образовании пункта о внешкольном обучении начали активно развиваться формы альтернативного образования. Из всех разнообразных форм наиболее продвигаемой является дистанционная форма обучения. Не обсуждая очевидные плюсы, как, впрочем, и проблемы дистанционной формы получения знаний, отметим все же, что никакие современные виртуальные тренажеры не смогут заменить «живую» практику будущему медику, экспериментатору, учителю и т.д.

На первое место в критериях успешности новых педагогических технологий, на наш взгляд, выдвигаются такие, которые позволяют реализовывать компетентностный подход к школьному образованию. Тем самым мы сможем выполнить социальный заказ на формирование у выпускников школы таких качеств, которые в дальнейшем могут позволить им свободно ориентироваться в различных жизненных ситуациях, быть активными творческими членами общества.

Имеющаяся у меня практика педагогической деятельности по обучению физике школьников общеобразовательных школ позволяет выделить как эффективную образовательную методику разработку и использование дискуссионных учебных форумов – элементов дистанционного обучения. В них отсутствуют жесткие пространственные рамки, что позволяет выступать одновременно всем желающим и в любой момент

проведения форума. Одновременно, участие в форуме позволяет решать проблему внутренней мотивации к обучению, проблему социализации, так как обучающиеся на форуме работают, как правило, в группе. А если при этом и задача ставится единая для всей группы, участвующей в форуме, которая решается всей этой группой, то учебный форум легко трансформируется в том числе и в метод проектов, и в традиционную педагогику сотрудничества.

Целью моей работы явилась разработка содержания учебных форумов при проведении занятий по физике в 7-8 классах. Организовывалась дискуссия в рамках изучения разных разделов. Например, при изучении темы «Давление твердых тел, жидкостей и газов» содержание дискуссии форума касалось всех основных понятий темы. Для подтверждения эффективности использования подобных учебных форумов, педагогический эксперимент проводился последовательно в 7 и 8 классах общеобразовательной школы: с использованием разработанных форумов и по традиционной методике. На рисунке 1 представлены темы обсуждений, созданные обучающимися для ведения дискуссий по разделу «Давление твердых тел, жидкостей и газов».

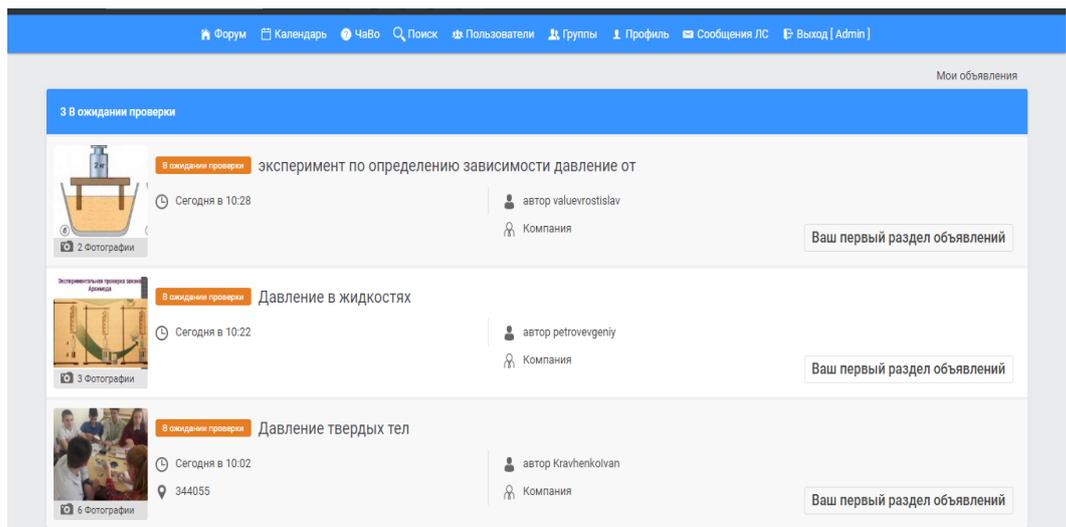


рис. 1- Темы дискуссионного форума по разделу «Давление твердых тел, жидкостей и газов»

Итоговый контроль знаний после изучения с использованием разных методик показал эффективность привлечения учебных форумов. Организация дискуссий позволяет участникам образовательного процесса контролировать свои вопросы и ответы. Ни для кого ни секрет, что школьники охотнее общаются между собой в сети Интернет. Работая в поле такого форума, обучающиеся имеют возможность организовать дискуссию не только по ограниченным учителем проблемам, но и на личные темы, помогать друг другу с выполнением домашнего задания, т.е. в большей мере способствует метапредметному обучению. А по результатам анализа сообщений можно в дальнейшем легко сформировать базу часто задаваемых вопросов (FAQ), которая может быть постоянно прописана в этом форуме, например, в виде отдельного файла.

Форум использовался также как средство размещения результатов работы в сотрудничестве, были организованы сетевые дискуссии как при изучении нового материала, так и для обобщения полученных знаний.

В дальнейшем мы ставим задачу разработки содержания комплектов подобных форумов, которые можно реализовывать на любой ступени изучения школьного курса физики, одновременно пополняя методический инструментарий учителя.

Список публикаций:

[1] Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации (ред. от 25.11.2013; с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2014).

[2] Хуторской А.В. Особенности развития дистанционного обучения в российских школах // Электронный журнал «Исследовано в России», 2, 5-8, 2000 г. - URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2000/002.pdf> (дата обращения: 19.01.2013)

[3] <https://www.forum2x2.ru/>

Особенности организации и выполнения виртуальных лабораторных работ по физике

Дюло Валерия Дмитриевна

Севастопольский государственный университет

Рипп Александр Гешелевич, к.т.н.

dyulovaleria@gmail.com

Наш университет (СевГУ) в 2017 году приобрёл в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (НИ ТПУ) программный продукт Laboratory Simulations 1.2. Это – комплекс виртуальных лабораторных работ по общей физике, содержащий 27 лабораторных работ. Использование комплекса Laboratory Simulations 1.2 в учебном процессе СевГУ началось по согласованию с НИ ТПУ на несколько лет раньше 2017 года, поэтому к настоящему времени в СевГУ накоплен определённый опыт и выработана своя технология эксплуатации Laboratory Simulations 1.2, несколько отличающаяся от той, которую предлагают разработчики – О.Г. Ревинская и Н.С. Кравченко, сотрудники кафедры ЭФ ФТИ НИ ТПУ. В настоящем докладе рассматриваются основные элементы указанной технологии и их оценка с позиции студентов.

Так как при выполнении виртуальных лабораторных работ, в отличие от реальных, нет этапа настройки лабораторной установки, то у преподавателя появляется возможность большее внимание студентов обратить на следующие этапы выполнения лабораторных работ.

- Обработка результатов экспериментов.
- Составление и защита научных отчётов по лабораторным работам.

С учётом этого на кафедре «Физика» СевГУ в течение нескольких лет эксплуатации комплекса Laboratory Simulations 1.2 сложилась технология проведения виртуальных работ, содержащая следующие элементы.

1. Виртуальные работы выполняются в компьютерном классе кафедры «ФИЗИКА» СевГУ. В классе 12 компьютеров, операционная система в них Microsoft Windows – 7, Office 2013. Студенческая группа разделяется на 12 подгрупп по одному – 2 человека в подгруппе. С каждым компьютером работает одна подгруппа. Это увеличивает личный вклад в работу каждого студента по сравнению с тем, что происходит при выполнении реальных работ, где некоторые лабораторные работы выполняются коллективами по 3 – 5 и более человек, а реально работают только 1 – 2 человека.
2. Автор доклада обучается в СевГУ по специальности «Атомные станции» В учебном плане этой специальности предусмотрена дисциплина «Физический практикум», в которой студенты как раз и выполняют виртуальные лабораторные работы. Эта дисциплина в учебном плане стоит после дисциплины «Физика», в которой предусмотрены лабораторные работы, выполняемые на реальных установках. Поэтому студенты, выполняя виртуальные работы, уже имеют опыт проведения реальных работ, так что они могут сравнивать эти два типа лабораторных работ и видеть, что оба типа работ не являются альтернативными, а взаимно дополняют друг друга, расширяя спектр знаний и умений, которые получают студенты в вузе.
3. На выполнение каждой лабораторной работы отводится 2 занятия по 2 академических часа каждое. Первое занятие предназначено для того, чтобы студенты получили у преподавателя допуск к лабораторной работе, провели эксперименты и начали обработку результатов экспериментов. Второе занятие – защита научных отчётов по лабораторной работе. В промежутке времени между указанными двумя занятиями студенты заканчивают обработку результатов экспериментов и составляют научный отчёт. Этот промежуток имеет важное значение, так как приводит к лучшему усвоению студентами исследуемых фактов.
4. Большинство реальных лабораторных работ проводятся с чисто измерительными целями. В отличие от этого, все виртуальные работы проводятся как исследовательские, то есть снимаются экспериментальные зависимости между физическими величинами для проверки теоретических зависимостей. В результате студенты более отчётливо усваивают главное в физике: физические явления и закономерности.
5. Обработку результатов экспериментов студенты выполняют не вручную, а с помощью EXCEL. В этой программе студенты выполняют следующие действия.
 - Расчёты значений физических величин, измеряемых косвенным методом – как основных, так и вспомогательных.
 - Построение графиков зависимостей между измеренными физическими величинами.

- Оценка погрешностей измерений, в том числе, для указания на графиках планок погрешностей.

В итоге обработка экспериментов оказывается более квалифицированной и, кроме того, студенты получают опыт реального применения EXCEL.

1. Научные отчёты по лабораторным работам студенты тоже составляют в EXCEL. Требования к отчётам более высокие по сравнению с требованиями, которые предъявлялись в курсе общей физики при выполнении реальных лабораторных работ. Новые требования максимально приближены к требованиям, которым должны удовлетворять научные и технические отчёты и статьи. В частности, преподаватели требуют от студентов, чтобы они в своих научных отчётах чётко комментировали все полученные результаты и грамотно формулировали общие выводы по работам. Опыт показал, что это даётся студентам очень нелегко, но это – естественный и неизбежный шаг в обучении, так как умение квалифицированно составлять отчёты и статьи является одной из важнейших компетенций, которые студенты должны приобрести в вузе.

2. Виртуальные лабораторные работы для специальностей, в учебном плане которых нет отдельной дисциплины типа «Физического практикума», вполне могут проводиться в рамках дисциплины «Физика», в этом случае одну часть лабораторных работ студенты выполняют на реальных установках, другую – на виртуальных. Мне представляется, что в этом случае тоже может быть достигнут хороший эффект. Только для этого надо обеспечить следующие условия. Во-первых, суммарный объём часов, отводимых на выполнение лабораторных работ, должен быть такой, чтобы студенты имели возможность выполнить не менее 10 лабораторных работ за семестр. Во-вторых, разумная доля виртуальных работ – это 10 – 20 %. В-третьих, на каждую лабораторную работу (как реальную, так и виртуальную) целесообразно выделить два занятия по 2 академических часа каждое.

Общий вывод. Выполнение виртуальных лабораторных работ по технологии, элементы которой описаны в тезисах, для меня и большинства моих однокурсников оказалось занятием интересным и очень полезным.

Методологические аспекты преподавания темы «геометрическая оптика» посредством моделирования световых лучей в пакете MATLAB

Коханов Павел Владимирович

Южный федеральный университет

Донец Игорь Владимирович

pashok-zidane1996@mail.ru

В настоящее время учителя физики в школах стремятся на каждом уроке изучения нового материала проводить демонстрации. Но не всегда есть возможность продемонстрировать в условиях школьного оборудования те или иные физические процессы и закономерности. Компьютерная визуализация физических явлений является основным помощником в данной ситуации, и даже при выполнении учениками лабораторных работ.

Увеличение умственной нагрузки на уроках физики в средней школе заставляет многих учителей задуматься над тем, как поддерживать у учащихся, во-первых, интерес к изучаемому предмету, а, во-вторых, их активность на протяжении всего урока. Огромную помощь в решении этого вопроса и ряда других может оказать компьютер.

Одна из проблем, которую помогает решить компьютер – это моделирование процессов. Как известно, компьютер позволяет моделировать процессы и явления двух видов. Первые – те, которые можно смоделировать в физических условиях обучения, но в связи с плохой оснащённостью лабораторий, это можно сделать только на компьютере. Вторые – те, которые нельзя провести в реальности. Такие методы исследования как наблюдение, опыт, эксперимент занимают центральное положение в экспериментальных науках, в данном случае, в физике.

Геометрическая оптика является очень благоприятной темой в школьном разделе физики для компьютерной визуализации оптических явлений.

Инструментом построения такой программы послужит MATLAB — это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения.

Преимущества данного инструмента программирования:

- ✓ возможность исследования различных подходов и решений;

- ✓ получение быстрого решения типовых задач;
- ✓ обработка изображений и видео;
- ✓ упрощение разработки новых алгоритмов;
- ✓ моделирование объектов, разработка систем управления и т. д.

Смоделировав ситуацию, когда пучок лучей пускают из одной точки, и он, проходя через тонкую линзу, преломляется, а дальше собирается в одной точке на экране.

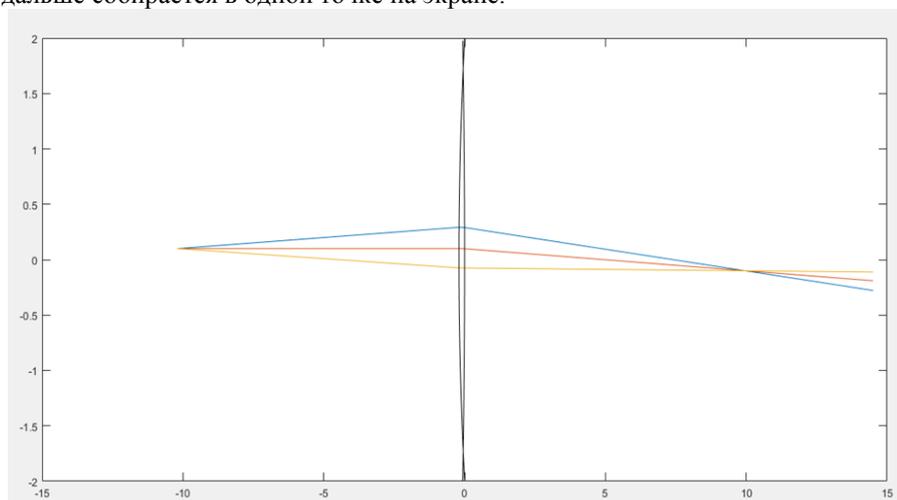


рис. 1. Компьютерная визуализация преломления лучей в случае тонкой линзы

С помощью компьютерной визуализации получилось сравнить реальные формулы для тонкой линзы с результатами моделирования, сделать выводы относительно формул для тонкой линзы, а именно, нахождение фокального расстояния и линейного увеличения. Результаты данной работы показали, что формулы для тонкой линзы являются весьма хорошим приближением.

Однако на практике при преломлении лучей протекают такие явления как астигматизм наклонных пучков и разные виды аберраций.

Приведенные модели можно применять как проектную деятельность школьников или как научно-исследовательскую деятельность.

Таким образом, методику ведения урока по оптике с сопровождением компьютерных демонстраций следует применять на уроках по физике, чтобы наглядно показывать учащимся, что все законы в физике, в частности геометрической оптики, являются приближенными и имеют свои границы применимости.

Список публикаций:

1. Сивухин Д. В. Учебное пособие для вузов. Том 4. Оптика. – М.: Физматлит, 2014.
2. Петрова К. Ю. Введение в MATLAB. – СПб.: ГУАП, 2015.
3. Касьянов В. А. Физика. 11 класс. Углубленный уровень. – М.: Дрофа, 2018.

Опыт преподавания дисциплины «Астрономия» как сетевого образовательного модуля

Крайнова Дарья Владимировна

Рогова Ольга Анатольевна, Назаров Сергей Валентинович

Севастопольский государственный университет

Рогова Ольга Анатольевна

elcom131@mail.ru

Важность астрономических знаний для человека сложно переоценить. Развитие астрономии и науки в целом тесно связаны между собой. Ведь Вселенная – это гигантская и бесплатная физическая лаборатория, в которой существуют условия, которые трудно и дорого создать на Земле: огромные давления, плотности, сверхвысокие и сверхнизкие температуры, сильнейшие магнитные поля и т. д. Поэтому наблюдение космических объектов обеспечивает развитие некоторых передовых областей физики. Многие науки, такие как биология, геология, география, история, используют достижения и методы астрономии. Появилась целая серия смежных с астрономией наук: астрогеология, астробиология, астроэкология и т. д. Существование современной

цивилизации невозможно представить без космонавтики: в околоземном космическом пространстве люди живут и проводят эксперименты практически непрерывно, человек уже побывал на Луне, и готовится к экспедиции к Марсу.

Все грандиозные успехи отечественной космонавтики и советских астрономов имели под собой надежный фундамент в виде обеспеченной государством популярности космоса и астрономии в обществе. В последние десятилетия эта популярность существенно снизилась, что уже отражается на темпах развития высокотехнологичных наукоемких направлений.

Как отмечал еще Е. П. Левитан, астрономические знания «способствуют развитию интеллекта учащихся, формируют научное представление о Вселенной, являются мотивом к учебе и непрерывному образованию, создают иммунитет к восприятию повсеместно распространяемого оккультизма и откровенного мракобесия».

Решением Минобрнауки РФ астрономия с 1 сентября 2017 года в соответствии с Письмом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 июня 2017 г. N TC-194/08 «Об организации изучения учебного предмета «астрономия» [1] возвращена в школьную программу как отдельная дисциплина. С 2018 года задания по астрономии с элементами астрофизики входят в структуру единого государственного экзамена по физике. Для наилучшего понимания базовых основ астрономии необходимы в первую очередь знания по курсу общей физики, таких разделов как «Механика», «Термодинамика», «Геометрическая и квантовая оптика».

Всё это ярко свидетельствует о необходимости повышения общего уровня астрономической грамотности, формирования естественнонаучной картины мира у молодежи и общества в целом.

В связи с этим крайне необходимо активно проводить мероприятия, позволяющие заинтересовать астрономией и космосом нашу молодежь.

С 2017-2018 учебного года в рамках реализации программы по поиску и поддержке талантливой молодежи Севастопольский государственный университет реализует ряд проектов, непосредственно связанных с привлечением школьников к основным направлениям развития НТИ. Одним из таких проектов является научно-образовательный лекторий, в котором часть занятий ведется с привлечением научных сотрудников КрАО, часть – ведущими преподавателями базовых кафедр университета.

Материал подается таким образом, чтоб являться дополнением к темам, проходимым на уроках астрономии в школах. Для этого созданы авторские программы, учитывающие специфику курса астрономии в средней школе, возраст учащихся, требования ЕГЭ к объему знаний по дисциплине.

Основной материал дается в виде лекций с презентациями, что позволяет наиболее компактно формировать смысловое ядро каждой темы и использовать наглядность видеоматериала. По мере необходимости используются интерактивные методы обучения, одним из которых является работа с виртуальным планетарием «Стеллариум».[2] Виртуальный планетарий «Стеллариум» позволяет полноценно моделировать наблюдение звёздного неба из любой точки земного шара и для любого момента времени из достаточно широкого диапазона, а также проводить наблюдение в динамике.

Логическим завершением изучения основ астрономии представляется экскурсия с практикумами и лекциями в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО), где уже подготовленные слушатели могут увидеть реальные астрономические инструменты и испытать их в работе, почувствовать себя в роли ученых.

Проводившиеся мероприятия активно посещали учащиеся профильного физико-математического 11 класса ГБОУ «Гимназия №1 имени А.С. Пушкина», где один из соавторов является учителем физики. Это позволило изучить результаты входного контроля и проанализировать баллы ЕГЭ по физике за 2017-2018 учебный год, полученные выпускниками. Данные сравнительного анализа приведены в таблице:

Проверяемые элементы содержания	Проверяемые умения	Вид контроля	Уровень сложности задания	Средний процент выполнения задания по астрономии №24 ЕГЭ по классу %		
				2/2	1/2	0/2
Элементы астрофизики: Солнечная система, звезды, галактики	Определять характер физического процесса по графику, таблице, формуле;	Входной контроль	П	10	25	65
		Контроль в форме ЕГЭ 2018		80	35	0

За 2017-2018 учебный год на лекциях и практических занятиях присутствовало более 400 человек, что дает основание говорить о востребованности подобных мероприятий в обществе и необходимости расширения тем и видов занятий.

Список публикаций:

[1] Письмо Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 июня 2017 г. N ТС-194/08 «Об организации изучения учебного предмета «астрономия».

[2] Онлайн планетарий «Стелларийум» (режим доступа <https://stellarium-web.org/>)

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

Лашина Кристина Александровна
Южный федеральный университет
Файн Марина Борисовна
kristina.lashina15@mail.ru

XXI век – век высоких информационных технологий. Этот факт оказывает существенное влияние на все сферы жизнедеятельности человека, в частности – на сферу образования. Новые технологии расширяют возможности как учителя – позволяют ему раскрыть свой творческий потенциал, используя всё многообразие методов обучения, так и учащихся – формирование прочных знаний, позволяющих им сориентироваться в новом информационном пространстве.

Качество образования – одна из основных проблем современной школы. Внедрение в систему школьного образования дистанционного обучения является одним из способов решения данной проблемы. Рост качества обучения за счет средств ИКТ, свобода выбора времени и скорости подготовки, гибкая дифференциация обучения, вовлеченность в активную познавательную деятельность – всё это не может остаться без внимания современной педагогической науки, и всё это осуществимо в рамках дистанционного обучения.

Дистанционная форма обучения даёт возможность слабым учащимся ликвидировать пробелы в знаниях, а сильным – углубить свои знания в интересующих вопросах, а так же позволяет учиться по индивидуальному плану, который учитывает все возможности учащегося и удовлетворяет всем его потребностям. Дистанционное обучение, идущее дополнительным к очному обучению, необходимо в первую очередь тем учащимся, которые испытывают трудности в традиционном очном обучении. К таким учащимся относятся одаренные и «трудные» учащиеся, а так же дети с ограниченными физическими возможностями.

Основная задача дистанционного обучения физике: учить всех, сделать процесс обучения интересным и увлекательным, учитывая при этом своеобразие, психологию и потенциальные возможности каждого из учащихся. Находить и реализовывать самые разные методические приемы, дающие каждому из учащихся ощущение комфорта, самостоятельности, творческого участия в процессе обучения, а так же способствовать свободному образованию и развитию личности. Отличительная особенность дистанционного обучения физике – создание для учащихся условий для активной деятельности, поиска полезных и интересных знаний (т.е. не передача готовых знаний от учителя к учащимся, а развитие у учащихся умения добывать эти знания самостоятельно).

Организация учебного процесса в дистанционной форме – процесс долгий и нелёгкий, состоящий из множества этапов. Один из них – разработка учебных материалов, чему и посвящена основная часть работы. Учебно-методический комплекс по теме «Магнитное поле» включает в себя:

- электронные варианты учебников, справочников;
- мультимедиа приложения;
- опорные конспекты;
- видео, аудио учебные материалы;
- презентации по учебному материалу;
- картинки с анимацией;
- самостоятельные и контрольные работы и т.д.

Мною для данного УМК разработаны материалы по следующим блокам: опорные конспекты, презентации, самостоятельные и контрольные работы. УМК по теме «Магнитное поле» будет способствовать усвоению необходимой для успешного обучения информации у школьников. Помимо этого курс физики при дистанционном обучении может быть дополнен проектной и исследовательской деятельностью.

Вторая часть работы состоит в разработке индивидуальных учебных планов, в рамках которых формируется индивидуальная образовательная траектория развития обучающегося, реализуемая в рамках дистанционного обучения. Данный педагогический эксперимент был проведен с учащимися 8 «А» класса МБОУ «Школы №92 с углубленным изучением математики», в рамках производственной практики ЮФУ. С помощью конструктора «WordPress.org» был создан сайт, на котором размещались материалы уроков в различной форме и осуществлялась работа с учащимися по индивидуальным образовательным траекториям. В качестве результатов педагогического эксперимента (внедрения дистанционного обучения с выбором индивидуальных образовательных траекторий) следует отметить:

- возрастание мотивации учащихся;
- повышение успеваемости;
- поднятие самооценки и повышение уважения к преподавателю.

Список публикаций:

- [1] Хуторской А.В. Дистанционное обучение и его технологии // Интернет-журнал "Эйдос". – 2005. – <http://www.eidos.ru/journal/2005/0910-18.htm>. – В надзаг: Центр дистанционного образования "Эйдос"
- [2] Полат Е.С. Проблемы организации системы дистанционного обучения в Российской Федерации / Вопросы Интернет-образования, №20. – <http://center.fio.ru/vio>.

Особенности применения электронных тренажеров натуральных лабораторных работ в курсе изучения физики в 10 классе

Макарова Ольга Геннадьевна

Южный федеральный университет

Файн Марина Борисовна

olka8156@mail.ru

Использование компьютера в качестве эффективного средства обучения существенно расширяет возможности педагогических технологий: физические компьютерные энциклопедии, интерактивные курсы, всевозможные программы, виртуальные опыты и лабораторные работы позволяют повысить мотивацию учащихся к изучению физики. Преподавание физики, в силу особенностей самого предмета, представляет собой благоприятную почву для применения современных информационных технологий. Одним из основных направлений применения информационных технологий на уроках физики, я считаю, выполнение компьютерного физического лабораторного эксперимента.

На уроках физики невозможно обойтись без демонстрационного эксперимента, но не всегда материальная база кабинета соответствует требованиям современного кабинета физики. И поэтому здесь на помощь приходит компьютерный эксперимент. Компьютер становится помощником не только ученика, но и учителя.

Учащимся также трудно представить некоторые явления макромира и микромира, так как отдельные явления, изучаемые в курсе физики средней школы невозможно наблюдать в реальной жизни и, тем более, воспроизвести экспериментальным путем в физической лаборатории, например, явления атомной и ядерной физики и т.д. В большинстве интерактивных моделей предусмотрены варианты изменений в широких пределах начальных параметров и условий опытов, варьирования их временного масштаба, а также моделирования ситуаций, недоступных в реальных экспериментах.

Кроме того, современные школьники отлично работают с компьютерами, могут легко и быстро находить какую-либо информацию, а самое главное – им нравится работать за компьютерами в классе.

В школе была проведена серия уроков лабораторных работ по физике в 10 «А» и в 10 «Б» классах. Один урок прошел в стандартной форме, то есть традиционная лабораторная работа, где ребята реально работали с приборами и материалами (тактильно). На другом уроке лабораторная работа была проведена с помощью электронных тренажеров, то есть учащиеся, сидя за компьютерами, визуально выполняли задание. Электронный тренажер лабораторных работ был создан в программе Flash.

По сравнению с традиционными лабораторными работами виртуальные лабораторные работы имеют ряд преимуществ:

Во-первых, нет необходимости покупать дорогостоящее оборудование и опасные радиоактивные материалы.

Во-вторых, появляется возможность моделирования процессов, протекание которых недоступно в лабораторных условиях.

В-третьих, виртуальные лабораторные работы обладают более наглядной визуализацией физических или химических процессов по сравнению с традиционными лабораторными работами.

Еще одно преимущество виртуальных лабораторных работ, по сравнению с традиционными, заключается в безопасности. В частности, использование виртуальных лабораторных работ в случаях, где идет работа с высоким напряжением или опасными химическими реактивами.

Однако виртуальные лабораторные работы обладают и недостатками. Основным из них является отсутствие непосредственно контакта с объектом исследования, приборами, оборудованием. Совершенно невозможно подготовить специалиста, который видел технический объект только на экране компьютера. Поэтому самым разумным решением является сочетание внедрения традиционных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе с учетом их достоинств и недостатков.

Компьютер в обучении не заменяет преподавателя, как об этом иногда говорится и что приводит к отрицательному отношению к процессу компьютеризации образования, а является его помощником. Аналогично – компьютерный учебник не заменяет обычный, традиционный учебник, а дополняет его.

Список публикаций:

1. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций – М.: Просвещение, 2014.

2. Касьянов В. А. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений – М.: Дрофа, 2003.

3. Тематическое поурочное планирование к учебнику физике автора Мякишева Г. Я. – М.: Просвещение, 2015.

4. Дронов, Владимир Macromedia Flash Professional 8. Графика и анимация / Владимир Дронов. – М.: БХВ-Петербург, 2006.

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

Мандрик Василина Олеговна

Томский государственный педагогический университет

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

vasilina.mandrik@yandex.ru

Одно из самых важных решений, которые человек принимает в своей жизни это выбор профессии, который начинает формироваться чаще всего в старших профильных классах. Перед учеником стоит сложная задача – разобраться в своих интересах и возможностях, выбрать профиль обучения и впоследствии вуз, профессию. Уже в средней школе многие учащиеся проявляют интерес к тем или иным предметам в большей или меньшей степени. Также есть и учащиеся, сомневающиеся в выборе профильного направления. Важно вовремя заметить и развить интерес у одних и помочь в выборе другим.

Задачи выявления и развития образовательных способностей учащихся успешно решаются через предпрофильную и профильную подготовку, которые в свою очередь могут быть реализованы в рамках внеурочной деятельности. Внеурочная деятельность, согласно ФГОС ООО понимается как образовательный процесс, реализуемый в различных формах, отличных от стандартных школьных уроков, и направленный на достижение планируемых результатов развития основного образования. Принципы организации внеурочной деятельности: ориентация на личностные интересы, потребности и способности ребёнка; возможность свободного самоопределения и самореализации учащегося; практико-деятельностная основа образовательной деятельности и др. [1]. Целесообразно организовывать внеурочную деятельность учащихся вне школы, например, в учреждениях дополнительного образования. В иной образовательной среде (отличной от школьной) учащиеся более активно вовлекаются в деятельность, самовыражаются и самоутверждаются, участвуют в новом для себя качестве.

В частности, в Томском государственном педагогическом университете (ТГПУ) на базе Центра дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования реализуется сетевой образовательный проект «Открытый профильный класс» с МАОУ средняя общеобразовательная школа № 40 г. Томска.

Проект предполагает предпрофильную и профильную подготовку учащихся 5-9-х классов школы в рамках общеинтеллектуального направления по физико-математическому, естественнонаучному и лингвистическому профилям. Для 5-6 классов проводятся ознакомительные пропедевтические курсы – своеобразные профильные пробы (обучение в течение года по программам разных профилей), которые позволяют ученику погрузиться в конкретный предмет и определить, к какому профилю относится его область интересов. Для 7-9-х классов организовано профильное обучение, заключающееся в более углубленном изучении предметов, принадлежащих конкретному профилю.

Рассмотрим профильную подготовку учащихся по физике по программе дополнительного образования «Физика 7 плюс» (физико-математический профиль) в ТГПУ. Нами разработана система занятий, направленная

на расширение и углубление материала курса физики 7 класса и создание условий для развития интеллектуального и творческого потенциала учащихся. Данный курс можно рассматривать и как предпрофильную подготовку – профильную пробу; таким образом учащиеся имеют возможность познакомиться с профилем и перейти при необходимости в другой профиль.

Задачи курса: содействие в осознании важности и универсальности изучаемых законов; содействие в формировании целостного представления о мире, основанного на приобретенных знаниях, умениях и способах деятельности; приобретение навыка решения простейших физических задач, в том числе экспериментальных; приобретение опыта исследовательской и проектной деятельности по физике, опыта познания и самопознания; содействие в формировании устойчивого интереса к дальнейшему изучению физики.

Курс рассчитан на 30 часов (2 часа в неделю); реализуется в течение учебного года. Занятия проводятся в мультимедийных аудиториях ТГПУ, оснащённых разнообразными средствами наглядности, демонстрационным оборудованием, лабораторными наборами по физике. Численный состав группы около 15 человек.

В основу курса положена тематика, интересная для учащихся. Занятия проводятся в занимательной форме, используются личностно-ориентированный и проблемно-деятельностный подходы. Широко применяется наглядность, групповая деятельность школьников, игровые технологии (творческие задания, работа в командах, «поощрительные сертификаты», конкурс «Лучшая тетрадь» и др.) [2]. Много времени уделяется практической деятельности школьников – проведение экспериментов («Магдебургские полушария»), создание «живых» моделей («Башня плотностей» и др.), решение занимательных задач, выполнение практических лабораторных работ в дополнение к школьному курсу («Определение массы и веса воздуха в аудитории» и др.).

Среди учащихся группы проводились контрольные срезы и анкетирование, что позволило выявить следующие результаты при реализации данной программы: учащиеся лучше усваивают материал в случае регулярного использования на занятиях по физике экспериментальных задач, лабораторных работ, демонстрационных экспериментов; учащиеся, которые не проявляли интереса к курсу в начале учебного года, в настоящий момент принимают активное участие в образовательном процессе. Можно утверждать, что одна из главных задач курса внеурочной деятельности реализована – у учащихся наблюдается наличие устойчивого интереса к физике, желание обучаться в физико-математическом профиле.

Список публикаций:

[1] Федеральные государственные образовательные стандарты общего образования: официальный сайт Министерства образования и науки Российской Федерации. URL: <http://минобрнауки.рф/документы/543> (дата обращения: 10.12.2018)

[2] Внеурочная деятельность школьников. Методический конструктор: пособие для учителя / Д.В. Григорьев, П.В. Степанов. – М.: Просвещение, 2011. – 223 с. – (Стандарты второго поколения).

Методика применения технических средств обучения на уроках физики на примере изучения раздела "Оптика"

Меденцева Екатерина Олеговна

Южный федеральный университет

Файн Марина Борисовна

medentseva.katya@mail.ru

Развитие научно-технического прогресса привело к информатизации мирового сообщества, разработке сложных технических устройств, таких, как персональный компьютер, цифровая фото- и видеотехника, интерактивная доска, обладающих высокой степенью наглядности. Все это оказало огромное влияние на сферу образования. На сегодняшний день обучающиеся достаточно мобильны, свободно постигают новейшие технологии, программные продукты и т. п. В связи с этим, в современном мире человек должен владеть не только определенным объемом знаний и умений, но и постоянно совершенствоваться и находить необходимую информацию, тем самым приобретая дополнительные знания. Но любой познавательный интерес формируется из любопытства, естественного интереса, толчка к познанию чего-либо нового. Далее, любопытство под действием какого-либо интересного факта или опыта, может перерасти в познавательный интерес. Но устойчивый познавательный интерес нельзя сформировать одним лишь опытом. Для этого необходим целый комплекс мер, которые необходимо применять к обучающимся. Таким образом, актуальность данной работы обусловлена современными тенденциями в развитии образования и недостаточной применяемостью средств реализации технических средств в обучении физики.

Исходя из актуальности вышеперечисленного была поставлена цель нашей работы: раскрытие необходимости применения технических средств обучения на уроках, эффективную организацию учебного процесса с помощью технических средств обучения при изучении раздела «Оптика».

Применение современных технических средств обучения в наши дни становится все более актуальным. В связи с повсеместным использованием средств новых информационных технологий на производстве и в повседневной жизни очень важно научить учащихся работать с современной техникой. Умение учащихся работать с информацией на современном уровне, используя при этом традиционные источники, электронные носители информации и Интернет, позволяет учителю организовать учебный процесс и внеклассную работу таким образом, чтобы у учащихся развить познавательный интерес, интеллектуальные и творческие способности.

Использование средств новых информационных технологий в учебном процессе диктуется требованиями современной жизни. Ведь физика предусматривает изучение целого ряда процессов и свойств, которые важно представить наглядно, что успешно можно осуществить с помощью современных технических средств, без использования сложной техники.

В качестве примера использования ТСО на уроке физике, была выбрана мультимедийная технология Flash. Данная технология относится к одной из интенсивно развивающихся современных мультимедийных технологий. Встроенный язык программирования, позволяет организовать интерактивность любой сложности (например проведение физического опыта и его демонстрация при различных параметрах).

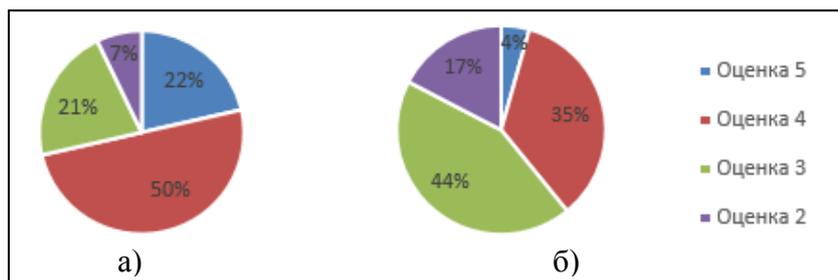


рис.1. Процентное соотношение учащихся, освоивших материал на оценки, указанные на диаграмме: а) учащиеся 11 «Б» класса; б) учащиеся 11 «А» класса.

В рамках педагогической практики мною были проведены уроки по темам: «Геометрическая оптика. Законы геометрической оптики» в 11-х классах. В качестве контрольной группы были выбраны учащиеся 11 «А» класса, которые данную тему изучали без использования технических средств обучения. При изучении законов ГО в 11 «Б» классе были использованы ТСО, в том числе электронные приложения, разработанные мною. По результатам проведенного тестирования, учащиеся 11 «Б» класса показали наиболее высокие результаты, в сравнении с учащимися 11 «А». На рис.1 показаны результаты тестирования.

В контрольные задания были так же, кроме расчетных задач, включены качественные задания на понимание физических процессов при прохождении света через рассеянные среды. Учащиеся, изучившие данные явления с использованием анимационных роликов и параллельном объяснении учителем, справились с заданиями лучше, чем учащиеся контрольной группы. После того, как запланированные уроки были проведены, был проведен анализ качества усвоения материала класса, где использовалась технология Flash, в ходе которого были сделаны следующие выводы:

1. Использование электронных образовательных ресурсов значительно облегчает и сокращает время подготовки учителя к уроку;
2. Использование ЭОР в обучении школьников позволяют не только сделать урок ярким, нестандартным, но и создают предпосылки для освоения способов деятельности;
3. Использование современных технических средств повышают эффективность обучения, поскольку наглядно-образные компоненты мышления играют исключительно важную роль в жизни человека обучения: графика и мультипликация помогают ученикам понимать сложные логические построения;
4. Возможности, предоставляемые ученикам, манипулировать (исследовать) различными объектами на экране дисплея, изменять скорость их движения, размер, цвет и т. д. позволяют детям усваивать учебный материал с наиболее полным использованием органом чувств и коммуникативных связей головного мозга.

Список публикаций:

- [1] Иновационный комплекс по разделу «Оптика» курса общей физики. Международная научно-практическая конференция «Иновационные технологии в образовании», «НИТО-2009» г. Екатеринбург. Файн Е.Я., Филиппенко В.П.
 [2]] Иновационный комплекс по разделу «Оптика» курса общей физики. ВНКСФ-15. Всероссийская научно практическая конференция студентов физиков и молодых ученых. Кемерово-Томск, 2009, стр. 843-844. Филиппенко В.П.

Моделирование в школьном курсе физики

Мирзоян Карина Владимировна

Южный федеральный университет

Мастерпас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.

karinka_mirzoyan@mail.ru

Современный школьный курс физики имеет в своем содержании большое количество достаточно сложных закономерностей, изучение которых невозможно проводить, используя реальные объекты, окружающие нас. Поэтому на любом этапе изучения физики, так же как и при изучении других школьных предметов, широко используется общенаучный метод моделирования.

Мое знакомство с методологическими проблемами школьного курса физики при подготовке к педагогической практике как раз начиналось с изучения возможностей использования моделей при проектировании уроков в разных классах и по разным темам.

В школьном курсе физики используются практически все модели физики: это и традиционные макро- и микромоделю, и не совсем обычные квантово-механическая модель и модель-теория. Методическая литература по физике, в основном, содержит разработки конкретных уроков с использованием моделей, формируются понятия о тех или иных моделях, даются их определения, указываются границы их применимости. Говорить о том, что использование тех или иных моделей вполне себя оправдывает можно только в том случае, если они способствуют систематизации многочисленных представлений о родственных явлениях или процессах. Модели необходимы также и в том случае, если мы исследуем явления, которые требуют нетрадиционных измерительных методик или вообще не могут быть исследованы количественно. В методических разработках в той или иной степени присутствуют попытки рассмотреть разнообразные физические явления с помощью одних и тех же моделей, учитывая границы их применимости. Однако, анализ содержания как школьного курса физики вообще, так и отдельных его разделов в частности, убеждают в том, что метод моделирования реализуется для представления разных явлений весьма обособленно. О возможности взаимопроникновения моделей можно говорить разве что в применении к модели «материальная точка». Но ценность и значимость используемых моделей как раз в том, чтобы с их помощью обобщать естественнонаучные представления о нашем мире.

Для исследования вопроса о использовании моделирования в школьном курсе физики мною выбрана модель «идеальный газ». В школьном курсе физики понятие о модели идеального газа появляется только на второй ступени обучения физике при изучении основ молекулярно-кинетической теории в 10 классе. При этом в зависимости от выбранной последовательности изучения раздела обучающиеся знакомятся с двумя разными определениями модели идеального газа - термодинамическим и молекулярно-кинетическим. Оба определения исходят из возможностей изменения термодинамических параметров газа, что и определяет границы применимости этих моделей. Поэтому представляется целесообразным сформировать интегрированное понятие этой модели и рассмотреть границы применимости с этих двух точек зрения. Каждое упоминание о модели идеального газа должно сопровождаться рассуждениями о том, что эта модель, так же как и другие, не всегда может отражать с заданной степенью точности реальную систему, а только в определенной области изменения параметров.

Анализ степени усвоения обучающимися модельных представлений при изучении раздела «Основы молекулярно-кинетической теории и термодинамики» по результатам проведенных тестирований показывает, что школьники чаще всего формально воспринимают понятие идеального газа: в их представлении это и система материальных точек, и газ, состоящий из атомов малых размеров; для некоторых идеальный газ вообще не абстракция, а реально существующий вид газа. Исправить такую ситуацию можно, если при изучении последующих разделов физики мы будем находить возможности вернуться к этому понятию. Так например, при изучении свойств металлов и полупроводников можно показать, как с помощью именно модели идеального газа может быть построена теория электропроводности этих веществ. На завершающем этапе изучения физики понятия о всех изученных моделях имеет смысл использовать при обобщении основных законов физики и формировании представлений о единой картине мира. Поэтому нам представляются актуальными методические разработки и рекомендации по использованию моделей и аналогий в школьном курсе физики для обогащения методического инструментария учителя.

Список публикаций:

- [1] Бухарова, Г.Д. Молекулярная физика и термодинамика. Методика преподавания./Г.Д. Бухарова –М. Юрайт,2017.–221 с.
- [2] Иванов, А.Е. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: Учебник / А.Е. Иванов, С.А. Иванов. - М.: КноРус, 2012. - 952 с.

Разработка заданий для командного мероприятия по физике

Новосёлова Ксения Алексеевна

Карпенко Анастасия Игоревна

Томский государственный педагогический университет

Власова Анна Алексеевна, к.п.н.

kсениabelova97@gmail.com

Одна из задач школьного курса физики – формирование у учащихся умений применять полученные на уроках знания. Данная задача реализуется не только на уроках, но и в рамках внеурочной деятельности – элективные курсы, экскурсии, мероприятия по физике и др. Отличный от школьного формат проведения внеурочных занятий, мероприятий активизирует у учащихся такие психические процессы как внимание, мышление, запоминание, интерес, что способствует познавательной активности учащихся, стимулированию интереса к предмету, и, соответственно, более качественному усвоению материала и формированию умений.

Ежегодно в Томском государственном педагогическом университете Центром дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования проводится региональный командный турнир школьников «ФИЗИК на все руки». Участие в турнире предполагает командное прохождение «Научных бюро» – соревнование сразу по нескольким направлениям в области физики и астрономии (разработка и защита исследовательского проекта, выполнение экспериментов, решение задач, в т.ч. экспериментальных, участие в викторинах, и т.д.). [1]. Участники – школьные команды, состоящие из пяти учащихся разных классов с 7 по 11-й – всего 50 учащихся.

Для одного из отделов Теоретического бюро II этапа турнира нами были разработаны задания. Специфика данного отдела предполагает анализ текстового и видеоматериала, выявление физических явлений, процессов, закономерностей. Командам были предложены задания аналитического типа и задания с элементами мониторинга. (Аналитический метод заключается в делении задачи на несколько более простых задач. В результате анализа отыскивают закономерность, которая связывает искомую величину с заданными. [2]. Мониторинг – это постоянное наблюдение за каким-либо процессом с целью подтверждению его соответствия требуемому результату. [3])

1 блок заданий – «Физика в литературе». Во многих литературных произведениях имеются описания физических явлений или процессов. Участникам турнира предлагается в зависимости от текста произведения либо найти те или иные физические явления и процессы и описать их, либо найти ошибку и аргументировать её.

Пример задания: *Прочтите отрывок из произведения, найдите физическую ошибку и кратко опишите сущность ошибки. «У нас в кают-компании на стене висит ружьё. Старинное охотничье ружьё. Так вот, это самое ружьё непременно раз в год стреляет. И в этом году тоже – как бабахнет! Мы как раз стояли у острова Борнео. Я врываюсь в кают-компанию и что же вижу? Ружьё раскачивается на стене, как маятник в штурме, а пуля пробила насквозь аквариум с моими золотыми рыбками... Вода выливается через дыры, как сквозь кингстоны, а бедные рыбки подпрыгивают, бьются о дно... Пришлось мне заткнуть пробойну и вызвать своих помощников». «Приключения капитана Врунгеля» А.С. Некрасов.*

2 блок заданий □ «Физика и мультипликация». Суть данных заданий аналогична. Командам предлагаются к просмотру отрывки из известных мультипликационных фильмов. Задание: либо найти и описать увиденные в фильме физические явления или процессы, либо найти и описать «физические ошибки» □ явления и процессы, не подчиняющиеся законам физики.

Пример задания: *Посмотрите отрывок из мультфильма «Карлсон, который живёт на крыше». Найдите физическую ошибку и опишите сущность ошибки.*

3 блок □ «Виртуальная лабораторная работа». Команде предлагается видеозапись виртуальной лабораторной работы, имитирующей работу с реальными физическими приборами. В данной работе в задачу команды входит мониторинг данных с виртуальных приборов, выявление закономерностей, построение графика зависимости физических величин.

Запустите виртуальную лабораторную работу (видеофайл) «Проверка Закона изобарного процесса Гей-Люссака». Снимите показания с приборов, внесите в таблицу. Постройте график зависимости объёма от температуры.

Результаты проверки работ участников турнира представлены на гистограмме (рис. 1).

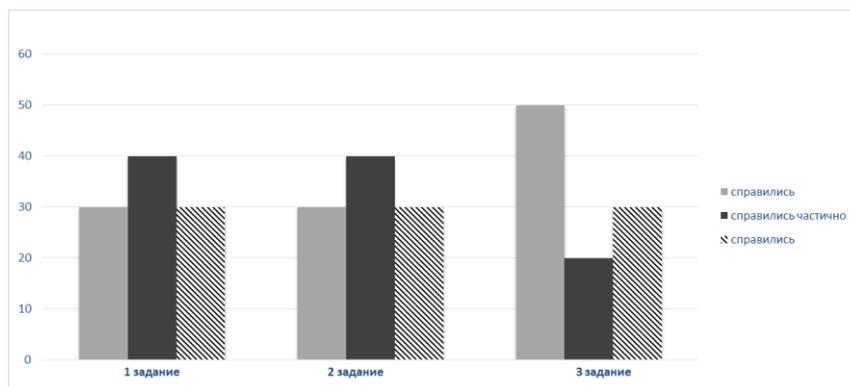


рис. 1 Результаты проверки работ

Выполнили полностью задания 30% участников. Частично справились (указали на физическую ошибку, но не пояснили; указали не все физические процессы, явления из произведения/мультфильма; сняли показания приборов, но не построили или неправильно построили график;) – 40% с 1-м и 2-м заданиями и 20% с 3-м заданием. Не справились с 1-м и 2-м заданиями 30%, с 3-м заданием – 50%.

Анализ работ позволил выявить основные проблемы, на которые стоит обратить внимание: не все учащиеся умеют проводить анализ текстовых и видеоматериалов и выделять в них главные смысловые аспекты; не все умеют соотносить известные физические законы с окружающими нас явлениями и процессами. Важно решать с учащимися больше «реальных» и практических задач, связанных с работой над текстом, анализом данных, работой с физическим оборудованием, которые помогут обучающимся соединить теоретические знания с практикой.

Список публикаций:

- [1] Т.В. Швалёва, А.А. Власова Соревновательные мероприятия по физике и математике как средство повышения престижа физико-математического образования // Преподавание естественных наук, математики и информатики в вузе и школе : VI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (28-29 октября 2013 г.). – Томск : Издательство Томского государственного педагогического университета, 2013. – 228 с. С. 160-163.
- [2] Лекция 9. Решение задач из физики // <http://fizmet.org/ru/>: Методика обучения физике в средней школе. Общие вопросы. Конспекты лекций. 2003-2019. URL: <http://fizmet.org/ru/L9.htm> (дата обращения: 11.03.2019).
- [3] Ж.Г. Ганеева Определение понятия «Мониторинг» в различных сферах его применения // Текст научной статьи по специальности «Экономика и экономические науки». – Вестник Челябинского государственного университета. – 2006. – № 1. – С. 30-32.

Формирование представлений о естественнонаучной картине мира учащихся общеобразовательной школы на внеклассных занятиях по теме «Спектральные явления в окружающем мире»

Петрова Ольга Викторовна

*Сыктывкарский государственный университет им. Питиримы Сорокина
teiou@mail.ru*

Понятие «естественнонаучная картина мира» (ЕНКМ) включает в себя систему научных знаний и представлений о мире, познавательные модели и методы, сформированные на том или ином этапе развития общества. ЕНКМ позволяет раскрыть суть процесса отражения многообразной системы знаний, накопленных человечеством, в сознании отдельного человека, его мировосприятии и мировоззрении [1]. Поэтому не случайно проблема формирования научной картины мира, составной частью которой являются ЕНКМ и частнонаучная – физическая картина мира, рассматривается в «Федеральном государственном образовательном стандарте основного общего образования» (ФГОС). Стандарт устанавливает следующие требования к результатам освоения обучающимися основной образовательной программы учащимися: «...формирование целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки и общественной практики, а также формирование целостной научной картины мира...». [2].

Важным вкладом в процессе формирования представлений о современной естественнонаучной картине мира является исследовательская деятельность учащихся, которая максимально приближена к подлинному научному исследованию и характеризуется следующими этапами: определение целей исследовательской деятельности; выдвижение проблемы исследования по результатам анализа исходного материала; формулировка гипотезы о возможных способах решения поставленной проблемы и результатах предстоящего

исследования; уточнение выявленных проблем и выбор процедуры сбора и обработки необходимых данных, сбор информации, ее обработка и анализ полученных результатов, подготовка соответствующего отчета и обсуждение возможного применения полученных результатов [3].

Целью данной работы ставится разработка цикла лекций и исследовательских заданий, раскрывающих научное обоснование протекающих в природе спектральных явлений и как следствие формирующих естественнонаучную картину мира учащихся средней общеобразовательной школы

Разработанный в рамках данного исследования цикл лекций и исследовательских заданий включает следующие темы: спектр электромагнитных волн; физические принципы строения глаза; субтрактивное и аддитивное смешение цветов; дифракционный и призматический свет; дифракция излучения на периодической структуре дорожек CD-, DVD-, blue-ray-дисков. Работа была апробирована на дополнительных занятиях в рамках «Малой академии наук» ФИЦ КНЦ УрО РАН и на внеурочных занятиях с учащимися общеобразовательной школы.

Список публикаций:

[1] Засобина Г. А., Майорова Н. С. // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. 2011. № 17. С.14-17.

[2] Приказ Минобрнауки России от 17.12.2010 N 1897 (ред. от 31.12.2015) Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования.

[3] Полат Е. С., Бухаркина М. Ю., Моисеева М. В., Петров А.Е. Под ред. Е.С. Полат. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования М., 2005.

Формирование исследовательских компетенций студентов в процессе участия в проектной деятельности по физике в рамках НСО

Поповская Татьяна Сергеевна
Южный федеральный университет
Петрова Галина Григорьевна
tanya14011@mail.ru

Данная тема представляет особую актуальность, так как концепцией модернизации российского образования определяется цель высшего образования: подготовить квалифицированного, компетентного специалиста, который профессионально самосовершенствуется, способен к эффективной работе и конкурентоспособен на рынке труда. В силу этого, одним из наиболее эффективных методов реализации компетентностного подхода к обучению студентов на сегодняшний день является проектная деятельность.

Успешная реализация данной технологии возможна лишь в том случае, если преподаватель обладает достаточным уровнем подготовки в данной области. Объясняется это тем, что организация проектной деятельности включает ряд условий, которые необходимо выполнять: соблюдение принципов и требований к проектам; умение подобрать тип проекта, максимально соответствующего потребностям, склонностям и интересам обучающегося; создание условий, способствующих развитию различных качеств и способностей у обучающихся, способов и средств для поддержания мотивации обучающихся и т.д [1]. Исходя из этого, будущий преподаватель может достичь требуемого уровня подготовки только тогда, когда сам будет субъектом проектной деятельности.

Активное участие будущих преподавателей (студентов педагогического направления) в проектной деятельности по физике в рамках научного студенческого общества (НСО) содействует эффективному формированию у них общих и профессиональных компетенций. Внедрение в учебный процесс материалов проектного и исследовательского содержания способствует развитию проектно-исследовательской компетенции студентов. Систематическое использование проектной деятельности и исследований увеличивает эффективность обучения студентов, способствует развитию их творческих способностей, позволяет им овладеть всеми умениями, навыками и качествами, играющими важную роль в дальнейшей деятельности.

Одним из старейших научных студенческих обществ Южного федерального университета является НСО «Геофизика» Физического факультета. Студенческая исследовательская группа ведёт свою историю с 1931 года и имеет богатый опыт и традиции организации исследовательской деятельности студентов – будущих учителей физики. Студенты с первых лет обучения принимают участие в научной работе кафедры, участвуют в организации и проведении исследовательских экспедиций, обработке и анализе полученных данных, подготовке докладов на конференции различных уровней. Неудивительно, что многие из участников НСО выбирают работу в вузе, и научная деятельность становится делом их жизни.

Рассмотрим те основные умения и навыки, формированию которых способствуют основные и необходимые виды работы студентов в рамках деятельности НСО «Геофизика»:

1. Работа в научных экспедициях: умение планировать деятельность, время, ресурсы; получение экспериментальных навыков по физике в ходе выполнения научного эксперимента; технические навыки

- (пайка, ремонт и т.п.); социализация (работа в команде, коммуникации и т.п.); навыки преодоления трудностей, формирование психологической устойчивости к стрессу, вызванному трудностями работы в экспедиционных условиях; бытовые навыки; умение принимать решения и прогнозировать их последствия; навыки анализа собственной деятельности (ее хода и промежуточных результатов).
2. Семинарские занятия НСО: умение самостоятельно находить недостающую информацию в информационном поле; умение запрашивать необходимую информацию у эксперта; навыки коллективного планирования; умение взаимодействовать с любым партнером и вести дискуссию; навыки взаимопомощи в группе в решении общих задач; навыки делового партнерского общения; умение находить и исправлять ошибки в работе других участников группы; коммуникативные навыки.
 3. Участие в конференциях: умение работы над докладом; умение самостоятельно генерировать идеи, т.е. изобретать способ действия, привлекая знания из различных областей; умение находить несколько вариантов решения проблемы; умение выдвигать гипотезы; умение устанавливать причинно-следственные связи; получение навыков обработки и систематизации данных; анализ результатов, поиск закономерностей; оформление результатов исследований (построение графиков, составление таблиц, формулирование тезисов докладов, презентации); навыки публичного выступления, умение ответить на вопросы; рефлексивные умения [2].

Таким образом, благодаря опыту и традициям организации студенческой проектно-исследовательской деятельности, накопленному в НСО «Геофизика» Физического факультета ЮФУ за многие десятилетия, студенты, входящие в состав группы, имеют возможность принимать активное участие в различных видах деятельности, начиная от непосредственного участия в экспериментах, семинарах, конференциях и т.д., заканчивая решением бытовых и производственных вопросов, что способствует всестороннему развитию личности будущего учителя физики. На протяжении всей деятельности НСО выполняется реализация проекта студентами. Одновременно с этим, формируются исследовательские компетенции студентов в процессе участия в проектной деятельности по физике в рамках НСО.

Список публикаций:

[1] Текучева Е.Н. // *Методист*. 2014. №2. С.61.

[2] «Методические рекомендации по организации проектной деятельности обучающихся в соответствии с требованиями ФГОС СОО в ГБПОУ КСУ 10 Москва «Выживает не самый сильный, не самый умный, а ...» <http://methodichka.x-pdf.ru/15raznoe/181076-1-metodicheskie-rekomendacii-organizacii-proektnoy-deyatelnosti-obuchayuschih-sootvetstviu-trebovaniyam-fgos-soo-gbpou-k.php>

Экспериментальные исследования работы силы трения на криволинейной траектории

Слива София Андреевна

Севастопольский государственный университет

Мирошниченко Евгения Владимировна

brinksofia@mail.ru

В курсе общей физики, который изучают студенты технических вузов, при изучении действия силы трения скольжения рассматриваются, как правило, ситуации, когда поверхность, по которой скользит тело, является плоской. Это характерно и для изложения материала на лекциях, и для расчётных задач, которые студентам предлагаются на практических занятиях, и для изучения реального движения тел в лабораторных установках, с которыми студентами знакомятся при выполнении лабораторных работ по физике.

Из этого правила есть, правда, исключения. Одно из них – лабораторная работа по физике, входящая в программный продукт Laboratory Simulations 1.2. Продукт представляет собой комплекс виртуальных лабораторных работ по общей физике, разработанный в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (НИ ТПУ). В 2017 году СевГУ приобрёл продукт Laboratory Simulations 1.2 и внедрил его в учебный процесс. Лабораторная работа, о которой идёт речь, называется «Работа и энергия». В этой работе студентам предлагается наблюдать за движением шарика, который с помощью пружинного пистолета запускается в движение по круговой направляющей (*рис. 1*).

Движение шарика определяется тремя силами, которые на него действуют: силой тяжести, силой реакции и силой трения скольжения. Сила тяжести постоянна, а две другие силы *меняются* в процессе движения, поскольку направляющая – криволинейная. Это приводит к серьёзной проблеме: дифференциальные уравнения, описывающие движения шарика, оказываются *нелинейными и неоднородными*, так что их решение проблематично. Однако из этих уравнений, даже если их не решать, следуют два интересных факта.

1. Характер движения шарика зависит только от его начальной скорости и *не зависит от массы шарика*.
2. Работа силы трения скольжения, как на начальном прямолинейном участке, так и на криволинейном участке *пропорциональна массе шарика*. То, каким образом можно прийти к этому выводу, само по себе

имеет важную познавательную ценность, так как студенты узнают, что работу силы трения скольжения на криволинейной траектории можно определять *интегрированием*.

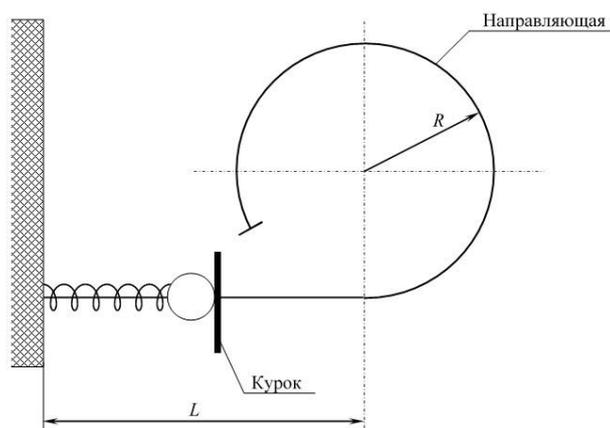


рис. 1. Схема экспериментальной установки

Указанные два теоретических факта определяют две задачи, которые можно поставить для экспериментального исследования движения шарика.

1. Исследовать зависимость максимальной высоты подъёма шарика h_{max} и времени его подъёма $t_{п}$ от массы шарика m . Теория утверждает, что этой зависимости нет, вот и интересно, что покажут эксперименты.
2. Исследовать зависимость работы силы трения скольжения A от массы шарика. Задача ясная: надо убедиться, что эта зависимость прямо пропорциональная.

Для решения второй задачи надо определить способ измерения силы трения скольжения. Так как эта работа определяется интегралом, то надо как-то измерить значение этого интеграла. Это можно сделать путём проведения подробного исследования траектории шарика, то есть получения экспериментальной зависимости координаты шарика от времени, и использования результатов измерений для *численного* интегрирования. Этот факт очень познавателен, так как показывает студентам, что интегралы можно не только вычислять, но и *измерять*.

Интересно, что работу силы трения скольжения A можно определить ещё одним, косвенным, но более простым способом – основанном на использовании закона сохранения энергии. В этом случае можно обойтись без численного интегрирования. Мало того, не требуются никакие дополнительные эксперименты – вполне достаточно использовать результаты первого эксперимента: экспериментальную зависимость $h_{max}(m)$.

Тот факт, что работу силы трения можно измерять двумя способами: прямым (численным интегрированием) и косвенным, позволяет поставить ещё одну экспериментальную задачу.

3. Убедиться, что оба способа измерения работы силы трения скольжения дают одинаковые результаты, или, предполагая, что результаты одинаковы, измерить коэффициент трения скольжения.

Разумеется, выполнение этой задачи требует проведения кропотливого эксперимента для получения зависимости координаты шарика от времени.

Опыт проведения описанных экспериментов при различных параметрах установки показал, что во всех случаях экспериментальные результаты прекрасно подтверждают теорию и дают достаточно точное значение коэффициента трения скольжения.

Динамические и статистические закономерности в школьном курсе физики

Стирманова Юлия Федоровна

Мастропас Зинаида Петровна

Южный федеральный университет

Мастропас Зинаида Петровна, к.ф.-м.н.

stirmanova1996@mail.ru

Физика долгое время, с самого своего возникновения изучала закономерности движения и изменения систем, состоящих из некоторых изначально заданных и неизменных элементов. По мере развития науки появилась необходимость теоретического описания проблем исчезновения старого и возникновения нового. Но процессы рождения и исчезновения любых элементов подчиняются диалектическим закономерностям. Движение же и изменения в системах с неизменными элементами можно описывать и в рамках формальной логики, то есть динамическими закономерностями и однозначными причинно-следственными связями.

Революционное внедрение в физику диалектической логики созданием и развитием квантовой механики одновременно поставило и новую задачу для методики обучения физике: органическое сочетание классической и современной физики в школьном курсе. Традиционные, давно сложившиеся разделы курса школьной физики потребовали обновления, а в некоторых вопросах и нового изложения. При этом и от учителя потребовалось овладение основами современной физики, ее методологией, что, несомненно, связано с определенной психологической перестройкой.

Методологические проблемы современной физики нашли свое отражение в новых учебниках и учебных пособиях по физике для школьников, однако подобное обновление в полной мере коснулось практически только тех разделов, которые сами относятся к новой физике – это квантовая физика и физика элементарных частиц. В настоящее время никто из методистов не подвергает сомнению тот факт, что формирование у школьника правильного представления о мире, в котором он живет, невозможно без знакомства его с парадоксальными по существу квантовыми явлениями [1]. Но изучение этих явлений осуществляется уже на этапе завершения обучения физике в 11 классе, а в курсе физики основной школы вообще не предусмотрено.

Анализ ответов обучающихся разных классов на качественные вопросы по методологии науки и методам познания показывает, что для них более привычным является мир однозначных причинно-следственных связей. Это означает, что фундаментальность вероятностных закономерностей не достаточно глубоко проникла в содержание физического образования. Вопрос соотношения динамических и статистических закономерностей в школьном курсе физики остается важной методологической и методической проблемой, которую должен решать учитель, проектируя свою работу по формированию в сознании обучающихся правильного отношения к случайному [2].

Практика нашей педагогической деятельности показывает, что младшие школьники, даже еще не изучающие физику (5-6 кл.) в силу своей любознательности готовы правильно воспринимать неоднозначные явления природы. Поэтому задача метапредметного обучения в том, чтобы школьник не потерял интерес к получению новых знаний и к тому моменту, когда для рассмотрения сложных процессов его познакомят с необходимыми для этого законами. Главенствующая роль в решении этой задачи отводится именно учителю физики. Нам кажется, что, планируя содержание физического образования в любом классе, учитель должен построить, прежде всего, для себя, стройную систему последовательного рассмотрения разных разделов физики на единственно верной методологической основе – фундаментальности вероятностных законов. Это означает, что все изучаемые школьниками закономерности, в конечном итоге, должны быть представлены как статистически вероятные.

Для разработки рекомендаций по организации такой учебной деятельности мы, проведя анализ современного содержания школьного курса физики, выяснили соотношение между динамическими и статистическими закономерностями в различных разделах школьного курса, предложили варианты включения вероятностных представлений в традиционно «динамические» разделы механики, рассмотрели возможности развития понятий о вероятностных процессах по «вертикали» на разных ступенях обучения физике.

Считаем, что подобный анализ должен быть проведен и для содержания школьного курса биологии, так как проблемы возникновения жизни на Земле, изменение численности популяций, попытки моделирования нервной системы и др. также ярко демонстрируют фундаментальность вероятностных законов. Ведь в конечном итоге правильное представление выпускника о современной естественнонаучной картине мира – это результат метапредметного обучения [3].

Список публикаций:

- [1] Горбушин С.А. *Как можно учить физике: методика обучения физике. Учебное пособие.* М. НИЦ ИНФРА-М, 2016.–484 с.
[2] Орлов В.А. *Статистические закономерности в физике. 10-11 классы. Учебное пособие / В.А. Орлов, Ю.И. Пономарев, Т.Г Шаповаленко – М.: Вентана-Граф, 2012. – 64 с.*
[3] Щербаков Р.Н. *Методология и философия физики для учителя. Пособие для учителей физики и преподавателей вузов / Р.Н. Щербаков, Н.В. Шаронова – М.: Прометей, 2016. – 269 с.*

Гидродинамика в лабораторном практикуме по физике

Тарасов Данил Дмитриевич

Печёнкин Антон Игоревич

Севастопольский государственный университет

Матузаева Ольга Вячеславовна, к.т.н.

antonn.pechenkin@mail.ru

В университетском курсе общей физики есть раздел «Гидродинамика». Это очень важный и трудный раздел, поэтому его или почти не изучают, или, если знание гидродинамики необходимо для будущих специалистов, её выносят из курса физики в отдельную дисциплину. Тем не менее, даже для студентов тех специальностей, в учебных планах которых есть дисциплина «Гидродинамика», очень полезно познакомиться с основными законами гидродинамики ещё в курсе физики. Для этого не обязательно перекраивать лекционный

курс и планы практических занятий – достаточно включить в перечень лабораторных работ по физике хотя бы одну лабораторную работу, выполняя которую студенты могли бы узнать для себя некоторые основные законы гидродинамики. Однако есть одна техническая проблема: установки, в которых есть жидкость, обычно или неудобны в эксплуатации и обслуживании, или довольно сложные и дорогостоящие. Решением проблемы является виртуальная лабораторная работа. Наш университет (СевГУ) в 2017 году приобрёл в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (НИ ТПУ) очень интересный программный продукт Laboratory Simulations 1.2, который представляет собой комплекс из 27 виртуальных лабораторных работ по общей физике. Одна из этих работ называется «Движение струи». Схема эксперимента показана на рис. 1.

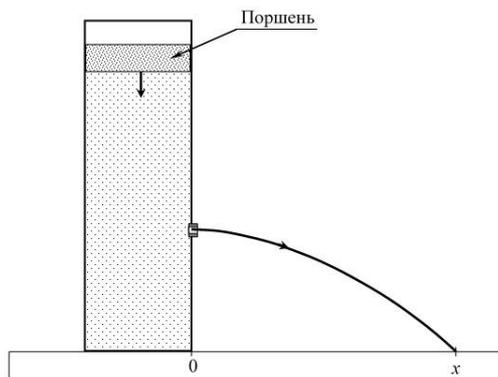


рис. 1. Схема эксперимента

В цилиндрический сосуде налита жидкость, а сверху вставлен поршень. В стенке сосуда есть малое отверстие. При нажатии кнопки «Пуск» поршень начинает под действием силы тяжести опускаться, а из отверстия вылетает струя жидкости. По мере движения поршня скорость вылета струи уменьшается, в результате чего точка падения струи на стол (x – её координата) приближается к сосуду (x уменьшается). В момент времени, когда поршень опускается до уровня отверстия, он перекрывает отверстие, жидкость перестаёт вытекать и поршень останавливается.

В этой установке предусмотрены возможности измерять координату x , и время истечения струи t . Кроме того, есть возможность в любой момент останавливать эксперимент, что позволяет получить достаточно подробную экспериментальную зависимость $x(t)$.

Для теоретического исследования характера движения струи необходимо использовать свойство несжимаемости жидкости и два закона гидродинамики: уравнение непрерывности и уравнение Бернулли. В результате, если эти законы студенты не изучали на лекциях и практических занятиях, у них появляется возможность познакомиться с указанными законами при подготовке и проведении лабораторной работы. Теория позволяет получить несколько интересных конкретных фактов, которые можно проверить экспериментально.

Факт первый. Точка падения струи *равномерно* движется в сторону сосуда, то есть её скорость перемещения dx/dt постоянна, и зависимость $x(t)$ является *линейной*. Скорость $u = dx/dt$ называется в лабораторной работе «скоростью следа».

Факт второй. Масса поршня M , конечно, влияет на скорость истечения струи, но удивительно, что на скорость следа u она *не влияет*.

Факт третий. Так как скорость вытекания струи растёт с ростом массы поршня, то растут как начальная координаты следа x_0 , так и конечная x_k , причём x_0 и x_k оказываются в *линейной зависимости* от квадратного корня из массы поршня M .

Для проверки этих трёх фактов можно провести два эксперимента.

Эксперимент 1. Надо, останавливая истечение движение поршня в разные моменты времени, получить достаточно подробную экспериментальную зависимость координаты следа от времени $x(t)$, а затем убедиться, является ли эта зависимость *линейной*.

Эксперимент 2. Надо провести серию опытов с разными массами поршня M , измеряя в каждом из экспериментов три величины: начальную и конечную координаты следа x_0 и x_k и полное время движения поршня T до его естественной остановки в момент, когда он перекрывает отверстие в сосуде.

Если первый эксперимент окажется успешным, то есть подтвердит *равномерное* движение следа, то в каждом из опытов второго эксперимента скорость следа можно определять по формуле: $u = (x_0 - x_k)/T$. После окончания второго эксперимента можно проверить, показывают ли эксперименты *независимость* скорости следа u от массы поршня M и *линейную зависимость* начальной и конечной координаты следа x_0 и x_k от корня из массы поршня.

Неоднократное проведение описанных экспериментов, которые проделали авторы доклада и их однокурсники, показали, что эксперименты прекрасно подтверждают все три теоретических факта.

21 - Теплофизика

Валиуллина Вилена Ильшатовна, 4 курс
Уфа, Башкирский государственный университет, физико-технический институт
Экспериментальное моделирование движения дисперсных систем в вертикальной ячейке
Замула Юрий Сергеевич,
e-mail: vilenches@gmail.com стр. 496

Владыкин Алексей Станиславович, 2 курс
Киров, Вятский государственный университет, компьютерных и физико-математических наук
Влияние электростатического поля на характеристики продуктов сгорания полимерных материалов
Хлебов Алексей Георгиевич, к.ф.-м.н.
e-mail: vladykin-alex@yandex.ru стр. 497

Панков Артем Сергеевич, м.н.с.
Екатеринбург, Институт теплофизики УрО РАН
Предельные растяжения раствора метан-водород
e-mail: artem_pankov1987@mail.ru стр. 498

Рябова Анастасия Михайловна, 4 курс
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: hfirm_19@mail.ru стр. 499

Туев Михаил Алексеевич, аспирант 2 года обучения
Киров, Вятский государственный университет, компьютерных и физико-математических наук
Эффект энергоразделения Ранка-Хилша
Ворончихин Сергей Геннадьевич, к.т.н.
e-mail: nolinsk94@yandex.ru стр. 501

Янко Павел Евгеньевич, 2 курс
Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический
Детализация структуры потока с периодическим внешним возбуждением в микроканале Т-типа
Кравцова Александра Юрьевна, к.ф.-м.н.
e-mail: yanpavevg@yandex.ru стр. 502

Экспериментальное моделирование движения дисперсных систем в вертикальной ячейке

Валиуллина Вилена Ильшатовна
Замула Юрий Сергеевич, Мусин Айрат Ахматович
Бакирский государственный университет
Замула Юрий Сергеевич
vilenches@gmail.com

Конвекция свойственна многим техногенным процессам. Особое внимание к ней связано с актуальными проблемами в различных отраслях промышленности, в частности, в нефтегазовой отрасли, например, очистка резервуаров и накопителей. Процессы конвекции в дисперсных системах широко распространены в природе и технике, например, движение проппанта в трещинах гидроразрыва [1]. Интерес к изучению движения дисперсных систем связан с её расслоением [2-3]. Сложность разрушения эмульсий заключается в высоком содержании природных эмульгаторов и очень близких значений плотности углеводородной и водной фаз. Чтобы улучшить процессы водоотделения из эмульсии, прибегают к конвективному методу расслоения. В данной работе рассматривается конвекция в двух проявлениях: тепловая, при которой поток возникает из-за градиента температур, и вынужденная – поток, возникающий благодаря перепаду давления.

Целью работы является экспериментальное моделирование движения дисперсных систем тепловой конвекцией при градиенте температур и вынужденной конвекцией в вертикальной ячейке при заданной постоянной температуре. Для этого из монолитного поликарбоната была разработана экспериментальная ячейка, в которой имеются отверстия для притока и оттока жидкости, а также собраны две отдельные экспериментальные установки для тепловой (рис.1) и вынужденной (рис.2) конвекций. В качестве жидкости используется глицерин, вязкость которого была определена на вискозиметре Brookfield DV II Pro и составила 0,6 мПа·с. Частицы использовались двух видов: диски размером $0,1 \pm 0,5$ мкм и пластмассовые шарики размером 1 ± 2 мм.

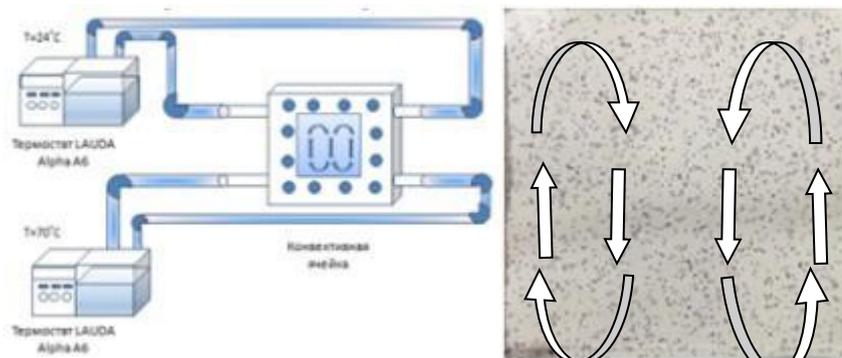


рис.1. Схема экспериментальной установки для тепловой конвекции

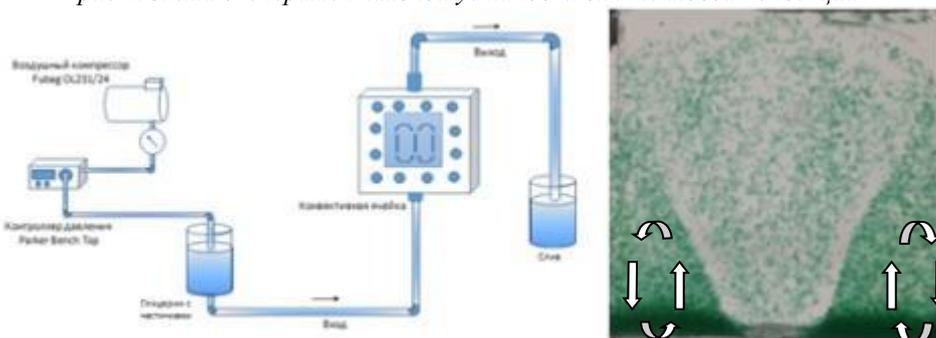


рис.2. Схема экспериментальной установки для вынужденной конвекции

В экспериментах с вынужденной конвекцией наблюдались четко выраженные конвективные потоки жидкости. Проведенные эксперименты с тепловой конвекцией показывают, что расслоения дисперсной системы возможно добиться не только с помощью, например, отстаивания, но также с помощью конвекции (рис.1, рис.2). В дальнейшем планируется проводить эксперимент с использованием модельной эмульсии на основе Span 80.

Список публикаций:

[1] Нацекин В.В. *Техническая термодинамика и теплопередача*. М.: Высшая школа, 1975. - 496 с.

[2] Kovaleva L. A., Musin A. A., Zinnatullin R. R., Akhatov I. S. *Destruction of water-in-oil emulsions in electromagnetic fields*, 2011.

[3] Fang C. S., Chang B. K.L., Lai P. M.C., Klaila W. J. *Microwave demulsification // Chem. Eng. Comm.* 1988. Vol. 73. P. 227–239.

Влияние электростатического поля на характеристики продуктов сгорания полимерных материалов

Владыкин Алексей Станиславович

Вятский государственный университет

Хлебов Алексей Георгиевич, к.ф.-м.н.

vladykin-alex@yandex.ru

Горючесть и дымообразование полимерных материалов являются ключевыми характеристиками, по которым определяют безопасность и допустимость их применения в той или иной сфере. Управление горением, дымообразованием и сажеобразованием является перспективным направлением, так как это вносит вклад в проблему противопожарной безопасности и в проблему загрязнения окружающей среды. Существуют специальные химические вещества – наполнители, которые предназначены для снижения горючести композитного материала, однако некоторые из них провоцируют образование канцерогенных соединений при термодеструкции [1], другие больше способствуют увеличению коксового слоя при горении, чем ингибированию самого процесса горения [2].

Электростатическое поле способно влиять на оптическую плотность образующегося при горении дыма [3] и на характер горения [4-6]. Данное свойство позволяет использовать электростатическое поле для регулирования количества осаждаемой сажи, выделяющегося дыма. Естественное горение резины сопровождается образованием черного дыма с большим количеством конгломератов, размерность которых может достигать миллиметрового порядка. Действие электростатического поля на процесс термодеструкции полимера зависит от химсостава полимера. В химсоставе резины фигурируют углеводородный полимер – изопрен и сера как вулканизирующее вещество [7]. В качестве объекта исследования был взят образец резины. Массы образцов различались в промежутке от 0,1803 г до 0,3338 г, при этом длина и высота всех образцов были одинаковые, изменялась только ширина.

Целью эксперимента является выявление зависимостей:

- изменение массы сжигаемого образца от напряженности поля
- изменение массы сажеобразования от «потерянной» в результате горения массы образца к его первоначальной массе

Экспериментальная установка представляет собой две горизонтальные металлические сетки, расположенные параллельно друг другу на расстоянии 5 см. На нижней сетке (подложке) поджигается навеска образца, на верхней сетке происходит осаждение сажевых частиц, которое может происходить как естественным образом, так и под влиянием электростатического поля. Для того чтобы качественно показать разницу между естественным осаждением и осаждением в поле было произведено две серии по пять опытов в каждой. В первой серии опытов верхний электрод являлся катодом, во второй серии – анодом. Напряжение, подаваемое на электроды в первом, втором, третьем, четвертом, пятом опытах составляло 0, 1000, 2000, 4000, 6000 вольт соответственно.

В ходе эксперимента было выявлено, что электростатическое осаждение влияет на количественное образования сажи. Электростатическое осаждение сажевых частиц происходит на отрицательном электроде. Положительный электрод при нахождении снизу не содержал сажевых частиц, оставался только продукт сгорания образца. При нахождении положительного электрода сверху (вторая серия опытов) наблюдалось осаждение сажевых частиц и на верхнем и на нижнем электродах. В первой серии опытов пламя имело вытянутую вверх форму, во второй серии пламя прижималось к подложке, имело пульсирующий характер горения.

Полученные образцы сажи, осажденные электростатическим полем были исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопах JEM2100 «JEOL». В результате исследования были получены изображения и химический состав. Средние значения содержания углерода, кислорода и серы – 89,86%, 8,94% и 1,20% соответственно.

В результате эксперимента было обнаружено, что отношение осажденной сажи к сожженной массе образца не дает видимой зависимости от расположения электродов. С увеличением напряженности поля 0 кВ/м, 20 кВ/м, 40 кВ/м, 80 кВ/м, 120 кВ/м массовая доля осевшей сажи к массе потерянной в результате сжигания составляет 10,66%, 8,63%, 8,16%, 7,35%, 5,12% соответственно. При этом процент потери массы 70,14%, 69,03%, 69,05%, 65,25%, 64,64%, 59,19% соответственно выше указанным значениям напряженности поля. В процессе сжигания резины в электростатическом поле при увеличении напряженности поля уменьшаются сажеобразование и процентное соотношение «потерянной» в результате горения массы к первоначальной массе образца.

Список публикаций

- [1] Дядченко А.И., Копылов В.В., Воротилова В.С. и др. Пути уменьшения дымообразования и выделения токсичных газов при горении полимерных материалов // *Пласт. массы*, 1980, № 10. С.49-52.
- [2] Дементьев А.Г., Дроздова Т.Ю., Болдузев А.И. Влияние старения на горючесть эластичного ППУ с трихлорэтилфосфатом // *Пласт. массы*. 1987. № 2.-С. 50-51.
- [3] Исмаилов Ф.Р., Хайруллин И. Х., Охотников М. В. Электростатический фильтр для очистки дымовых газов котельных малой и средней мощности // *Вестник УГАТУ*, №3 (77), Т 21, 2017, С. 66-71
- [4] Решетников С.М., Решетников И.С. Анатомия горения. Смесевые твердые ракетные топлива. Эксперимент, теория, расчет // Москва, НГСС – 2014, С 53
- [5] Решетников С. М., Зырянов И. А. Влияние электростатического поля на макрокинетику горения алканов и керосина // *Вестник Казанского технологического университета*, № 1, 2011, С120-128.
- [6] Позолотин А.П. Горение полимеров в электростатическом поле // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук*, Киров, 2013, УДК 662.612.3
- [7] Кошелев Ф.Ф., Корнеев А.Е., Буканов А.М. *Общая технология резины* // Москва, изд «ХИМИЯ», 1978, С. 152.

Предельные растяжения раствора метан-водород

Панков Артем Сергеевич¹

Баласанян Самвел Артурович²

¹ *Институт теплофизики УрО РАН*

² *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*

Байдаков Владимир Георгиевич

artem_pankov1987@mail.ru

Методом непрерывного понижения давления исследовалась кинетика спонтанного вскипания раствора метан-водород. Жидкость находилась в стеклянной ячейке объемом $V \approx 88 \text{ мм}^3$. Заход в метастабильную область осуществлялся снижением давления на термостатируемую жидкость ниже давления фазового равновесия. Давление понижалось со скоростью 10–100 кПа/с и фиксировалось в момент вскипания жидкости. Вскипание отождествлялось с появлением в жидкости первого жизнеспособного зародыша. Это предположение оправдано при малых объемах жидкости и достаточно больших ее перегревах.

Исследуемый раствор готовился непосредственно в измерительной ячейке. Содержание водорода x в растворе определялось по давлению насыщенных паров до начала эксперимента и контролировалась в процессе измерений. Экспериментальная установка и методика проведения опытов подробно описаны в [1].

Паспортная чистота используемых для приготовления раствора метана 99.99 моль %, водорода – 99.999 моль %. Температура измерялась платиновым термометром сопротивления с погрешностью $\pm 0.02 \text{ К}$, давление – пружинными манометрами и цифровым комплексом ИПДЦ с погрешностью $\pm 0.005 \text{ МПа}$.

Измерения предельных растяжений жидкости методом непрерывного понижения давления проведены в интервале температур $T = 166.0 - 174.0 \text{ К}$ для концентрации водорода $x = 0,5 \text{ моль \%}$ и $T = 168.0 - 174.0 \text{ К}$ для $x = 0,25 \text{ моль \%}$. Глубина захода в метастабильную область p определяется разностью давления насыщения и давления вскипания жидкости. Предельные растяжения увеличиваются с понижением температуры. Результаты, полученные методом непрерывного понижения давления, близки к предельным перегревам, достигнутым при измерениях времени ожидания вскипания [2].

Таблица 1. Предельные растяжения раствора метан-водород

Т, К	р, МПа	
	x = 0.25 моль %	x = 0.5 моль %
166	-	1.09-1.36
168	0.9-1.3	1.00-1.31
170	0.86-1.29	0.79-1.22
172	0.82-1.14	0.70-1.05
174	0.72-1.04	0.57-0.91

Работа выполнена под руководством д.ф.-м.н. В.Г. Байдакова при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00403) и комплексной программы фундаментальных исследований Уральского отделения Российской академии наук (проект № 18-2-2-13).

Список публикаций:

- [1] Байдаков В.Г. // *Перегрев криогенных жидкостей*, Екатеринбург: УрО РАН, 264 (1995).
- [2] Панков А. С., Баласанян С. А. // *Температура достижимого перегрева раствора метан-водород. Тез. докл. СПФКС - 19*, Екатеринбург, 2018.

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

Рябова Анастасия Михайловна

Сабреков Дамир Рустамович

Удмуртский государственный университет

Анкудинов Владимир Евгеньевич, к.ф.-м.н., Кривилёв Михаил Дмитриевич, д.ф.-м.н.

hfm_19@mail.ru

Некоторые современные методы расчета динамики температурных полей в гетерогенных средах, таких как свободно насыпанные порошки в процессах аддитивных технологий, в качестве входящих параметров нуждаются в эффективных коэффициентах теплопроводности (ЭКТ) [1,2]. Экспериментальные методы определения эффективных теплофизических параметров основаны на двух группах методов термического анализа: методе плоских (например, метод вспышки [1]), и цилиндрических волн (метод периодического нагрева [4-6]). Целью работы было определение эффективных температуро- и теплопроводности порошка алюминия AlSi10Mg и нержавеющей стали 03X17H13M2 необходимых для подбора оптимальных условий термической обработки при изготовлении деталей методами селективного лазерного плавления (СЛП). Для достижения поставленной цели использована установка, принцип работы которой основан на методе периодического нагрева с помощью цилиндрических волн. Такой метод может быть применен к различным типам сухих и влажных порошковых смесей, отличающимся по фракционному составу, структуре твердого скелета, свойствам газовой или жидкой фазы [1, 3].

Установка для измерения эффективных теплофизических свойств (Т-1) [4-6] состоит из алюминиевого корпуса с системой внутреннего водного охлаждения (рис. 1). Цилиндрически-симметричный периодический нагрев центральной части порошка происходит при подаче тока на навитую спиралью нихромовую проволоку в изоляции из корундового порошка. Пульсирующая тепловая волна с амплитудой $A_T^{x=0}$ от центра распространяется к холодным стенкам через металлический скелет и газовую фазу по диффузионному, радиационному и конвективному механизмам переноса. Подача тока на нагреватель происходит от источника постоянного тока через твердотельное реле под управлением ПИД-регулятора с обратной связью (измерение температуры на поверхности нагревателя с помощью хромель-алюмелевой термопары). Измерение температуры в объеме порошка осуществляется через три подобных термопары, контакты которых изолированы керамической соломкой. Данные с термопар усиливаются с помощью цифровых усилителей MAX31588, нормируются на температуру холодного конца, а затем передаются оператору посредством контроллера Arduino (чип ATMEGA 2560). Температура стенки корпуса устанавливается равномерной и фиксируется при помощи платинового термосопротивления.

Получаемые данные представляют собой значения температуры в объеме порошка, привязанные ко времени. Для определения ЭКТ k_{eff} решалась обратная задача теплопроводности. При варианте коаксиальных цилиндров в условиях отсутствия внутри образца массопереноса и дополнительных источников тепла решение дифференциального уравнения теплопроводности может быть записано в форме функций Бесселя, при этом отношение амплитуд A_T колебаний [3] температуры на расстоянии x_1 к $A_T^{x=0}$ может быть записано в виде:

$$\frac{A_T^{x=x_1}}{A_T^{x=0}} = \frac{1}{\sqrt{\text{ber}^2(u) + \text{bei}^2(u)}}, \quad \text{где} \quad u = x \sqrt{\frac{\omega \rho_{eff} C_p^{eff}}{k_{eff}}}, \quad (1)$$

здесь u – безразмерный ЭКТ, ω – фазовая скорость пульсаций, ber и bei – функции Кельвина, выражающиеся через функции Бесселя, при этом x_1 – расстояние термопары от поверхности нагревателя, плотность ρ_{eff} и эффективная теплоемкость C_p^{eff} определяются через пористость $\varepsilon=0,4$, измеренную для наших порошков.

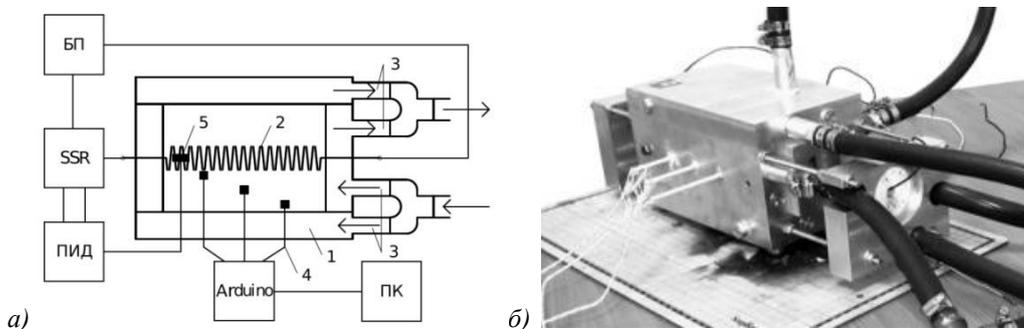


рис.1. а) Электрическая и тепловая схемы установки Т-1: 1 - алюминиевый корпус, 2 - проволочный нагреватель, 3 - штуцеры для подвода и отвода воды, 4 - холодный конец термопары, 5 - горячий конец термопары (обозначены квадратами); б) фотография установки Т-1.

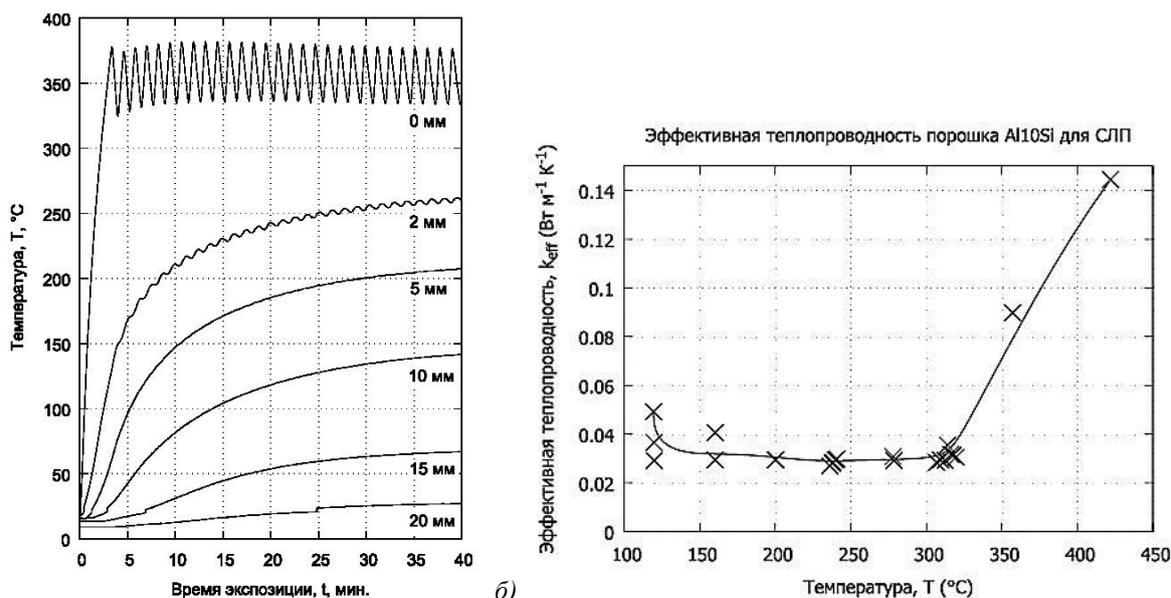


рис. 2. а) Распределение температуры в зависимости от расстояния от нагревателя x ; б) зависимость ЭКТ от температуры для порошка Al10SiMg, крестами обозначены экспериментальные точки, кривой – интерполяция кубическим сплайном.

Рисунок 2а) показывает вид тепловых кривых, снятых на различных расстояниях x от нагревателя для порошка Al10SiMg. Хорошо видны пульсации, повторяющие со сдвигом фазы периодический нагрев в центре образца. Относительная амплитуда этих пульсаций и сдвиг фаз по формуле (1) позволяет отыскать ЭКТ для конкретного температурного диапазона. Явно наблюдается резкое уменьшение амплитуды даже при незначительном расстоянии, поэтому точности измерений расстояний уделялось дополнительное внимание. При обработке данных ρ_{eff} и C_p^{eff} принимались зависящими от температуры, усредненной между двумя термопарами. Полученная зависимость ЭКТ приведена на рис. 2б). Возрастание эффективной теплопроводности при повышении температуры связано как с ростом теплопроводности металлического скелета (в меньшей степени), так и с явлением твердофазного сплавления частиц порошка и формирования перешейков между ними с приближением к температуре плавления. Полученные данные широко применимы при верификации моделей СЛП и оптимизации процесса 3D-печати металлами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-47-183002 р_мол_а.

Список публикаций:

- [1] Kaviany M. *Principles of Heat Transfer in Porous Media*. Springer New York, 1995. 726 p.
- [2] Гордеев Г.А., Кривилёв М.Д., Анкудинов В.Е. Компьютерное моделирование селективного лазерного плавления высокодисперсных металлических порошков // *Вычислительная механика сплошных сред*. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 293-312.
- [3] Филиппов Л. П., Пигалская Л. А. Измерение температуропроводности металлов при высоких температурах. I. Теория метода переменного нагрева в высокочастотной печи // *Теплофизика высоких температур*. 1964. Т.2. №3. С.384-391.
- [4] Вертоградский В. А. Эффективные методы исследования теплофизических свойств материалов // *Вестник ТГТУ*. 2008. Т.14. № 2. С.282-288.
- [5] Походун А. И., Шарков А. В. *Экспериментальные методы исследований. Измерения теплофизических величин. Учебное пособие* // СПб ГУ ИТМО. 2006. С.87.
- [6] Анкудинов В. Е., Рябова А. М., Сабреков Д. Р., Хамидуллина А. Р., Галлямов С. Р., Кривилев М. Д. Компьютерное моделирование и экспериментальное исследование процессов теплопереноса в порошковых средах: учебное пособие. // Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет». 2018. С.126.
- [7] Рябова А. М. Экспериментальное определение эффективного коэффициента теплопроводности порошка $al - 10 si - mg$ для аддитивных технологий // XLVI итоговая студенческая научная конференция Удмуртского государственного университета: материалы всероссийской конференции. 2018. С.60-61.
- [8] Сабреков Д. Р. Решение обратной задачи теплопроводности при определении эффективной теплопроводности металлических порошков // XLVI итоговая студенческая научная конференция Удмуртского государственного университета: материалы всероссийской конференции. 2018. С.61-62.

Эффект энергоразделения Ранка-Хилша

Туев Михаил Алексеевич

Ворончихин Сергей Геннадьевич

Вятский государственный университет

Ворончихин Сергей Геннадьевич, к.т.н.

nolinsk94@yandex.ru

Вихревой эффект (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. Впервые данный эффект был открыт при исследовании работы циклонов французским инженером Ранком в 30-е гг. прошлого века. [1]

Наблюдаемый эффект практически реализуется в простых на первый взгляд устройствах - вихревых трубах. Вихревая труба представляет собой коническую или цилиндрическую трубу с тангенциально расположенным отверстием для входа сжатой рабочей среды. С одного торца трубы установлен дроссель для истечения горячего потока, а с другого - диафрагма для выхода холодного потока. При тангенциальной подаче сжатой среды происходит ее закрутка внутри трубы и разделение на периферийный и центральный потоки.

Конструктивно вихревые трубы можно разделить по способу организации течения в камере энергоразделения на противоточные, прямоточные, двухконтурные и однорасходные [2]. Вихревые трубы можно также классифицировать по способу закрутки потока и форме камеры энергоразделения [3]. Такое многообразие конструкций возникло при попытках создать вихревую трубу с максимально высоким коэффициентом эффективности энергоразделения.

Вихревые трубы различных конструкций получили широкое распространение практически во всех отраслях науки и техники. В настоящее время вихревые трубы широко применяются в качестве газодинамических генераторов холода, работающих в области криогенных температур; в системах управления тягой ракетных двигателей нашли применение вихревые управляющие клапаны; для испытаний и термостатирования оборудования аэрокосмического и военного назначения. Помимо этого вихревые аппараты применяются в качестве сепараторов и осушителей [4], для охлаждения и нагревания газов, сепарации двухфазных сред и вакуумирования [5], а также в металлообрабатывающей промышленности [6,7].

Попытки применения вихревых труб в сфере медицины ограничились охлаждением конечности перед вводом лекарственных средств при полиомиелите [8] и созданием криогенных установок для хранения биоматериалов [9]. Гораздо более широкому применению вихревых труб в медицине может способствовать их безынерционность, высокая надежность и возможность получения требуемых температур без применения хладагентов.

Целью работы является определение целесообразности применения вихревого эффекта в сфере медицинской техники. Для достижения указанной цели необходимо решить экспериментальную задачу применения вихревой трубы в качестве источника высоких и низких температур для медицины в диапазоне от -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

Для проведения эксперимента понадобилось следующее оборудование: цилиндрическая вихревая труба с расходом сжатого воздуха 200 л/мин, 40-литровый баллон со сжатым воздухом и понижающим кислородным редуктором с манометрами, мультиметр с термопарой.

При подаче в вихревую трубу сжатого воздуха при рабочем давлении $P_{\text{раб}} = 7\text{атм}$ происходит разделение исходного потока сжатого воздуха с комнатной температурой $T_0 = +22^{\circ}\text{C}$ на два потока: криогенный $T_1 = -30^{\circ}\text{C}$ и "горячий" $T_2 = +60^{\circ}\text{C}$. Получаемую температуру T_1 и T_2 можно регулировать путем изменения входящего давления $P_{\text{раб}}$ и изменения настроек дросселя. При этом в зависимости от настроек дросселя и выбранного уровня входного давления $P_{\text{раб}}$ можно генерировать тепловой поток любой температуры в пределах от -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$ без ограничения времени и технического обслуживания вихревой трубы.

Таким образом, вихревую трубу можно применять в сфере медицины, заменив такие традиционные для указанной сферы источники аналогичного диапазона температур, как элементы Пельтье, электрические нагреватели и парокompрессионные машины.

Список публикаций:

[1] Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969г. - 184с.

[2] Пиралливили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения. Учебно-научный производственный центр "Энергомаш", 2000г. - 414 с.

- [3] Ахметов Рустам Фаритович. Совершенствование струйных аппаратов с закручивающими устройствами в процессах подготовки газа и нефти к переработке: диссертация...кандидата Технические науки: 05.17.08/ Ахметов Рустам Фаритович; [Место защиты: ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет], 2017
- [4] Антипина Н.А., Тарунин Е.Л. Расчет турбулентного режима гидродинамики и теплообмена в вихревой трубе Ранка-Хиллиа // Вестник Пермского университета. - 2008. - Вып. №4(20). - С. 70-76.
- [5] Коркодинов Я.А., Харматуллин О.Г. Применение эффекта Ранка-Хиллиа // Пермский национальный исследовательский политехнический университет УДК. - 2012. - С. 42-53.
- [6] Ворончихин С.Г., Помыткин В.А., Туев М.А., Харин В.А. Исследование параметров устройства криогенного охлаждения при обработке деталей резанием. "Научное обозрение".11.2014.С 83-88.
- [7] Ворончихин С.Г., Помыткин В.А., Туев М.А., Харин В.А. Исследование параметров устройства криогенного охлаждения при лазерной обработке деталей. "Научное обозрение".24.2015.С 152-158.
- [8] Азаров А.И. Вихревые трубы в промышленности. Изобретатель - машиностроению. Энергосбережение и вихревой эффект: исследование и освоение инновационных проектов. - СПб.: Издательство ЛЕМА. 2010. - 170с.
- [9] Лукьянов, Павел Александрович. Разработка и исследование двухконтурной каскадной установки с вихревой трубой для охлаждения биоматериалов при температуре - 70 °С: диссертация...кандидата технических наук: 05.04.05/Лукьянов Павел Александрович; [Место защиты Моск. гос.техн. ун-т им. Н.Э. Баумана]. - Москва, 2004. - 138с.:ил. РГБ ОД, 61 04 - 5/3736.

Детализация структуры потока с периодическим внешним возбуждением в микроканале Т-типа

Янко Павел Евгеньевич

Мешалкин Юрий Евгеньевич

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Кравцова Александра Юрьевна, к.ф.-м.н.

yanpavevg@yandex.ru

Микроканальные системы привлекают к себе всё большее внимание во многих областях. Компактные устройства, эффективно смешивающие различные компоненты, особенно важны в приложениях биологии, химии, медицины. Поэтому исследование различных режимов течения и способов интенсификации смешения жидкостей в микроканалах является крайне актуальной задачей. На сегодняшний день, режимы течения жидкости, реализующиеся в Т-микроканале, рассмотрены достаточно подробно в работах [1, 2]. Проведены исследования возбужденного потока в каналах микронного размера Т-формы в узком диапазоне чисел Рейнольдса $Re \sim 0,3 \div 10$ и частот возбуждения $f < 200$ Гц [3]. Однако исследование возбуждённого потока жидкости в микроканале в широком диапазоне частот возбуждения и чисел Рейнольдса остаётся малоизученным вопросом.

В данной работе рассмотрено влияние внешнего возбуждения на структуру потока жидкости и эффективность его смешения в микроканале Т-типа. Возбуждение реализовано с помощью системы, обеспечивающей синфазные периодические пульсации расхода жидкости, поступающей на оба входа Т-микроканала [4]. Экспериментальное исследование проведено методом лазер-индуцированной флуоресценции (laser induced fluorescence – LIF), с использованием двух различных источников освещения потока: ртутной лампы со светофильтром (длина волны пропускания 532 нм) и Nd:Yag лазера (длительность импульса 5 нс, энергия импульса 25 мДж, длина волны 532 нм). На один из входов Т-канала подавалась дистиллированная вода, на другой – раствор флуоресцентного красителя Родамин 6G. При освещении потока в микроканале ртутной лампой, переизлучённый красителем свет в красном диапазоне длин волн записывался на матрицу CCD камеры в течение времени экспозиции кадра (3,5 мкс). При освещении потока вспышкой лазера, время записи соответствовало длительности его импульса. Полученные изображения обрабатывались с помощью программного обеспечения «ActualFlow».

На *рис. 1* приведено сравнение полей концентрации красителя в потоке, полученных методом LIF при использовании двух источников освещения: ртутной лампы (*рис. 1 (а)*) и лазера (*рис. 1 (б)-(е)*). Использование лазерного освещения потока позволило более детально исследовать структуру течения жидкости в микроканале. В ходе работы были получены мгновенные поля концентрации красителя в потоке в различные фазы внешнего возбуждения. Так, для возбуждённого потока при $Re = 120$ обнаружено развитие волнового движения на границе жидкостей. Максимальная амплитуда реализующейся в потоке волновой структуры зафиксирована для $Re = 120, f = 800$ Гц, $St = 0.19$ (*рис. 1 (з), (д)*) и $Re = 120, f = 1000$ Гц, $St = 0.24$ (*рис. 1 (в)*).

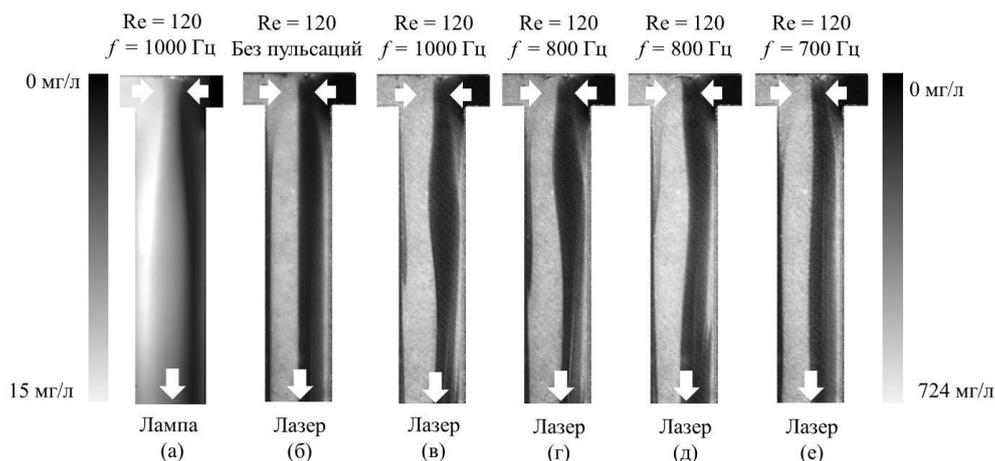


рис.1 (а) – Осреднённое по времени и глубине канала поле концентрации потока, полученное методом LIF при освещении жидкости ртутной лампой; (б) – осреднённое по времени поле концентрации невозбуждённого потока; (в), (г), (д), (е) – поля концентрации потока для различных фаз и частот внешнего возбуждения, полученные методом LIF при освещении жидкости лазером. Стрелки указывают направление течения жидкости.

Показано, что использование кратковременных вспышек лазера позволяет детализировать структуру нестационарного потока (рис.1). На основе полученных мгновенных полей концентрации рассчитано, что частота волнового движения на границе жидкостей с точностью до 6% совпадает с частотой наложенных внешних пульсаций расхода. Смешение жидкостей при наложении внешнего воздействия остаётся преимущественно диффузионным, однако эффективность перемешивания увеличивается за счет удлинения межфазной границы.

Список публикаций:

- [1] Hoffmann M., Schlüter M., Rübiger N. // Chem. Eng. Sci. 2006. Т. 61. № 9. С. 2968-2976.
- [2] Mariotti A., Galletti C., Mauri R., Salvetti M.V., Brunazzi E. // Chem. Eng. J. 2018. Т. 341. С. 414-431.
- [3] Glasgow I., Lieber S. Aubry N. // Anal. Chem. 2004. Т. 76. № 16. С. 4825-4832.
- [4] Kravtsova A., Ianko P., Meshalkin Y., Bilsky A. // AIP Conf. Proc. 2018. Т. 2027. № 040084. С. 040084-1-040084-8.

Алфавитный указатель

Абдуллаев А. С.	318	Ганеева Э. С.	151	Киреева Н. В.	301
Абрамян В. Л.	377	Гардт М. В.	448	Кислов Е. В.	192
Авраменко Д. А.	295	Геня Т. А.	465	Клюев П. Н.	322
Акбашева А. И.	334	Гергоков А. Х.	339	Ковалева А. А.	454
Акимова Я. Е.	236	Голицын А. А.	350	Колесниченко К. С.	164
Акинина М. Д.	296	Голочалова А. В.	298	Колодько Д. В.	141
Алексеева А. О.	444	Голубева Т. С.	448	Короткова М. А.	244
Алиева С. С.	237	Гонцова С. С.	415	Коротовских О. И.	303
Андрусь О. О.	403	Горбунов М. А.	276	Костенко В. -	86
Антонов Г. И.	202	Горбунов А. С.	449	Костенко В. -	84
Антонова Ю. В.	404	Гордиенко К. А.	70	Костиков Д. А.	245
Аппаева Ж. Ю.	335	Горишний В. А.	416	Котенков П. В.	422
Артемьева К. В.	150	Гришина К. А.	182	Коханов П. В.	479
Ахметова А. Ш.	377	Грозных М. В.	384	Кошечкина Д. О.	365
Бажажин А. Г.	180	Гуманова М. В.	476	Крайнова Д. В.	480
Бажанова В. С.	404	Гусева К. Е.	131	Крапивницкая О. Е.	367
Баишева А. Х.	65	Дабаева А. Б.	321	Кривцова А. В.	49
Байгузин Р. В.	336	Двойнишников С. В.	385	Крикунов С. А.	388
Баландин К. А.	445	Дебелова Т. И.	133	Крюкова Е. А.	281
Балачков М. М.	406	Денисова А. Н.	72	Кувалкин Е. С.	388
Балашова В. Н.	297	Дергачева А. В.	450	Кудайбергенова М. Б.	303
Балуда Ю. И.	319	Деркачев В. А.	386	Кудайбергенова М. Б.	303
Батиашвили Л. А.	407	Дирко В. В.	134	Кудояров Д. Ш.	152
Бахчевников В. В.	378	Доможирова А. Н.	74	Кузнецов А. В.	50
Безверхняя Е. И.	348	Донсков А. В.	351	Кузьмин Е. В.	354
Белослудцева А. А.	380	Драганюк О. Н.	75	Куличкина Т. П.	87
Бельская Н. А.	202	Дудник Д. И.	242	Купинская А. И.	341
Белявский С. В.	181	Дьякова С. А.	362	Курилова А. В.	207
Бессонова И. Г.	408	Дюло В. Д.	478	Кутлубаев И. С.	356
Благодарный А. С.	381	Евсеев К. В.	417	Кучма Е. А.	305
Болат-оол А. А.	66	Евтухова Е. А.	418	Латыпова Р. Р.	369
Болдырева В. А.	338	Ельцова С. М.	419	Лашина К. А.	482
Борзенко А. С.	382	Ерагер К. Р.	76	Лебедев Н. Г.	208
Бочарникова Е. Н.	238	Жармухаметов А. Р.	77	Лебедева О. С.	369
Брежнев Г. Р.	473	Жовтан А. В.	278	Лебедева Г. М.	89
Брецько М. В.	239	Зайцев Е. Ю.	161	Лемдянов И. А.	282
Брылякова Е. А.	275	Залялов Т. М.	136	Леонтьев В. С.	209
Булаева Е. А.	410	Замковская А. И.	78	Лихацкий В. В.	455
Бурдуковский В. Н.	67	Зарубин В. Ю.	137	Лобекин В. Н.	211
Буслович Д. Г.	410	Заяханов В. А.	138	Лобова И. А.	247
Бызова Е. С.	48	Звягин В. С.	353	Ломов К. А.	165
Вагапов А. Ш.	68	Зеневич С. Г.	243	Лопатюк А. В.	390
Валиуллина В. И.	497	Иванов С. Н.	184	Луговской Н. В.	90
Васильев Н. Н.	131	Иванов Н. М.	205	Луценко А. В.	193
Васильев Н. Н.	Игнатов В. К.	278	Лыу Н. Т.	143
Васнев Н. А.	266	Игнатова К. И.	80	Львов О. В.	424
Веденин Е. И.	446	Ильин В. А.	363	Любицкая Д. Н.	51
Веселый И. А.	Исаева Е. В.	452	Любутина М. В.	92
Викулин Д. В.	241	Исламов Д. Р.	139	Ляхова Н. В.	457
Винник Д. С.	349	Ишугина П. Д.	162	Мавлютова Ю. Р.	370
Владыкин А. С.	497	Казанцева Л. А.	421	Майрамбекова А. М.	426
Власов В. В.	268	Камышова Е. Г.	422	Макарова О. Г.	483
Волков А. В.	383	Каптелинин С. Ю.	81	Максимов Г. С.	342
Воробьев М. О.	474	Капуста Д. Н.	269	Максимов Г. С.	93
Высокова Е. В.	204	Карташов С. И.	280	Мальшев О. И.	427
Габдрахманова Л. А.	412	Касьянова В. В.	300	Мамонтов Ю. И.	167
Габдрахманова Л. А.	69	Катков В. Л.	82	Мандрик В. О.	484
Галлямова Р. Ф.	414	Кашина Р. Р.	82	Матюшенко С. А.	371
		Кашаева Е. А.	453	Медведев Р. О.	323
		Кибардина М. О.	364	Медведев С. Ю.	168

Меденцева Е. О.	485	Поповская Т. С.	490	Улитко В. А.	197
Мезина К. А.	458	Постников А. В.	174	Усольцев О. А.	257
Мельник А. С.	357	Прилепский Д. Ю.	109	Уфимцева М. А.	291
Мещерин В. В.	248	Пронина Е. В.	462	Фадеева А. Б.	395
Милодан А. В.	94	Пушкарев И. А.	217	Фахреева Р. Р.	154
Мирзоян К. В.	487	Резван Д. В.	187	Федосов Э. Э.	122
Михайлова Т. А.	459	Резванова А. Е.	432	Фещенко А. А.	224
Мкртчян В. Д.	95	Риттер И. В.	463	Филиппов Д. И.	123
Могиленец Ю. А.	97	Рогова И. А.	432	Филонов А. А.	272
Морячков Р. В.	306	Романенко В. С.	286	Фрицлер Я. В.	313
Мосейков И. Г.	170	Ростовцев Н. Д.	219	Фролова В. П.	175
Мохначевская В. П.	185	Руденская Е. А.	110	Фролова В. П.	176
Назаров С. В.	283	Рыбалка А. Е.	111	Фурдык В. П.	225
Назаров С. В.	284	Рюш И. О.	326	Фурменков А. Ю.	396
Назаров Е. И.	460	Рябова А. М.	499	Халаимова А. В.	467
Назарова З. И.	212	Савинов К. Н.	270	Харчевский А. А.	373
Наздрачева Т. Ф.	194	Самойлова М. А.	252	Хацаюк В. В.	125
Наухацкий И. А.	98	Самсонов К. Ю.	55	Хисамов А. А.	155
Нгуен Ш. Т.	144	Саплев А. Ф.	220	Худякова Д. М.	226
Неклюдов Е. А.	52	Селезнев К. А.	221	Цапик Д. К.	360
Некрасов Е. С.	214	Семенов Д. О.	391	Чалов Д. А.	437
Неустроева А. А.	250	Семяникова А. А.	113	Чеблакова И. Г.	314
Низямова А. Р.	307	Сергеев И. С.	222	Черкасская К. В.	315
Никифоров А. А.	308	Серебрякова Н. А.	288	Черноцкая К. Л.	397
Новосёлова К. А.	488	Сидорина У. А.	464	Чжан Ф. -	258
Оборотова Л. А.	99	Сидоров Д. Б.	55	Чибинева Е. С.	327
Овсенёв А. Е.	186	Скачков С. С.	145	Чудинова А. О.	438
Огиенко А. В.	461	Скорынина А. А.	434	Шайхутдинова И. А.	157
Орлов В. В.	325	Слива С. А.	491	Шапиев Г. Ш.	439
Османов Р. С.	215	Смагина Е. А.	114	Шевченко А. В.	343
Осокин К. С.	53	Смирнова К. И.	288	Шерепа А. В.	227
Остапченко А. Е.	171	Смирнова А. Ю.	116	Ширяева А. А.	469
Отаев А. А.	101	Снегирёв Н. И.	117	Шихова Е. П.	127
Павленко Д. В.	309	Соловьёв Б. Д.	359	Шляхова С. А.	128
Паладян Ю. А.	101	Солодухин Д. С.	118	Шляхтич М. А.	56
Панков А. С.	498	Сосновский А. А.	289	Шпар А. С.	345
Пантелеева А. В.	428	Стирманова Ю. Ф.	492	Шуйский А. А.	228
Парамонов Р. М.	429	Суржикова Д. П.	254	Шульга Н. С.	329
Педос М. С.	172	Суяндуклова А. Т.	312	Шульга К. В.	229
Перескоков В. С.	103	Тарасов Д. А.	392	Шульпеков А. М.	330
Пермикин А. А.	430	Тарасов Д. Д.	493	Щербакова В. А.	260
Петерсон С. А.	216	Тимиркеева М. А.	290	Щетников О. П.	147
Петренко Е. В.	173	Титова Т. Ю.	255	Юрченко М. Д.	188
Петров И. А.	104	Ткаченко Р. А.	271	Якимова К. В.	261
Петрова О. В.	489	Товпеко Н. А.	196	Янко П. Е.	502
Петрова С. Д.	106	Толынбеков А. Б.	434	Ярошенко В. В.	263
Петрова О. В.	251	Томилина О. А.	119	Ярыгина Е. А.	231
Пипкова А. С.	107	Топорков Н. В.	466	Ярыгова В. М.	177
Плешков М. О.	310	Трофимова Е. С.	394	Ясинская Д. Н.	198
Поваров А. Р.	285	Туев М. А.	501	Ястребова Е. С.	368
Полянская Е. А.	54	Тумбусова И. А.	436		
Пономарев В. В.	109	Угодчикова А. В.	121		

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ВНКСФ-25 И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Ответственный за выпуск: Арапов А.Г.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных диапозитивов.

Подписано в печать 5 апреля 2019 г.

Формат 60x84 1/8 Офсетная печать

Ую-изд.л. Тираж 400 экз.