

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
"ПЛАЗМЕННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ"**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Москва

УДК 001(06)
ББК 72г
НЗ4

II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "ПЛАЗМЕННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ": Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. – 186 с.

Сборник научных трудов содержит доклады, включенные в программу II международной конференции "Плазменные, лазерные исследования и технологии" 25–27 января 2016 г. в г.Москве. Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов: управляемый термоядерный синтез с магнитным и инерционным удержанием плазмы; низкотемпературная плазма и ее применение в современных технологиях; лазерная физика и применения лазеров в промышленности, при контроле окружающей среды и в прецизионных измерениях; управление оптической информацией, голография, спинтроника, фотоника; современные проблемы физики твердого тела, функциональных материалов и наносистем; ускорители заряженных частиц.

Ответственный редактор Филиппов Е.Д.

Статьи получены до 1 января 2016 года.
Материалы издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7262-2226-4

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2016

Подписано в печать 20.01.2016. Формат 60×84 1/16.
Печ. л. 30. Тираж 210 экз. Заказ № 5

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Типография НИЯУ МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31*

Программный комитет конференции

Крохин О.Н. – Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук -
Председатель

Курнаев В.А. – НИЯУ МИФИ – зам. председателя

Акишев Ю.С. – АО ГНЦ «ТРИНИТИ»

Евтихийев Н.Н. – ИРЭ «Полос»

Завестовская И.Н. – НИЯУ МИФИ

Крашенинников С.И. - Университет Калифорнии, Сан Диего

Кузнецов А.П. – НИЯУ МИФИ

Мельников А.В. – Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Менушенков А.П. – НИЯУ МИФИ

Овчинников С.Г. – Институт физики им.Л.В.Киренского СО РАН, Красноярск

Пуранс Ю. – Университет Латвии

Собенин Н.П. – НИЯУ МИФИ

Организационный комитет конференции

Курнаев В.А. - НИЯУ МИФИ - председатель

Гаспарян Ю.М. – НИЯУ МИФИ

Губский К.Л. – НИЯУ МИФИ

Гусарова М.А. – НИЯУ МИФИ

Кузнецов А.В. – НИЯУ МИФИ

Филиппов Е.Д. – НИЯУ МИФИ – ученый секретарь

Адрес в Интернет: <http://plit-mephi.ru/conferncies/plrt-2016>

СОДЕРЖАНИЕ

Секция

«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ»

АББАСОВ Т.С., КОЛОГРИВОВ А.А., ПУЗЫРЁВ В.Н., СААКЯН А.Т., СТАРОДУБ А.Н., ЯКУШЕВ О.Ф. Исследование диапазона мягкого рентгеновского излучения на установке «Канал-2»	20
АКИШЕВ Ю.С., КАРАЛЬНИК В.Б., ПЕТРЯКОВ А.В., ТРУШКИН И.И. 3-D численные расчеты стримеров на поверхности мелкой и глубокой воды.....	21
АНАНЬЕВ С.С., ВИХРЕВ В.В., СУСЛИН С.В. Роль эффекта Холла в динамике плазмы в установке ПФ-3	22
АНАНЬЕВ С.С., ДАНЬКО С.А., КАЗАКОВ Е.Д., КАЛИНИН Ю.Г., КУРИЛО А.А., СТРИЖАКОВ М.Г. Особенности поведения плазмы при взаимодействии РЭП с полимерными анодами	23
АНАНЬИН О.Б., БОГДАНОВ Г.С., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГЕРАСИМОВ И.А., МЕЛЕХОВ А.П., НОВИКОВ И.К., РАМАКОТИ Р., СРЕДИН В.Г. Использование рентгеновского излучения вакуумной искры с лазерным иницированием для воздействия на полупроводник $Cd_xHg_{1-x}Te$	24
APELFELD A.V., BETSOFFEN S.Y., BORISOV A.M., VLADIMIROV B.V. , SAVUSHKINA S.V. Stabilization of the high-temperature phases of the oxide coating on zirconium alloy produced by plasma treatment in electrolyte	25
БАЛОВНЕВ А.В., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАТ Э.И., ЕГОРОВ И.Д., КОСТЮШИН В.А., САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х. Исследования ионной эмиссии из плазмы микропинчового разряда.....	26
БАЛОВНЕВ А.В., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАД Э.И., ЕГОРОВ И.Д., САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х. Зависимость спектра рентгеновского излучения плазмы микропинчового разряда от материала разрядных электродов.....	27
БАЛОВНЕВ А.В., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАД Э.И., ЕГОРОВ И.Д., САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х. Применение сцинтилляционных и термомюнисцентных детекторов в спектрометрии импульсного рентгеновского излучения	28
БАЛОВНЕВ А.В., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ЕГОРОВ И.Д., САЛАХУТДИНОВ Г.Х. Координатно-чувствительный спектрометр импульсного рентгеновского излучения для исследования пространственной структуры плазменных объектов.....	29
БАФОВЕВ Р.Н., БЕРНАЦКИЙ А.В., КУНЧЕВА Е.А. Измерение концентрации молекул воды на установке «Течь» при разных тепловых режимах.....	30

БЕГРАМБЕКОВ Л.Б., ГОРДЕЕВ А.А., ДОВГАНЮК С.С., ЗАХАРОВ А.М., КАПЛЕВСКИЙ А.С., ШУТИКОВА М.И. Разработка многослойных мишеней нейтронных трубок	31
БОРИЕВ И.А. Проблема реализации УТС в рамках проекта ИТЭР: «аномально» быстрый перенос электронов и его причина	32
БОРИСЮК Ю.В., ОРЕШНИКОВА Н.М. НЕНАШЕВ П.С., НОРАКИДЗЕ В.С., СТЕПАНОВА Т.В., МОЗГРИН Д.В., ПИСАРЕВ А.А. Режимы зажигания и горения импульсно-периодического аномального тлеющего разряда в азоте, аргоне, водороде и смесях азот-аргон и азот-водород	33
ВЕСЕЛОВ Д.С., ВОРОНОВ Ю.А. Получение диэлектрических соединений кремния методом реактивного магнетронного напыления	34
ГЛОВА А.Ф., ЛЫСИКОВ А.Ю., МАЛЮТА Д.Д., НЕЛЮБИН С.С., ПЕРЕТЯТКО П.И., РЫЖКОВ Ю.Ф. Влияние рефракции излучения на характеристики непрерывного оптического разряда	35
ГОРДИЕНКО Ю.Н., БАТЫРБЕКОВ Э.Г., СКАКОВ М.К., ПОНКРАТОВ Ю. В., ХАСЕНОВ М. У., ЗАУРБЕКОВА Ж.А., ТУЛУБАЕВ Е. Ю., БАРСУКОВ Н.И., КУЛЬСАРТОВ Т. В. Экспериментальный стенд для проведения реакторных экспериментов по исследованию спектрально-люминесцентных характеристик ядерно- возбуждаемой плазмы	36
ДВОЕГЛАЗОВ Я.М., РАЕВСКИЙ И.Ф., САРАНЦЕВ С.А., САВЁЛОВ А.С. Влияние формы катода на динамику плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры	37
ДОДУЛАД Э.И., КОСТЮШИН В.А., РАЕВСКИЙ И.Ф., САРАНЦЕВ С.А. Влияние материалов электродов на спектр излучения разряда типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная	38
ДРАБИНСКИЙ М.А., ХАБАНОВ Ф.О., МЕЛЬНИКОВ А.В. Модернизация системы диагностики плазмы пучком тяжёлых ионов на токамаке Т-10	39
ЗЕНИН В.Н., СУББОТИН Г.Ф., КЛЮЧНИКОВ Л.А. Эволюция потенциала плазмы и геодезических акустических мод в разрядах с напуском примесей в токамаке Т-10	40
ЗИМИН А.М., НОТКИН Г.Е., ТРОЙНОВ В.И., НУРГАЛИЕВ М.Р. Молекулярная диагностика пристеночной плазмы токамака Т-10 с удаленным доступом	41
ИЗГОРОДИН В.М., СОЛОМАТИНА Е.Ю., ПЕПЕЛЯЕВ А.П., ОСЕТРОВ Е.И., РОГОЖИНА М.А. Форма свободной поверхности изотопов водорода в сферической оболочке	42
КИРАМОВ Д.И. Численное моделирование срывов разряда в ИТЭР	43

КИРКО Д.Л., ЕГОРОВ И.Д. Свойства капиллярного разряда при взаимодействии с металлическими фольгами	44
КИРКО Д.Л., САВЕЛОВ А.С. Формирование электрического разряда в электролите в присутствии магнитного поля.....	45
КИРНЕВА Н.А. и коллектив Т-10 Установка Токамак Т-10: современные исследования и перспективы	46
КОЗЛОВСКИЙ К.И., ВОВЧЕНКО Е.Д., ШИКАНОВ А.Е., ШАТОХИН В.Л., ИСАЕВ А.А. Магнито-разрядный ускорительный диод для газонаполненных ИГН на основе инерциального удержания ионов	47
МАРТЬЯНОВ А.К., СЕДОВ В.С., РАЛЬЧЕНКО В.Г., ХОМИЧ А.А., КОНОВ В.И. Плазмохимический синтез алмаза в СВЧ плазме в смесях метан/водород/силан	48
ОБРЕЗКОВ О.И., ГУСЕВА И.А., АНДРЕЕВ Е.С., ЗВЕРЕВ А.А., СТАРОСТИН А.Л. Исследование электрохимических свойств тонкопленочных материалов, полученных с применением плазменных технологий, для производства электродов электрокардио-стимуляторов	49
СИДОРОВ П.П., БАШУТИН О.А. Разрядная система с током до 500 кА для возбуждения камер плазменного фокуса	50
СМОЛАНОВ Н.А. Фрактальность пылевых структур из плазмы вакуумного дугового разряда и токовые слои	51
ТОЛСТОПЯТОВ Е.М. Влияние разрядной плазмы на лазерную абляцию политетрафторэтилена	52
ШАВЕЛКИНА М.Б., АМИРОВ Р.Х., КАТАРЖИС В.А., КИСЕЛЕВ В.И. Применение электродуговых плазмотронов постоянного тока для синтеза углеродных наноструктур.....	53
ШАПОВАЛОВ Г.В., ЧЕКТЫБАЕВ Б.Ж., РАЙХАНОВ М.Б. Отработка методики модификации многоордového рентгеновского детектора для измерения температуры электронов плазмы на физическом пуске токамака КТМ	54

**Секция
«ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА»**

АНДРЕЕВ А.О., МИРОНОВ В.Д., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., ОРЛОВ А.В., ЛИБМАН М.А. Исследование влияния циклического лазерного нагрева на формирование дисперсных структур в аустенитно-мартенситных сплавах системы железо-хром-никель	57
--	----

БАСОВА Л.А., БРОДСКИЙ И.А., ГАЛАХОВ И.В., ГАНИН Л.С., КОЖЕНКОВ Е.В., КРЕКОВ А.В., ЛОГУТЕНКО С.Л., ОСИН В.А., СЕНИК Д.А., ЧИСТОПОЛЬСКИЙ М.В.	
Разработка и испытание подсистем заряда, управления и диагностики модуля конденсаторной батареи лазерной установки	58
БЕЗОТОСНЫЙ В.В., КОПЫЛОВ Ю.Л., КОРОМЫСЛОВ А.Л., КРАВЧЕНКО В.Б., КРОХИН О.Н., ЛОПУХИН К.В., ПОПОВ Ю.М., ТУПИЦЫН И.М., ЧЕШЕВ Е.А.	
Характеристики излучения Nd:YAG лазера на основе оксидной керамики с пассивной модуляцией добротности	59
БЕЛОВ И.А., БЕЛЬКОВ С.А., ВОРОНИН А.Ю., ВОРОНИЧ И.Н., ГАРАНИН Р.В., ГАРАНИН С.Г., ДЕРКАЧ В.Н., ДОБИКОВ А.В., МИСЬКО В.В., РОГАЧЁВ В.Г., СИЗМИН Д.В., СТАРОДУБЦЕВ П.В., ХАТУНКИН В.Ю.	
Исследование на лазерной установке «Луч» критериев разрушения астероидоподобных тел из хондрита при воздействии на них мощного импульсного излучения	60
БЕЛОВ И.А., БЕЛЬКОВ С.А., ВОРОНИЧ И.Н., ГАРАНИН С.Г., ДЕРКАЧ В.Н., КОШЕЧКИН С.В., ЛЫСОВ М.И., МАРКОВ С.С., САВКИН С.В.	
Исследование энергетических характеристик силового усилителя установки «Луч» с активными элементами из неодимового фосфатного стекла КНФС и отражателями из фольги MIRO Silver.....	61
БОРОДКИН А.А., ХУДЯКОВ Д.В., ВАРТАПЕТОВ С.К.	
Субнаносекундный и пикосекундный режимы генерации полностью волоконного иттербиевого лазера с нелинейным волоконным зеркалом на волокне с поддержкой поляризации	62
БОРЩЕВСКИЙ А. В.	
Разработка на основе быстрых полупроводниковых детекторов методики измерения диаграммы направленности и спектра потоков быстрых ионов (протонов) в экспериментах по изучению взаимодействия сверхмощного лазерного излучения с веществом.....	63
БУДИЛОВА О.В., ИОНИН А.А., КИНЯЕВСКИЙ И.О., КЛИМАЧЕВ Ю.М., КОЗЛОВ А.Ю., КОТКОВ А.А.	
Использование преобразованного в кристалле AgGaSe ₂ излучения СО-лазера для измерения поглощения в газах	64
БУХАРИН М.А., СКРЯБИН Н.Н., ХУДЯКОВ Д.В., ВАРТАПЕТОВ С.К.	
Запись трехмерных оптических интегральных схем при помощи ультракоротких лазерных импульсов в присутствии сильных сферических aberrаций	65
БЫКОВСКИЙ Д.П., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., МИРОНОВ В.Д., ЛУКАНИН В.Л.	
Сравнительный анализ покрытий, полученных методом коаксиальной и шликерной лазерной наплавки	66
БЫКОВСКИЙ Д.П., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., МИРОНОВ В.Д., ОСИНЦЕВ А.В., ОЧКОВ К.Ю.	

Механические свойства изделий, полученных методом объемной наплавки порошка из нержавеющей стали с использованием излучения непрерывного волоконного лазера	67
БЫКОВСКИЙ Д.П., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., ПОЛЬСКИЙ В.С., ДЖУМАЕВ П.С. Разработка технологии восстановления лопаток авиационного двигателя из никелевых жаропрочных сплавов методом лазерной наплавки	68
ВОРОНИЧ И.Н., ГЛАДКИЙ В.Ю., ГЛУХОВ М.А., ДЕРКАЧ В.Н., ДЕРКАЧ И.Н., КУЗИН Р.С., ЧЕРНОВ И.Е. Градиентный метод расчета формы адаптивного зеркала и его реализация в системе коррекции волнового фронта мощной лазерной установки «Луч»	69
ДАНИЛОВ П.А., ИОНИН А.А., КУДРЯШОВ С.И., МАКАРОВ С.В., РУДЕНКО А.А., САРАЕВА И.Н., ЗАЯРНЫЙ Д.А. Немонотонная зависимость выхода наночастиц Ag от длительности импульса в результате лазерной абляции в воде	70
ДОЛотов А.С., КОНОВАЛОВ П.И., НУРТДИНОВ Р.И. Сильноточный ФЭУ на микроканальной пластине для регистрации субнаносекундных световых импульсов	71
ДУШИНА Л.А., КОРНИЕНКО Д.С., КРАВЧЕНКО А.Г., МИСЬКО В.В., СЕНИК А.В., К.В. СТАРОДУБЦЕВ, ТАРАКАНОВ В.М., ЧАУНИН А.Е. Регистрация временного профиля фронта лазерного импульса	72
ЕФРЕМОВ В.П., ФРОЛОВ А.И., ФОРТОВ В.Е. Ультрабыстрое разрушение оптических кварцевых световодов под действием лазерного излучения	73
ИЗГОРОДИН В.М., СОЛОМАТИНА Е.Ю., ПЕПЕЛЯЕВ А.П., РОГОЖИНА М.А., ОСЕТРОВ Е.И. Наполнение полистирольной микросферы изотопами водорода с последующим замораживанием	74
ИОНИН А.А., КАЛЬНИЦКИЙ Л.Ю., КИНЯЕВСКИЙ И.О., КЛИМАЧЕВ Ю.М., КОЗЛОВ А.Ю., КОТКОВ А.А., МАТВИЕНКО Г.Г., ЯКОВЛЕВ С.В. Поглощение в N_2O и CH_4 на длинах волн излучения обертоного импульсного СО-лазера с использованием топографической мишени и приемного телескопа	75
КАЗИЕВА Т.В., КУЗНЕЦОВ А.П., ГУБСКИЙ К.Л., РЕШЕТОВ В.Н. Интерферометр для метрологического обеспечения измерений перемещений объектов в нанометровом диапазоне	76
КАМЕНЕВ В.Г. Исследование параметров дисперсной фазы в газодинамических экспериментах с использованием техники PDV и параллаксной стереосъемки	77
КАМЕНЕВ В.Г., ДВОРНИЧЕНКО М.Е. Регистрация сверхзвуковых микрочастиц методом параллаксной стереосъемки	78

КИРЕЕВ С.В., ШНЫРЕВ С.Л., СОБОЛЕВСКИЙ И.В., АЛЕКСЮК М.В., КОНДРАШОВ А.А.	
Лазерный on-line контроль изотопа ^{13}C , содержащегося в выдохе человека	79
КОМАРОВ П.С., АШИТКОВ С.И., АГРАНАТ М.Б., СТРУЛЕВА Е.В., ОВЧИННИКОВ А.В.	
Фемтосекундные лазерные системы и их применение для исследования быстропротекающих процессов. Исследование ударных волн в железе.....	80
КОШКИН Д.С., МИХАЙЛЮК А.В., ГУБСКИЙ К.Л., КУЗНЕЦОВ А.П.	
Многоканальный лазерный измерительный комплекс для исследования вещества, подвергнутого интенсивному импульсному нагружению.....	81
КРАСЮК И.К. ¹ , РАЛЬЧЕНКО В.Г. ¹ , РОЗМЕЙ О.Н. ³ , СЕМЕНОВ А.Ю. ¹ , СТУЧЕБРУХОВ И.А. ¹ , ХИЩЕНКО К.В. ²	
Физические свойства синтетического алмаза и графита при растягивающих напряжениях, создаваемых действием лазерного излучения нано- и пикосекундной длительности.....	82
КРИЗЬМИН И.В., ЗИМАЛИН Б.Г., МОЧКАЕВ С.В., САВКИН А.В., ТРИКАНОВА О.В.	
Стенд аттестации элементов системы формирования пространственного профиля лазерного пучка мощной многоканальной неодимовой установки	83
МИХАЙЛЮК А.В., КУЗНЕЦОВ А.П., КОШКИН Д.С., ГУБСКИЙ К.Л.	
Разработка лазерного интерферометра для исследования ударных волн, генерируемых мощными лазерными импульсами.....	84
МУРЗАКОВ М.А., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., МАРКУШОВ Ю.В.	
Исследование микроструктуры и износостойкости покрытий, полученных при добавлении наночастиц тугоплавких соединений при лазерной наплавке	85
НИКИТИНА Е.А., САВЧЕНКОВ А.В., ГУБСКИЙ К.Л., КУЗНЕЦОВ А.П., БУЖИНСКИЙ О.И., ТУГАРИНОВ С.Н.	
Разработка методики удаления пленок сложного состава с поверхности металлических зеркал на ИТЭР.....	86
ПРОТАСОВ Е.А., ПРОТАСОВ Д.Е.	
ЯМР экспресс-анализатор качества моторного топлива	87
ПРОТАСОВ Е.А., ПРОТАСОВ Д.Е., СМИРНОВА А.В.	
Эффекты взаимодействия лазерного излучения с живыми тканями человека	88
РАМАЗАНОВ А.М., КУЗНЕЦОВ А.П., ГУБСКИЙ К.Л., САРАНЦЕВ С.А., РАЕВСКИЙ И.Ф., НОРКИН С.В.	
Измерение газокинетического давления плазмы одноканальным оптоволоконным интерферометром с прямым преобразованием доплеровских сигналов.....	89
СОКОЛОВ А.Ю., КОНОВАЛОВ П.И., ДОЛОТОВ А.С., ВИКУЛИН М.П., НУРТДИНОВ Р.И., ПРЯНИШНИКОВ И.Г., КРАПИВА П.С.	
Хронографические электронно-оптические преобразователи для диагностики лазерного излучения и плазмы	90

ТИМОФЕЕВ И.С., БУРДОНСКИЙ И.Н., ГОЛЫЦОВ А.Ю., ЛЕОНОВ А.Г.,
МАКАРОВ К.Н., ЮФА В.Н.

Моделирование микрометеоритных потоков при воздействии мощного
лазерного излучения на многокомпонентные поликристаллические породы..... 91

Секция

«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА, ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ»

АБИН Д.А. МИНЕЕВ Н.А., ОСИПОВ М.А., ПОКРОВСКИЙ С.В., РУДНЕВ И.А. Намагниченность проводов на основе MgB_2	93
АГРАФОНОВ Ю.В., ПЕТРУШИН И.С. Ближний порядок в молекулярной системе вблизи ограничивающей поверхности	94
АЛЕКСЕЕВ П.А. Новые особенности Кондо-изоляторов: семейство CeM_2Al_{10}	95
ANIKIN V.A., BORISOV A.M., KAZAKOV V.A., MASHKOVA E.S., PALYANOV Yu.N., POPOV V.P., SHMYTKOVA E.A., SIGALAEV S.K. Diamond single crystal surface modification under high-fluence ion irradiation	96
БАСКАКОВА А.В., БУХЕНСКИЙ К.В., ДЮБУА А.Б., КУЧЕРЯВЫЙ С.И., МАШНИНА С.Н., САФОШКИН А.С. Кинетические процессы в сильнолегированных двумерных полупроводниковых гетеропереходах.....	97
БЕЗОТОСНЫЙ П.И., ГАВРИЛКИН С.Ю., ИВАНЕНКО О.М., МИЦЕН К.В., ЦВЕТКОВ А.Ю. Теоретические основы методики определения глубины проникновения магнитного поля	98
БЕСЕДИН И.С., ШУЛЬГА К., АБРАМОВ Н., УСТИНОВ А.В. Импульсная характеристика квантового сверхпроводящего метаматериала.....	99
ВАСИЛЬЕВ А.Л., БАЛЛАРИНО А., БОТТУРА Л., ГАВРИЛКИН С.Ю., ДЕГТЯРЕНКО П.Н., КАРАТЕЕВ И.А., КРУГЛОВ В.С., ЛАТУШКИН С.Т., ЛУНЕВ А.В., РЯЗАНОВ А.И., СЕМЕНОВ Е.В., УНЕЖЕВ В.Н., ФЛЮКЕГЕР Р., ШАВКИН С.В. Особенности изменения магнитных характеристик и микроструктуры образцов сверхпроводящего интерметаллида Nb_3Sn облученного быстрыми протонами энергией 12,4 и 12,8 МэВ.....	100
ВЛАСОВ В.А., ТОЛОКОНСКИЙ А.О., ВЛАСОВА С.В. Проверка статистических гипотез о значении функций от неизвестных параметров закона распределения	101
ГАЙНАНОВ Б.Р., МЕНУШЕНКОВ А.П., ПОПОВ В.В., ЗУБАВИЧУС Я.В.	

Исследование изменения кристаллической и локальной структуры в соединениях $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Sm}; \text{M}=\text{Zr}, \text{Hf}$) при фазовом переходе «флюорит-пирохлор».....	102
ГЛУШКОВ В.В., АЗАРЕВИЧ А.Н., АНИСИМОВ М.А., БОГАЧ А.В., БОЖКО А.Д., ГАВРИЛКИН С.Ю., ДЕМИШЕВ С.В., ДУХНЕНКО А.В., КОНДРИН М.В., КУЗНЕЦОВ А.В., ЛЕВЧЕНКО А.В., САННИКОВ И.И., ФИЛИПОВ В.Б., ШИЩЕВАЛОВА Н.Ю., СЛУЧАНКО Н.Е. Диффузионная термоэдс и фононное увлечение носителей заряда в высших бориды иттербия.....	103
GORSHUNOV V., TORGASHEV V., ZHUKOVA E., THOMAS V., BELYANCHIKOV M., SAVINOV M., KADLECC H., KADLEC F., PROKHOROV A., KADYROV L., PETZELT J., OSTAPCHUK T., FORSENKO D., THOMAS P., DRESSEL M. Terahertz spectroscopy of ferroelectric state in the ensemble of nanocaged water molecules.....	104
ГУРЬЕВ В.В., ШАВКИН С.В., КРУГЛОВ В.С., ВОЛКОВ П.В., ВАСИЛЬЕВ А.Л., ОБЧАРОВ А.В., ЗУБАВИЧУС Я.В., СВЕТОГОРОВ Р.Д., ПАШАЕВ Э.М., ЛИХАЧЕВ И.А. Особенности вольт - полевых характеристик Nb-Ti фольг.....	105
ДЕГТЯРЕНКО Н.Н., МАЗУР Е.А. Моделирование свойств гидридов при высоком давлении.....	106
ДЕГТЯРЕНКО Н.Н., ПИСАРЕВ А.А. Моделирование взаимодействия атомарного водорода на поверхности и в массиве вольфрама.....	107
ДЕГТЯРЕНКО П.Н., БАЛАШОВ Н.Н., ИВАНОВ С.С., САМОЙЛЕНКОВ С.В. Электрофизические характеристики низкоомных контактных соединений коммерческих ВТСП-2.....	108
ЗАРУБИН С.С., ЧЕРНИКОВА А.Г., МАРКЕЕВ А.М., СПИРИДОНОВ М.В., ЗЕНКЕВИЧ А.В. Структурные и сегнетоэлектрические свойства наноразмерных плёнок $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$	109
ЗУЕВ В.В., ДЕМИН М.В., ФОМИНСКИЙ В.Ю., РОМАНОВ Р.И., ГРИГОРЬЕВ В.В. Получение и свойства наноструктурированной пленки орторомбического оксида вольфрама для детектора водорода на кристалле SiC.....	110
ИВАНОВ В.Г., МЕНУШЕНКОВ А.П., БЬЯНКОНИ А. Низкотемпературные аномалии фактора Дебая-Валлера межатомной связи As-Fe в монокристаллах $\text{LaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{AsO}$: данные EXAFS-спектроскопии.....	111
ИВАНОВ В.Г., РУДНЕВ И.А., ЖУКОВ Д.Г., ЩЕТИНИН И.В., МЕНУШЕНКОВ В.П., РОГАЛЕВ А., ИВАНОВ А.А., ЧЕРНЫШЕВА О.В., МЕНУШЕНКОВ А.П. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм магнитотвердых интерметаллидов $\text{Nd}_2(\text{Fe}, \text{Zr})_{14}\text{B}$	112
ИВАНЦОВ И.Д., ОВЧИННИКОВ С.Г.	

Сочетание метода точной диагонализации малых кластеров и квантового метода Монте-Карло при исследовании модели Хаббарда	113
КАРЦЕВ П.Ф., КОРЧАГИН Д.С., ЕСИН М.И.	
Решение уравнений Гинзбурга-Ландау для сверхпроводящей пленки в поле периодического массива ферромагнитных частиц	114
КАРЦЕВ П.Ф., КУЗНЕЦОВ И.О.	
Численное моделирование процесса термализации слабозаимодействующего бозе-газа при помощи кинетического уравнения	115
КАРЦЕВ П.Ф., МОЧАЛОВ В.А.	
Скорость перемагничивания ферромагнитной частицы вблизи сверхпроводящего интерферометра.....	116
КАШУРНИКОВ В.А., МАКСИМОВА А.Н., РУДНЕВ И.А.	
Магнитные и транспортные свойства слоистых ВТСП с различным параметром анизотропии	117
КАШУРНИКОВ В.А., КРАСАВИН А.В., ЖУМАГУЛОВ Я.В.	
Восстановление плотности состояний для сверхпроводников на основе железа	118
КОНАРЕВ П.В., ВОЛКОВ В.В., СВЕРГУН Д.И.	
Интерактивная графическая система для анализа данных малоуглового рассеяния от полидисперсных систем	119
КУДАСОВ Ю.Б., МАРКЕЛОВА М.Н., МАСЛОВ Д.А., ПЛАТОНОВ В.В.	
Диэлектрический отклик сегнетоэлектрика LuFe_2O_4	120
КУЗЬМИН В.И., НИКОЛАЕВ С.В., ОВЧИННИКОВ С.Г.	
Исследование влияния внешнего магнитного поля на поверхность Ферми и электронную структуру t-J модели в рамках кластерной теории возмущений ..	121
ЛАПИЦКИЙ Д.С., ФИЛИНОВ В.С.	
Области удержания заряженной наночастицы в электродинамической ловушке	122
МАКАРОВ И.А., КОЗЛОВ П.А., ШНЕЙДЕР Е.И., ОВЧИННИКОВ С.Г.	
Кластерная теория возмущений для систем с сильными электронными корреляциями и сильным электрон-фононным взаимодействием	123
МИНЕЕВ Н.А., АБИН Д.А., ПОКРОВСКИЙ С.В., ОСИПОВ М.А., ПОКРОВСКАЯ Е.М., РУДНЕВ И.А.	
Влияние анизотропии критического тока на намагниченность стопок ВТСП лент	124
МИХАЙЛОВ Б.П., КОЛОКОЛЬЦЕВ В.Н., МИХАЙЛОВА А.Б., МИНЕЕВ Н.А., ШАМРАЙ В.Ф., КРУТСКИХ Н.А., АЛИБЕКОВ С.Я.	
Структура и электрофизические свойства ВТСП лент, подвергнутых механическим ударам и термообработке	125
МОРОЗ А.Н., МАКСИМОВА А.Н.	
Моделирование двумерных вихревых структур в слоистых сверхпроводниках второго рода.....	126
MOTOVILOV K.A., ZHUKOVA E.S., SAVINOV M., PRONIN A.A., BEDNYAKOV P., PROKHOROV A.S., GAGKAEVA Z.V., SIDORUK K.V.,	

GREBENKO A.K., KADYROV L.S., BARZILOVICH P.YU., GRINENKO V., TORGASHEV V., DRESSSEL M., GORSHUNOV B.P. Universal dielectric responses in proteins.....	127
МУРАШКИН Д.А., СААКЯН С.А., САУТЕНКОВ В.А., ЗЕЛЕНЕР Б.Б. Квантовый дефект D-состояния для атомов лития-7.....	128
МУРЛИЕВА Ж.Х., АЛИХАНОВ Н.М.-Р., ПАЛЧАЕВ Д.К., АХМЕДОВ А.К. Технология получения и свойства наноструктурированной керамики BiFeO_3 .	129
ОСИПОВ М.А., ПОКРОВСКИЙ С.В., АНДРЕЕВ А.О., МИНЕЕВ Н.А., АБИН Д.А., РУДНЕВ И.А. Исследование гистерезисных потерь в ВТСП лентах после лазерного филаментирования	130
ПАЛЧАЕВ Д.К., ГАДЖИМАГОМЕДОВ С.Х., МУРЛИЕВА Ж.Х., РАБАДАНОВ М.Х. Технология получения наноструктурированной керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	131
ПОКРОВСКИЙ С.В., ОСИПОВ М.А., АБИН Д.А., МИНЕЕВ Н.А., РУДНЕВ И.А. Магнитные и левитационные свойства многослойных стопок ВТСП лент.	132
ПОПОВ В.В. Структурообразование и фазовый переход «флюорит \rightarrow пироклор» в системах « Ln_2O_3 - MO_2 ».....	133
ПОПОВ В.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., КАШУРНИКОВА О.В., ЯСТРЕБЦЕВ А.А., ЗУБАВИЧУС Я.В. Изменение локальной и кристаллической структуры $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ при фазовом переходе «флюорит-пироклор».....	134
ПОПОВ В.В., ЯСТРЕБЦЕВ А.А., МЕНУШЕНКОВ А.П., КОЛЫШКИН Н.А., СВЕТОГОРОВ Р.Д., ЗУБАВИЧУС Я.В. Особенности кристаллической и локальной структуры соединений, образующихся в системе « Dy_2O_3 - ZrO_2 »	135
РОМАНОВ Р.И., ФОМИНСКИЙ В.Ю., СОЛОВЬЕВ А.А., ГНЕДОВЕЦ А.Г. Получение и применение наночастиц для модифицирования тонкопленочных покрытий MoSe_2	136
САВЧЕНКОВ П.С., АЛЕКСЕЕВ П.А. Квазиупругое рассеяние нейтронов на промежуточновалентном соединении SmB_6	137
САННИКОВ И.И., БОЛЫЧЕВЦЕВ С.В., ИВАНОВА А.А., КУЗНЕЦОВ А.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., ЧУРКИН О.А. Две компоненты критического тока пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	138
СИНЧЕНКО А.А., P. LEJEY, P. MONCEAU Взаимодействие ортогональных волн зарядовой плотности в квазидвумерном соединении EgTe_3	139
СОЛОВЬЕВ А.А., ФОМИНСКИЙ Д.В., РОМАНОВ Р.И. Каталитические свойства гибридных наноструктур $\text{WSe}_2/\text{WO}_{3-y}$ в электрохимической реакции выделения водорода	140
СОТНИКОВА А.П., РУДНЕВ И.А. Влияние температуры на механизмы пиннинга в ВТСП композитах.....	141

СЫЧУГОВ В.В., ДЕГТЯРЕНКО П.Н., КРУГЛОВ В.С., ШАВКИН С.В. Изменение критического тока и показателя степени вольт-амперных характеристик коммерческих ВТСП-2 лент во внешних магнитных полях различной ориентации	142
FEKLISTOV D.Y., FILIPPOV V.P., KURCHATOV I.M., LAGUNTSOV N.I., SALOMASOV V.A. Mössbauer spectroscopy studies of alumino-silicate reagent interaction with dissolved iron in water.....	143
ФЕТИСОВА А.И., КИРТАЕВ Р.В., МАТВЕЕВ Ю.А., НЕГРОВ Д.В., ЗЕНКЕВИЧ А.В. Наноразмерные электронные синапсы на основе HfO_2 в геометрии кросс-баров.	144
FILIPPOV V. P., SALOMASOV V. A. Mössbauer spectroscopy possibilities in investigation of the phase changes in alloy near surface layers under plasma, optic and ion irradiation influence	145
FILIPPOV V. P., KALIN B.A., PETROV V.I., VOLKOV N.V. Phase changes of iron near surface layers under argon ion irradiation	146
ХУБУТДИНОВ Р. М., ПОПОВ В.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., ШАРАПОВ А.С., ЗУБАВИЧУС Я. В., КУРИЛКИН В.В. Изучение влияния условий синтеза на кристаллическую структуру порошков, образующихся в системе « $\text{ZrO}_2 - \text{Ce}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$ ».....	147
ЯКОВЛЕВ И.А., ТАРАСОВ И.А., БЕЛЯЕВ Б.А., ВАРНАКОВ С.Н., ЖАРКОВ С.М., ОВЧИННИКОВ С.Г. Высокая эффективная намагниченность пленок $\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x$, полученных методом МЛЭ	148
ЯСТРЕБЦЕВ А.А., ПОПОВ В.В., МЕНУШЕНКОВ А.П. Процессы анионного и катионного упорядочения в соединениях $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln} = \text{La} - \text{Dy}, \text{Y}; \text{M} = \text{Zr}, \text{Hf}$).....	149
ЯШКИН Д.С., КРАСНОПЕРОВ Е.П., БРАЖНИК П.А., КРУГЛОВ В.С. Метод измерения температурной зависимости критического тока ВТСП-2	150

**Секция
«УСКОРИТЕЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ»**

АВЕРЬЯНОВ Г.П., БУДКИН В.А., ДМИТРИЕВА В.В., НОСОВА Е.М., ОСАДЧУК И.О., ПЛОТНИКОВ С.В. Интерактивная среда проектирования каналов транспортировки релятивистских пучков заряженных частиц	152
АВЕРЬЯНОВ Г.П., ДМИТРИЕВА В.В., ИГНАТОВ А.А., НОСОВА Е.М. Научно-образовательная среда «Электрофизика».....	153

АВЕРЬЯНОВ Г.П., ДМИТРИЕВА В.В., ПЛОТНИКОВ С. В., ТУРЧИН В.И. Высокочастотные ускоряющие системы для кластерных ионов изотопов водорода	154
АВЕРЬЯНОВ Г.П., ДМИТРИЕВА В.В., ТУРЧИН В.И., ШАТОХИН В.Л. Имитационное моделирование в вакуумной технике	155
АКСЕНТЬЕВ А.Е. Анализ систематических ошибок в эксперименте по изучению временной инвариантности	156
АЛЕКСЕЕВ В.П., БЫСТРОВ П.А., РОЗАНОВ Н.Е. Предварительные расчеты и оценки характеристик соленоидальной фокусирующей системы лампы бегущей волны.....	157
АНДРЕЕВ В.А., В.С. АЛЕКСАНДРОВ В.С., БАРАБИН С.В., БУТЕНКО А.В., ГОВОРОВ А.И., ГОЛОВЕНСКИЙ Б.В., ГУСАРОВА М.А., ДЮБКОВ В.С., КЛЫКОВ К.А., КОБЕЦ В.В., КОВАЛЕНКО А.Д., КОЗЛОВ А.В., КОШЕЛЕВ В.А., КРОПАЧЕВ Г.Н., КУЙБИДА Р.П., КУЗЬМИЧЕВ В.Г., КУЛЕВОЙ Т.В., ЛЕВТЕРОВ К.А., ЛЯКИН Д.А., МАМАЕВ И.В., МАРТЫНОВ А.А., МОНЧИНСКИЙ В.А., НАУМЕНКО М.Ю., ОРЛОВ А.Ю., Г.Н. ОСТАШКОВ ⁴ , А.С. ПЛАСТУН, С.М. ПОЛОЗОВ, САМОШИН А.В., СЕЛЕЗНЕВ В.В., СЕЛЕЗНЕВ Д.Н., СИДОРИН А.О., СИТНИКОВ А.Л., СТАСЕВИЧ Ю.Б., ТРУБНИКОВ Г.В. Физический пуск нового инжектора ускорительного комплекса «Нуклотрон- NICA»	158
АШАНИН И.А. Замедляющий капилляр из сапфира интегрированный с антенной на частоте 0,675 ТГц	159
БАШМАКОВ Ю.А, АВЕРЬЯНОВ Г.П., БУДКИН В.А. , ОСАДЧУК И.О. Адаптивно-модульный подход проектирования каналов транспортировки заряженных частиц высоких энергий.	159
БЕЛУГИН В.М., ВАСИЛЬЕВ А.Е., РОЗАНОВ Н.Е. Исследование возможности применения соленоидальной фокусировки в мощных широкополосных лампах бегущей волны	160
БОГДАНОВИЧ Б.Ю., ВОВЧЕНКО Е.Д., ИЛЬИНСКИЙ А.В., ИСАЕВ А.А., КОЗЛОВСКИЙ К.И., НЕСТЕРОВИЧ А.В., ШИКАНОВ А.Е. Проект генератора нейтронов для определения кислорода и углерода методом прямой активации в условиях естественного залегания продуктивных углеводородов	161
БОГОМОЛОВ А.С., ЛАЛАЯН М.В., ТОПОРКОВ С.Е., Сметанин М.Л. , ТЕЛЬНОВ А.В., ШАРАВИН Э.А. Макет замедляющей системы линейного протонного ускорителя	162
БРЯЗГИН А.А., БЕЗУГЛОВ В.В., ВЛАСОВ А.В., ВОРОНИН Л.А., КОРОБЕЙНИКОВ М.В., ЛУКИН А.Н., МАКСИМОВ С.А., НЕХАЕВ В.Е.,	

НИКОНОВ Ф.А., ПАНФИЛОВ А.Д., РАДЧЕНКО В.Д., СИДОРОВ А.В., ТКАЧЕНКО В.О., ФАКТОРОВИЧ Б.Л., ШТАРКЛЕВ Е.А.	
Промышленные ускорители электронов ИЛУ и их применение	163
БУЛЕЙКО А.Б., ЛАЛАЯН М.В., ТОПОРКОВ С.Е.	
Тепловой режим работы многозаронных СН-резонаторов	163
БУЯНОВ Г.О., КЛАЧКОВ А.П., ПОНОМАРЕНКО А.Г.	
Компрессор энергии радиоимпульсов для питания многосекционного мобильного ЛУЭ.....	164
ВЛАДИМИРОВ И.Ю.	
Методика измерения продольного эмиттанса пучка СВЧ пушки	164
ВЛАДИМИРОВА Л.В.	
Многокритериальная оптимизация в задаче управления динамикой пучка в линейном ускорителе	165
ВОЛОБУЕВ Е.Н., ЗАВАДЦЕВ А.А., ЗАВАДЦЕВ Д.А., КРАВЧУК Л.В., ПАРАМОНОВ В.В., ЛАЛАЯН М.В., СМИРНОВ А.Ю., СОБЕНИН Н.П., ЧУРАНОВ Д.В.	
Структура поперечного отклонения пучка электронов XFEL TDS INJ.....	166
ВОЛОБУЕВ Е.Н., ЗАВАДЦЕВ А.А., ЗАВАДЦЕВ Д.А., КРАВЧУК Л.В., ПАРАМОНОВ В.В., СОБЕНИН Н.П.3, ЧУРАНОВ Д.В.	
Дефлектор XFEL TDS BC1	167
ВОЛОБУЕВ Е.Н., ЗАВАДЦЕВ А.А., ЗАВАДЦЕВ Д.А., СОБЕНИН Н.П., ЧУРАНОВ Д.В.	
Система высокочастотного питания отклоняющей структуры XFEL TDS INJ.....	168
ГУЧКИН А.С., АШАНИН И.А., ГРИГОРЬЕВ И. П., ГАЛЧУК А.В., ГНУТОВ П.А., КЛОПЕНКОВ Р.М., КУЖЛЕВ А.Н., ЯРОШ В.Е.	
Особенности первого года эксплуатации циклотронного комплекса СС-18/9М.....	169
ДВОРНИКОВ В.А., КУЗЬМИН И.А., МАРКОВ В.Н., ПРОСКИН С.С., ЩЕДРИН И.С.	
Оптимизация ускоряющей структуры ЛУЭ	169
ДЮБКОВ В.С.	
О некоторых результатах по использованию аксиально-симметричной ВЧ фокусировки в линейных протонных ускорителях на энергию до 7 МэВ.....	170
ЕРМАКОВ А.Н., ХАНКИН В.В.	
Основные результаты пусковых работ на промышленном ускорителе с энергией пучка 10 МэВ	170
ЕРМАКОВ А.Н., ХАНКИН В.В., ЮРОВ Д.С.	
Формирование поля облучения промышленного ускорителя с помощью редкоземельных постоянных магнитов	171
ЗАВАДЦЕВ А.А., ЗАВАДЦЕВ Д.А., ЗЫБИН Д.А., ЧУРАНОВ Д.В., ШЕМАРЫКИН П.В.	
Твердотельный источник питания клистрона XFEL TDS INJ	171
ЗОВОУ М.М.	

Crab waist collision scheme – a novel approach for particle colliders	172
ИВАНОВ А.Н., АНДРИАНОВ С.Н., СЕНИЧЕВ Ю.В. Компьютерное моделирование спин-орбитальной динамики в накопительных кольцах	173
ИВАНОВ С.М., ПЕРЕЛЬШТЕЙН Э.А., ПОЛОЗОВ С.М., ФАДЕЕВ А.М. Использование терморрадиотерапии в лечении глубоко расположенных новообразований.....	174
КАРИМОВ А.Р., ШАТОХИН В.Л., Ю МИНГ, СТЕФЛО Л. Процессы неравновесного обмена во вращающихся плазменных потоках	175
КЛЮЧЕВСКАЯ Ю.Д. Вариационные характеристики бипериодической ускоряющей структуры с рабочей частотой 27 ГГц.....	175
LAXDAL R.E., ZVYAGINTSEV V.L ARIEL Electron Linac: Commissioning and Development.....	176
МИХЕЕВА И.М. Перспективы развития рынков применения ускорителей заряженных частиц	176
ОВСЯННИКОВ Д.А., ОВСЯННИКОВ А.Д., АНТРОПОВ И.В., КОЗЫНЧЕНКО В.А. Программный комплекс моделирования и оптимизации динамики пучков BDO- RFQ	177
ОВЧИННИКОВА Л.Ю. Накопительные кольца на низкую энергию с большой динамической апертурой	178
ПОЛОЗОВ С.М., РАЩИКОВ В.И. О возможности повышения коэффициента захвата в режим ускорения и уменьшения спектра пучка при ускорении в плазменных каналах.....	178
ПОЛОЗОВ С.М., ТАЦЮК О.А. Моделирование ондуляторной ускоряющей структуры ленточного ионного пучка	179
РОЗАНОВ Н.Е. Влияние нагрузки током в электронных ускорителях на стоячей волне.....	180
ПАВЛОВ Ю.С., СУРМА А.М., ЛАГОВ П.Б., ФОМЕНКО Ю.Л., ГЕЙФМАН Е.М. Электронно-лучевые технологии модификации биполярных полупроводниковых приборов на ускорителях	181
РУБЦОВА И.Д. Метод функций Грина расчета кулоновского поля квазипериодического пучка и его возможности	182
САВИН Е.А., БУЛАНОВ А.В., АЛЕХАНОВ Р.Ю., МАЦИЕВСКИЙ С.В., СОБЕНИН Н.П., КАМИНСКИЙ В.И. Гибридный линейный ускоритель электронов на основе КДВ-М с использованием бипериодической ускоряющей структуры вместо поглощающей нагрузки.....	183
САВИН Е.А., МАЦИЕВСКИЙ С.В., СОКОЛОВ И.Д., СОБЕНИН Н.П., ЛАЛАЯН М.В., ЗАВАДЦЕВ А.А.	

Генераторно – ускорительный модуль с непосредственной подачей генерируемой мощности в бипериодическую ускоряющую структуру.	184
СЕЛЕЗНЕВ Д.Н., КУЛЕВОЙ Т.В., ПЛОТНИКОВ С.В., КОЗЛОВ А.В., КРОПАЧЕВ Г.Н.	
Исследование масс-зарядового спектра пучка искрового источника	184
ШАШКОВ Я.В., ГУСАРОВА М.А., СОБЕНИН Н.П., БАЗЫЛЬ Д.С., ДОНЕЦКИЙ Р.В., ЛАЛАЯН М.В., ЗОБОВ М.М., ЗАВАДЦЕВ А.А.	
Экспериментальное исследование модели гармонического сверхпроводящего резонатора для проекта повышения светимости БАК.....	185
ШЕСТАК В.П.	
Аналитический обзор деятельности американского вакуумного общества.....	186
ШЕСТАК В.П.	
Бифуркации и аттракторы вакуумной техники и технологии	186

Секция

«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ»

Руководитель секции – *Курнаев В.А.*, и.о. руководителя центра ПЛИТ,
заведующий кафедрой № 21

Секретарь секции – *Филиппов Е.Д.*, инженер кафедры № 21
Тел. (495)788-56-99 Доб. 9983 или 9321
Факс (499)324-21-11
E-mail: plit@plasma.mephi.ru

АББАСОВ Т.С., КОЛОГРИВОВ А.А., ПУЗЫРЁВ В.Н., СААКЯН А.Т.,
СТАРОДУБ А.Н., ЯКУШЕВ О.Ф.

*Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук,
лаборатория воздействия лазерного излучения ЛВЛИ ФИАН*

Исследование диапазона мягкого рентгеновского излучения на установке «Канал-2»

В докладе представлены результаты экспериментов по исследованию диапазона мягкого рентгеновского излучения (МРИ) при взаимодействии излучения с управляемой когерентностью наносекундного лазера установки «Канал-2» с массивными мишенями из Be, В, и Си. Приводятся расшифрованные спектры МРИ, полученные на спектрографе скользящего падения GIS-S, с рабочим диапазоном 30 Å – 130 Å, а также данные электронной температуры, определённой методом фильтров. Представленные результаты обсуждаются в рамках теоретической модели локального термодинамического равновесия.

АКИШЕВ Ю.С.^{1,2}, КАРАЛЬНИК В.Б.¹, ПЕТРЯКОВ А.В.¹, ТРУШКИН
Н.И.¹

¹АО ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований,
Москва, Троицк

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

3-D численные расчеты стримеров на поверхности мелкой и глубокой воды

Создание тонкого слоя неравновесной низкотемпературной плазмы на поверхности жидкостей при атмосферном давлении представляет большой интерес для многих научных и технологических приложений. Плазменная обработка позволяет создавать в жидкости большое число химически и биологически активных частиц, способных обеспечить в жидкости интенсификацию необходимых реакций. Один из широко распространенных способов создания активной плазмы на поверхности жидкости состоит в использовании так называемого барьерного разряда, в котором роль барьера выполняет слой обрабатываемой жидкости. Как правило, такой разряд реализуется на поверхности жидкости в форме многочисленных тонких плазменных каналов (стримеров), стелящихся по жидкой поверхности. Свойства поверхностных стримеров зависят не только от свойств жидкости (например, от проводимости жидкости), но от геометрии кюветы, в которую налита обрабатываемая жидкость. В данном докладе будут представлены результаты 3-х мерных расчетов распределения электрических полей и плотности тока в стримере и жидкости, по которой он распространяется, в зависимости от глубины кюветы, ее длины и ширины. Варьируемым параметром является также проводимость жидкости.

АНАНЬЕВ С.С., ВИХРЕВ В.В., СУСЛИН С.В.

¹*Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт», Москва*

Роль эффекта Холла в динамике плазмы в установке ПФ-3

Представлена двумерная, одножидкостная МГД-модель динамики плазмы в плазменном фокусе типа филиппова, учитывающая эффект Холла в прианодной области.

Эффект Холла имеет различную значимость в установках с плазменным фокусом, в зависимости от геометрических и электротехнических параметров, а так же от используемого рабочего газа. Показано, что для установки ПФ-3 эффект Холла значительно влияет на форму токонесущей оболочки, а так же на временные параметры разряда.

Подтверждена ключевая роль эффекта Холла в возникновении эффекта «убегания» токонесущей плазменной оболочки, который выражается в значительно более быстром её движении вдоль одного из электродов. В работе представлены изображения, моделирующие электронно-оптические измерения и зондовые измерения магнитного поля; а так же их сравнение с экспериментальными изображениями.

АНАНЬЕВ С.С., ДАНЬКО С.А., КАЗАКОВ Е.Д., КАЛИНИН Ю.Г.,
КУРИЛО А.А., СТРИЖАКОВ М.Г

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Особенности поведения плазмы при взаимодействии РЭП с полимерными анодами

Исследование параметров плазмы, возникающей при взаимодействии электронных пучков сильноточного ускорителя “Кальмар” с полимерными мишенями показало, что при максимальной энергии – 350 кэВ, токе – 25 кА, и плотности энерговыделения в диапазоне 200-800 Дж/см², скорость движения границы светящейся области на ЭОПе, работающем в режиме щелевой развертки, составила 10-35 км/с [1]. Интересно, что в некоторых “выстрелах” наряду с типичным движением регистрируемого свечения (от периферии к центру межэлектродного промежутка) наблюдалось его распространение в противоположном направлении – к краям диодного узла. Происходило это после переполюсовки диода, со скоростями на порядок большими скоростей движения плазмы от электродов. При работе на плотностях энерговыделения в десятки джоулей на см², возникал излом на границе светящейся области, однако, вышеописанного разлета не наблюдалось. Явление, скорее всего, связано с тем, что на начальном этапе к оси с электродов движется вещество, излучение которого в видимой области невелико, и камера его не регистрирует. После столкновения повышается температура и наблюдается разлёт.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-02-03544-А.

Список литературы

1. С.С. Ананьев и др. XIII Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу; сборник тезисов докладов, 2015 г, стр. 187.

АНАНЬИН О.Б., БОГДАНОВ Г.С., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГЕРАСИМОВ И.А.,
МЕЛЕХОВ А.П., НОВИКОВ И.К., РАМАКОТИ Р., СРЕДИН В.Г.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Использование рентгеновского излучения вакуумной искры с лазерным иницированием для воздействия на полупроводник $CdxHg_{1-x}Te$

Известно, что полупроводник (твердый раствор) $CdxHg_{1-x}Te$ давно и широко используется для создания оптических приборов инфракрасного диапазона.

В данной работе рассматриваются результаты воздействия на данный полупроводник широкодиапазонного рентгеновского излучения ($E_{xray}=0.5\div 10$ кэВ) от источника, выполненного на основе импульсной разрядной плазмы с лазерным иницированием. Ожидается, что перестройкой спектра источника рентгеновского излучения можно добиться селективного воздействия излучения на один из элементов многокомпонентного соединения $CdxHg_{1-x}Te$. То есть речь идет об изменении приповерхностных свойств вещества в результате избирательного поглощения рентгеновского излучения.

Разрядная система источника рентгеновского излучения представляет собой малоиндуктивную вакуумную искру с накопительной емкостью $C=0,2$ мкф. Рабочее напряжение на накопителе $U\leq 14$ кВ. Ток разряда до 10 кА. Для возбуждения разряда применяется лазерное излучение импульсного Nd-лазера ($E_n\leq 60$ мДж, $\tau_n\approx 15$ нс).

APELFELD A.V.¹, BETSOFEN S.Y.¹, BORISOV A.M.¹,
VLADIMIROV B.V.¹, SAVUSHKINA S.V.²

¹*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

²*Keldysh Research Center, Moscow, Russia*

Stabilization of the high-temperature phases of the oxide coating on zirconium alloy produced by plasma treatment in electrolyte

The composition and the structure of ceramic coatings obtained on Zr-1%Nb alloy (E110) by plasma electrolytic oxidation (PEO) in the electrolyte, comprising 2 g / l KOH, 6 g / l NaAlO₂, 2 g / l Na₂SiO₃ and addition of yttrium oxide nanopowder, have been studied. The oxide coating of thickness of ~ 20 microns was obtained after 60 minutes of PEO with an alternating current of density of 10 A/dm². The structure of the coatings were studied using scanning electron microscopy, X-ray microanalysis and X-ray phase analysis. It has been shown that PEO may lead to stabilization of the high-temperature zirconia phases. In particular, without the addition of yttria nanopowder the low-temperature monoclinic and high-temperature tetragonal zirconia phases in the PEO coating are observed. Additive into the electrolyte of yttria nanopowder allowed to stabilize the high-temperature tetragonal zirconia phase in the PEO coating. When added to the electrolyte 7 g / L of yttria nanopowder the high-temperature cubic phase of zirconia dominates in the PEO coating.

БАЛОВНЕВ А.В., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАТ Э.И.,
ЕГОРОВ И.Д., КОСТЮШИН В.А., САВЕЛОВ А.С.,
САЛАХУТДИНОВ Г.Х.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Исследования ионной эмиссии из плазмы микропинчового разряда

Представлена методика и основные экспериментальные результаты исследования спектрального состава ионной эмиссии из плазмы микропинчового разряда на установке типа «низкоиндуктивная вакуумная искра», в зависимости от места между электродами разрядной системы. Для исследования эмиссии ионов из плазмы был разработан и создан магнитный сепаратор ионов, построенный на базе постоянных магнитов (0,7 Тл), заключенных в кожух из мягкого железа. Ион попадая в сепаратор через коллимационное отверстие, двигался по круговой орбите и регистрировался твердотельный трековый детектор CR-39. Степень ионизации и энергия иона определялись как по отклонению в магнитном поле, так и по виду трека в трековом детекторе CR-39. Данный вид детектора нечувствителен к сопутствующему рентгеновскому излучению. Были получены спектры ионов различной степени ионизации из различных областей сильноточного разряда.

БАЛОВНЕВ А.В., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАД Э.И., ЕГОРОВ И.Д.,
САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Зависимость спектра рентгеновского излучения плазмы микроразрядного разряда от материала разрядных электродов

Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям параметров спектральных характеристик рентгеновского излучения (в широком энергетическом диапазоне квантов 0.5-300 кэВ) плазмы генерируемой на установке «низкоиндуктивная вакуумная искра» при различных материалах анода разрядной системы. Данные исследования были проведены с помощью разработанного комплекса многоканальных спектрометров рентгеновского излучения на основе термоминесцентных и сцинтилляционных детекторов. Исследование спектра рентгеновского излучения плазмы, проводилось при стержневом аноде, изготовленном из различных материалов (Al^{13} , Fe^{26} , Cu^{29} , W^{74}). Катодом служил плоский электрод, изготовленный из железа. Исследование спектров рентгеновского излучения плазмы показало, что вид спектра и параметры плазмы микроразрядного разряда зависят от материала анода разрядной системы установки.

БАЛОВНЕВ А.В., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАД Э.И., ЕГОРОВ И.Д.,
САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Применение сцинтилляционных и термолюминисцентных детекторов в спектрометрии импульсного рентгеновского излучения

В зависимости от выбранного типа детектора, используемого в спектрометрических системах рентгеновского излучения плазмы (основанных на методе фильтров поглощения), зависит надежность и точность проведенных исследований. Учитывая особенности регистрации и вид спектра рентгеновского излучения плазмы, на основании проведенных исследований свойств детекторов было установлено, что для спектрометрии рентгеновского излучения плазмы в области энергий 1 -25 кэВ наиболее предпочтительным является использовать кремневые *p-i-n* диоды или термолюминесцентные детекторы LiF. Для спектрометрии рентгеновского излучения плазмы в области энергий более 15 кэВ, используются неорганические сцинтилляторы, которые обладают высокой эффективностью регистрации по сравнению с другими детекторами.

БАЛОВНЕВ А.В. , ГРИГОРЬЕВА И.Г. , ЕГОРОВ И.Д.,
САЛАХУТДИНОВ Г.Х.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Координатно-чувствительный спектрометр импульсного рентгеновского излучения для исследования пространственной структуры плазменных объектов

Исследование пространственной структуры плазменных объектов в диапазоне рентгеновского излучения позволяет получить важную информацию об основных источниках рентгеновского излучения и понять физику процессов происходящих в плазме. Для измерения спектра высокоинтенсивного, импульсного рентгеновского излучения из исследуемых областей плазмы был разработан и создан координатно-чувствительный детектор на основе термолюминесцентных детекторов LiF. В ходе экспериментов были получены спектры импульсного рентгеновского излучения из основных излучающих областей (плазменная точка, приэлектродная плазма, анод) плазмы микропинчового разряда полученной на установке типа «низкоиндуктивная вакуумная искра», что позволяет определить механизм образования данных источников в процессе микропинчевания.

БАФОВЕВ Р.Н.^{1,2}, БЕРНАЦКИЙ А.В.¹, КУНЧЕВА Е.А.^{1,2}

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991,
Москва, Ленинский пр. 53

²Московский физико-технический институт (государственный университет),
141700, Московская область, г. Долгопрудный.

Измерение концентрации молекул воды на установке «Течь» при разных тепловых режимах

При измерении концентрации молекул воды в камере на установке «Течь» [1, 2] было установлено, что концентрация уменьшается в ходе эксперимента. Такое поведение может быть связано с адсорбцией молекул воды на стенках камеры и поверхностях разрядного устройства. В работах [3, 4] показано, что количество адсорбированных молекул воды на поверхности тем меньше, чем больше температура её поверхности. Для проверки предположения об изменении концентрации молекул воды вследствие адсорбции была смонтирована система прогрева стенок камеры.

Контроль за концентрацией частиц проводился по датчику давления, в камеру производился напуск только паров воды. В случае прогретых стенок (свыше 150 °С) наблюдалось более быстрое (в 3-4 раза) установление постоянной концентрации паров воды в камере, чем в условиях холодных (20 °С) стенок. Кроме того, на поверхность прогретых стенок адсорбировалось в 3 раза меньшее количество молекул воды. Характер результатов подтверждает причину изменения концентрации молекул воды вследствие адсорбции.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 14-12-00784).

Список литературы:

1. А.В. Бернацкий, В.Н. Очкин, О.Н. Афонин, А.Б. Антипенков // Физика плазмы. 2015, т. 41, № 9, с. 767-777.
2. А.В. Бернацкий, В.Н. Очкин // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2015, т. 42, № 9, с. 30-35.
3. Л.Н. Розанов // Вакуумная техника и технология. 2011, т. 21, № 3, с. 143-150.
4. Л.Н. Розанов // Вакуумная техника и технология. 2012, т. 22, № 4, с. 197-202.

БЕГРАМБЕКОВ Л.Б., ГОРДЕЕВ А.А., ДОВГАНЮК С.С.,
ЗАХАРОВ А.М., КАПЛЕВСКИЙ А.С., ШУТИКОВА М.И.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Разработка многослойных мишеней нейтронных трубок

Уменьшение десорбции изотопов водорода из титановых мишеней вакуумной и газонаполненной нейтронных трубок (соответственно, ВНТ и ГНТ) при рабочей температуре (350 °С) может значительно повысить ресурс их работы. Этого можно добиться при использовании многослойных мишеней, содержащих дополнительный десорбционный барьер на поверхности мишени и слой аккумулятора с барьерным слоем за титановым слоем для аккумуляции облучающих мишень ионов.

В работе выполнен первый этап работ по разработке многослойных мишеней. Подобраны материалы для слоёв многослойных мишеней ВНТ и ГНТ: оксид иттрия для внешнего барьерного слоя ВНТ и ГНТ, а также оксид иттрия и цирконий, соответственно, для внутреннего барьерного слоя и слоя аккумулятора ВНТ. Реализованы методы подготовки подложки мишени, плазменного нанесения и контроля качества слоёв мишеней. Проведено тестирование адгезии каждого из слоёв и целиком многослойных мишеней.

БОРИЕВ И.А.

*Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе
Российской академии наук (ФИНЭПХФ РАН), Черноголовка, РФ*

Проблема реализации УТС в рамках проекта ИТЭР: «аномально» быстрый перенос электронов и его причина

Существующая проблема реализации УТС то, что перенос электронов в плазме токамака оказался «аномально» быстрым: на порядок быстрее ожидаемого расчетного. Такой перенос горячих электронов приводит к раннему разрушению импачментации стенки токамака с выбросом вещества в объем плазмы, что нарушает условия удержания плазмы для УТС. Исходя из закона сохранения для импульса переноса (дрейфа) электронов показано, что их скорость дрейфа (и подвижность) в газовой среде (плазме) и должна быть больше (в $16 \div 4$ раз) относительно принятого расчета. Этот результат выявляет причину «аномального» переноса электронов (а так же известной «аномальной» диффузии Бома) и указывает на способы его подавления, что важно для обеспечения прогресса в реализации УТС.

БОРИСЮК Ю.В., ОРЕШНИКОВА Н.М. НЕНАШЕВ П.С.,
НОРАКИДЗЕ В.С., СТЕПАНОВА Т.В., МОЗГРИН Д.В., ПИСАРЕВ А.А.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Режимы зажигания и горения импульсно-периодического аномального тлеющего разряда в азоте, аргоне, водороде и смесях азот-аргон и азот-водород

Исследованы вольт-амперные характеристики аномального тлеющего разряда в импульсно-периодическом режиме. Газовая среда состояла из азота, аргона, водорода, азот-аргоновой и азот-водородной смеси при давлениях 1.0 и 1.5 торр. В качестве катодов использовались стержни 8×100 мм из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ-6. Получена зависимость тока разряда от соотношения газов в смеси. Исследована зависимость средней мощности разряда от состава газовой смеси, ее давления и параметров импульсного источника питания. Проведены эмиссионно-спектроскопические исследования плазмы.

ВЕСЕЛОВ Д.С., ВОРОНОВ Ю.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Получение диэлектрических соединений кремния методом реактивного магнетронного напыления

В данной работе проводилось распыление мишени из кремния КЭФ 4,5 в смеси инертного газа аргона с химически активными газами азотом и кислородом. Магнетронное распыление полупроводников проводится и при постоянном токе, но при реактивном образующиеся диэлектрические пленки осаждаются не только на подложку, но и на мишень. Это приводит к накоплению положительного заряда ионов и прекращению распыления. Использование высокочастотного питания требует введения специального устройства согласования сопротивлений. В данной работе питание магнетрона осуществлялось от двух низкочастотных генераторов прямоугольных импульсов противоположной полярности. Импульс отрицательной полярности обеспечивал распыление мишени, а импульс положительной полярности – стекание с мишени накопленного заряда. Этот метод не требует согласования и обеспечивает непрерывность процесса напыления.

ГЛОВА А.Ф.^{1,2}, ЛЫСИКОВ А.Ю.¹, МАЛЮТА Д.Д.¹,
НЕЛЮБИН С.С.¹, ПЕРЕТЯТЬКО П.И.¹, РЫЖКОВ Ю.Ф.¹
¹АО «ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных
исследований», Москва
²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Влияние рефракции излучения на характеристики непрерывного оптического разряда

Предложена одномерная модель оптического разряда, поддерживаемого излучением непрерывного CO₂-лазера, с учетом рефракции излучения на плазме разряда. Рефракционное уширение лазерного пучка описывается уравнением светового луча в параксиальном приближении. Получены зависимости от мощности излучения и фокусного расстояния фокусирующей линзы координат границ разряда в Ag при атмосферном давлении в покоящемся газе и в режиме лазерного плазмотрона при обдуве разряда встречным потоком газа. Приводится описание экспериментальной установки с лазерным плазмотроном и дается сравнение результатов измерений с расчетами.

ГОРДИЕНКО¹ Ю.Н., БАТЫРБЕКОВ¹ Э.Г., СКАКОВ¹ М.К.,
ПОНКРАТОВ¹ Ю. В., ХАСЕНОВ² М. У., ЗАУРБЕКОВА¹ Ж.А.,
ТУЛУБАЕВ¹ Е. Ю., БАРСУКОВ¹ Н.И., КУЛЬСАРТОВ¹ Т. В.

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», ул.

Красноармейская 2, 071100, Курчатов, Казахстан,

² ЧУ "National Laboratory Astana", просп. Кабанбай Батыра 53, 010000, Астана,
Казахстан.

Экспериментальный стенд для проведения реакторных экспериментов по исследованию спектрально-люминесцентных характеристик ядерно-возбуждаемой плазмы

Исследование оптического (лазерного и спонтанного) излучения ядерно-возбуждаемой плазмы представляет интерес для разработки способа вывода энергии из ядерного реактора, а также для контроля и регулирования параметров ядерных реакторов.

Спектральные исследования люминесценции газовых сред возбуждаемых продуктами ядерных реакций дают информацию о спектроскопических характеристиках переходов, позволяют выяснить кинетику заселения и «тушения» возбужденных состояний и оценить возможность получения лазерной генерации на отдельных переходах.

В ИАЭ НЯЦ РК на реакторах ИВГ1.М (Курчатов, Казахстан) в настоящее время проводятся работы по исследованию спектрально-люминесцентных характеристик газовых сред, возбуждаемых продуктами ядерных реакций, с целью отбора газовых смесей с высоким коэффициентом преобразования ядерной энергии в оптическое излучение. В качестве одной из реакций определяющей возбуждение газовой смеси, была выбрана практически не использовавшаяся ранее реакция $6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$.

В представляемой работе приведено описание экспериментального стенда с облучательным ампульным устройством и схемы реакторных экспериментов по исследованию спектрально-люминесцентных характеристик ядерно-возбуждаемой плазмы, проводимых на реакторе ИВГ.1М.

Работа выполнена в рамках договора № 271 с Министерством образования и науки Республики Казахстан.

ДВОЕГЛАЗОВ Я.М., РАЕВСКИЙ И.Ф., САРАНЦЕВ С.А.,
САВЁЛОВ А.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Влияние формы катода на динамику плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры

В работе приводятся результаты исследования влияния формы катода на динамику плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры (СНВИ). Исследования проводились на установке «ПИОН» с помощью метода Теплера. В качестве осветителя использовался лазер на молекулярном азоте ЛГИ-21 с длиной волны излучения 337 нм. Было установлено, что с ростом числа разрядов происходит изменение характера протекания СНВИ. В неотработанной системе электродов (до 200 разрядов) при протекании СНВИ наблюдается сильная зависимость положения перетяжки от положения триггера, наблюдаются сильные градиенты плотности плазмы и вторичные перетяжки (перетяжки, возникающие после замыкания межэлектродного промежутка и не сопровождающиеся испусканием рентгеновского излучения). В отработанной системе электродов (более 300 разрядов) характер СНВИ изменяется: градиенты плотности плазмы становятся менее выражены, и пропадают вторичные перетяжки. В электродных системах с сильно развитой поверхностной структурой катода картина распределения градиентов плотности плазмы в межэлектродном промежутке слабо отличалась разряда к разряду, т.е. разряд протекает более стабильно.

ДОДУЛАД Э.И., КОСТЮШИН В.А., РАЕВСКИЙ И.Ф., САРАНЦЕВ С.А.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Влияние материалов электродов на спектр излучения разряда типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра

В работе приводятся результаты исследования влияния материала электродов на спектр рентгеновского излучения сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры (СНВИ). Исследования проводились на установке «ПИОН». Были получены спектры рентгеновского излучения разряда для пяти различных конфигураций электродной системы установки: с катодом из железа (Ст.45), вольфрама, молибдена, меди и свинца. В качестве материала анода использовалось железо (Ст.45). Установлено, что наибольшая интенсивность излучения наблюдается для свинца. Для случая катода из железа, вольфрама и молибдена спектр излучения не зависит от материала катода. Для случая медного катода спектр излучения лежит в более низкой по сравнению с другими случаями энергетической области, а интенсивность излучения существенно ниже остальных случаев.

ДРАБИНСКИЙ М.А.¹, ХАБАНОВ Ф.О.², МЕЛЬНИКОВ А.В.³

¹Московский государственный технический институт имени Н.Э. Баумана

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

Модернизация системы диагностики плазмы пучком тяжёлых ионов на токамаке Т-10

Проведена модернизация системы диагностики плазмы пучком тяжёлых ионов на токамаке Т-10 (НИЦ «Курчатовский институт»). Модернизация производилась с целью повышения отношения сигнал/шум и расширения частотного диапазона исследуемых колебаний. Предполагается увеличение значений тока пучка до 300 мкА при энергии пучка до 300 кэВ и диаметре пучка 7-10 мм. Для этого был спроектирован новый эмиттерно-экстракторный блок, и была обновлена система его питания. Ввод в эксплуатацию модернизированного варианта данной диагностики запланирован на ноябрь 2016 года в рамках осенней экспериментальной кампании на Т-10.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда, проект 14-22-00193.

ЗЕНИН В.Н., СУББОТИН Г.Ф., КЛЮЧНИКОВ Л.А.

Национальный исследовательский центр "Курчатовский Институт", Москва

Эволюция потенциала плазмы и геодезических акустических мод в разрядах с напуском примесей в токамаке Т-10

Тороидальные магнитные ловушки типа "токамак" играют ведущую роль в современной термоядерной программе. Физические механизмы турбулентного транспорта энергии в токамаке всё ещё являются открытым вопросом. Зональные потоки рассматриваются как механизм саморегуляции турбулентности, влияющий на потери энергии. В то же время среднее значение потенциала связано с удержанием плазмы. В настоящем исследовании на токамаке Т-10 ($R = 1.5$ м, $a = 0.3$ м, $B \sim 2.4$ Т) рассматриваются геодезические акустические моды (ГАМ), высокочастотная ветвь зональных потоков, которые трансформируют радиальные потери энергии в крутильные колебания плазмы, препятствуя потерям энергии. ГАМ, в основном, проявляют себя как колебания электростатического потенциала и плотности. Кроме того, параллельно изучается эволюция среднего уровня потенциала.

Потенциал и его колебания изучались при помощи диагностики зондирования плазмы пучком тяжёлых ионов (Ti^+ , 300 keV), уникального метода прямого измерения электрического потенциала в горячей зоне плазмы. Показано, что в режимах с напуском примесей (N, Ne, Ne) меняется среднее значение потенциала. Его уровень изменяется на несколько десятков вольт, затем восстанавливается. Также напуск примесей влияет на ГАМ. После напуска амплитуда ГАМ резко падает до уровня шума в течение нескольких миллисекунд, частота падает на 10-20 кГц. Позже амплитуда и частота ГАМ восстанавливаются в течение нескольких десятков миллисекунд.

ЗИМИН А.М.¹, НОТКИН Г.Е.², ТРОЙНОВ В.И.¹, НУРГАЛИЕВ М.Р.²

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

Молекулярная диагностика пристеночной плазмы токамака T-10 с удаленным доступом

С помощью созданной на токамаке T-10 системы молекулярной диагностики впервые в РФ проведены систематические исследования излучения молекул изотопов водорода пристеночной плазмы. Приведены описание используемого оборудования и оптических схем регистрации излучения из диагностических сечений *A* и *D* токамака, а также характерные молекулярные спектры. Применительно к подсистеме регистрации из лимитерного сечения *A* реализовано сетевое управление спектральной аппаратурой средствами технологий Internet/Intranet. Изложены методика и схема удаленного управления, описаны разработанные программные средства. Приведены примеры web-интерфейсов для формирования сценариев управления оборудованием и визуализации результатов.

ИЗГОРОДИН В.М., СОЛОМАТИНА Е.Ю., ПЕПЕЛЯЕВ А.П.,
ОСЕТРОВ Е.И., РОГОЖИНА М.А.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г.Саров

Форма свободной поверхности изотопов водорода в сферической оболочке

В целях получения начальных условий для решения трехмерной задачи формирования криогенного слоя D – T топлива в сферическом контейнере были рассчитаны формы свободной поверхности жидкости при различном заполнении контейнера. Расчет производился с помощью решения уравнения гидростатического равновесия для осесимметричных задач методом конечных разностей. Уравнение в безразмерной форме записи имеет вид: $\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r \sin \theta) = \pm z + C_0$, где $C_0 = 2/R_0$ (R_0 – радиус кривизны в точке $z = 0$).

Были проведены эксперименты по перегонке газообразного дейтерия в сферическую полистирольную оболочку через капилляр с последующим замораживанием. Наблюдается хорошая корреляция между теоретическими и экспериментальными равновесными формами поверхности жидкости в сферическом контейнере. Контуры сечения поверхностей раздела жидкость-газ для трех случаев заполнения оболочки представлены на рисунке 1:

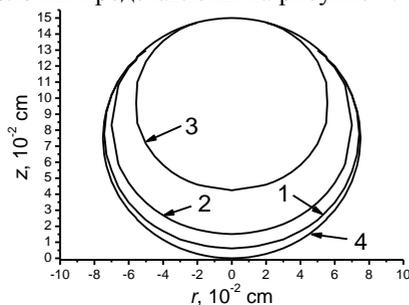


Рисунок 1. Контуры сечения поверхностей раздела жидкость-газ для трёх случаев заполнения оболочки (1 – $V_L/V_C = 0,058$; 2 – $V_L/V_C = 0,2$ и 3 – $V_L/V_C = 0,6$) и 4 – внутренней поверхности оболочки №1. V_L и V_C – объём сконденсированного газа и оболочки соответственно.

КИРАМОВ Д.И.^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Численное моделирование срывов разряда в ИТЭР

Описываются результаты моделирования неуправляемых сценариев эволюции плазмы («горячих» VDE и MD) токамака ИТЭР, в процессе которых развиваются огромные электромагнитные и тепловые нагрузки. Расчёты выполнены с помощью кода ДИНА с учётом образования гало тока в периферийной области плазмы токамака в процессе срыва. Основное внимание было уделено изучению баланса тепла и магнитной энергии во время срыва тока. Предложен способ учёта влияния 2D эффектов, а именно параллельного потока тепла в области гало. Дано описание модели баланса тепла в области гало. Был проведён параметрический анализ устойчивости плазмы при изменении её положения перед срывом тепла. При моделировании в качестве примеси в плазме выступал аргон, неон или бериллий, описывая тем самым как срывы с газонапуском, так и неконтролируемые без подавления.

Свойства капиллярного разряда при взаимодействии с металлическими фольгами

Формирование капиллярного разряда в атмосфере сопровождается появлением узкой протяженной светящейся плазменной струи - факела. При воздействии факела на различные неорганические и органические вещества было обнаружено появление плазменных областей, отделяющихся от области разряда и существующих до 0,5 с. Для получения капиллярного разряда в данной работе использовался разрядник с диэлектриком из оргстекла и блок питания, содержащий конденсаторную батарею (зарядное напряжение 200-250 В, энергия батареи 100-250 Дж). Параметры разряда составляли: ток разряда 100-150 А, длительность импульса 6 мс. В экспериментах изучалось взаимодействие разряда с металлическими фольгами из алюминия, меди, латуни и тантала. При взаимодействии факела разряда происходило образование плазменных областей (ПО), которые продолжали независимое движение. Размеры ПО составляли 0,1-1 мм, время жизни 10-500 мс. Для изучения свойств ПО были проведены эксперименты по их взаимодействию с преградами из неорганических и органических материалов. При этом обычно регистрировалось упругое отражение ПО от препятствия. В области возникновения и движения ПО создавалось постоянное магнитное поле величиной 50-700 Гс. Было проведено изучение спектрального состава излучения разряда в области взаимодействия разряда с фольгами. Для случая танталовой фольги по линиям атомарного водорода серии Бальмера H_α и H_β были рассчитаны значения температуры, которые находятся в диапазоне $T=1600-2500$ К. С помощью штарковского уширения данных водородных линий (H_α и H_β) была оценена концентрация плазмы в районе взаимодействия, которая составила $n_e=(1,4\pm 0,2)\cdot 10^{16}$ см⁻³. Взаимодействие плазменной области с преградами и движение в магнитном поле свидетельствуют о наличии хорошо сформированной внутренней вихревой структуры объекта.

КИРКО Д.Л., САВЕЛОВ А.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Формирование электрического разряда в электролите в присутствии магнитного поля

Возникновению разрядов в электролитах свойственно образование интенсивно излучающей плазменной области и сильных турбулентных потоков жидкости. Для опытов использовались камеры цилиндрической и конической форм, изготовленные из оргстекла объемом 150-250 см³. Электролиты готовились с применением соединений: карбонат натрия, гидрокарбонат натрия и гидроксид калия. Питание разряда осуществлялось с помощью двухполупериодного выпрямителя с напряжением 0-250 В, и частотой 100 Гц. Для катода применялись вольфрамовые или титановые стержни, а для анода - пластины из нержавеющей стали. Область разряда и электролит помещались в постоянное магнитное поле величиной 100-800 Гс. Фиксировалось вращательное движение прикатодной области разряда с частотами 1-10 Гц и появление пятнистой структуры разряда. Было исследовано влияние концентрации электролита (карбоната натрия) на вид вольтамперной характеристики разряда. В диапазоне концентраций электролита $M=0,5-0,7$ наблюдался наиболее оптимальный вид зависимости для данного типа разряда. Для разряда в электролите на гидрокарбонате натрия был получен спектр наиболее интенсивных колебаний в диапазоне 20 кГц - 80 МГц. По линиям атомарного водорода серии Бальмера H_{α} и H_{β} методом относительных интенсивностей была рассчитана температура плазмы в прикатодной области плазмы, которая составила $T=2500\pm 200$ К в рабочем режиме разряда при величине тока $I\approx 1,1$ А. С помощью штарковского уширения данных линий (H_{α} , H_{β}) была получена концентрация плазмы $n_e=(2,8\pm 0,2)\cdot 10^{15}$ см⁻³ для значения тока $I\approx 1,1$ А. В ходе проведенных исследований присутствие магнитного поля в области разряда в электролите свидетельствует о стабилизации режимов горения разряда.

КИРНЕВА Н.А.^{1,2} и коллектив Т-10

¹ФГБУ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Установка Токамак Т-10: современные исследования и перспективы

Установка Токамак Т-10 – одна из старейших исследовательских термоядерных установок, действующих в мировых лабораториях на сегодняшний день. Исследования, проводимые на Т-10 с момента пуска установки в 1975 году, внесли большой вклад в исследования физики плазмы токамака, особенно в изучение электронного нагрева плазмы и создание неиндукционного тока в плазме с помощью электронно-циклотронных волн. В настоящее время исследования, проводимые на установке Токамак Т-10, связаны с решением задач, приоритетных с точки зрения подготовки будущих режимов токамака ИТЭР, а так же актуальных для возможного развития национальной термоядерной программы, ориентированной на создание термоядерного источника нейтронов (ТИН):

- изучение физики процессов переноса в плазме токамака, включая анализ возможных механизмов аномального переноса в плазме;
- изучение устойчивости плазмы и управление устойчивостью плазмы в различных режимах;
- изучение механизма взаимодействия СВЧ-волн с плазмой;
- создание и поддержание неиндукционного тока в плазме;
- взаимодействие плазмы с первой стенкой и влияние материала первой стенки на характеристики плазменного разряда;
- развитие диагностических методик.

В докладе будут представлены основные результаты работы Т-10 по этим направлениям и рассмотрен их вклад в решение задач, необходимых для подготовки работы токамака ИТЭР, а так же возможные перспективы этих исследований для российских установок следующего поколения, главным образом, модернизируемого токамака Т-15.

КОЗЛОВСКИЙ К.И., ВОВЧЕНКО Е.Д., ШИКАНОВ А.Е.,
ШАТОХИН В.Л., ИСАЕВ А.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Магнито-разрядный ускорительный диод для газонаполненных ИГН на основе инерциального удержания ионов

В работе рассматривается новая, усовершенствованная конструкция магнито-разрядного диодного модуля с инерциальным электростатическим удержанием ионов для газонаполненных импульсных генераторов нейтронов (ИГН). Основу конструкции составляет геометрия с полым центральным катодом, охватываемым внешним цилиндрическим анодом, причем электроды выполнены из постоянных магнитов. Величина индукции 0,1–0,4 Тл в центральной области разрядного объема обеспечивает удержания электронов в полем катоде (виртуальный катод) и компенсацию объемного заряда ускоренных ионов в центре.

Приводятся результаты исследования режимов возбуждения импульсного высоковольтного разряда. Устойчивый объемный разряд с сохранением формы и амплитуда импульса тока наблюдался в диапазоне давлений 10^{-3} – 10^{-1} Торр при предельном ускоряющем напряжении равном 200 кВ.

МАРТЬЯНОВ А.К.¹, СЕДОВ В.С.^{1,2}, РАЛЬЧЕНКО В.Г.^{1,2}, ХОМИЧ А.А.^{1,3},
КОНОВ В.И.^{1,2}

¹*Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва*

²*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

³*Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Фрязино
Московской обл.*

Плазмохимический синтез алмаза в СВЧ плазме в смесях метан/водород/силан

Представлены новые результаты измерений фотолюминесценции и комбинационного рассеяния в диапазоне температур 5 - 294К центров окраски в виде комплексов «кремний-вакансия» (SiV), в легированных кремнием из моносилана (SiH₄) микрокристаллических алмазных плёнках, которые были выращены методом осаждения из газовой фазы (CVD) на подложках нитрида алюминия, кремния и вольфрама.

Работа поддержана РФФИ (гранты N 15-52-04073 Бел_мол и 14-02-31772_мол_а), БРФФИ (грант Ф15PM-046) и грантом Президента РФ № СП-2575.2015.5.

ОБРЕЗКОВ О.И.¹, ГУСЕВА И.А.², АНДРЕЕВ Е.С.³, ЗВЕРЕВ А.А.³,
СТАРОСТИН А.Л.⁴

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г.Москва,

²ООО «ИННОВАТЕХПРОМ», Москва,

³ООО «НПП Булат», г. Королев, Московская обл.,

⁴ООО «Кардиоэлектроника», г. Климовск, Московская обл.

Исследование электрохимических свойств тонкопленочных материалов, полученных с применением плазменных технологий, для производства электродов электрокардиостимуляторов

Проведены исследования тонкопленочных материалов (ТПМ), тестируемых для использования в качестве покрытий полусных наконечников электродов кардиостимуляторов, имплантируемых в сердце. Покрытия ТПМ производились в вакууме из плазмы дугового и магнетронного разрядов, в импульсном разряде установки «Плазменный фокус» и испарением материалов электронным лучом. Оценка свойств ТПМ проводилась в физиологических растворах-имитаторах крови на основании разработанной методики, моделирующей передачу электрического заряда в сердце, с определением электрохимических свойств покрытий. В результате исследований разработан многослойный ТПМ с высокоразвитой поверхностью контакта с тканью. ТМП формировался на первом этапе напылением аргоновой плазмы титанового порошка на титановый полусный наконечник электрода, затем на развитую поверхность в вакууме наносился слой нитрида титана методом ARC PVD с последующей обработкой покрытия пучком ионов Ti^+ . Покрытие данным ТПМ на электродах электрокардиостимуляторов прошло необходимые клинические испытания и внедрено в медицинскую практику. Оно обеспечивает низкие по напряжению пороги стимуляции миокарда в течении необходимого времени эксплуатации.

СИДОРОВ П.П., БАШУТИН О.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Разрядная система с током до 500 кА для камер плазменного фокуса

Разработана сильноточная низкоиндуктивная разрядная система для возбуждения камер плазменного фокуса. Установка состоит из четырех параллельно работающих модулей, каждый из которых состоит из низкоиндуктивного конденсатора ИК-50 и воздушного трехэлектродного разрядника с искажением поля. Разрядный контур установки с индуктивностью 32 нГн и омическим сопротивлением 10 мОм обеспечивает передачу тока в камеру плазменного фокуса с амплитудой до 500 кА и периодом 4,3 мкс.

СМОЛАНОВ Н.А.

Мордовский государственный университет имени Н.П.Огарева, г. Саранск

Фрактальность пылевых структур из плазмы вакуумного дугового разряда и токовые слои

Исследованы микрочастицы и пленки, осажденные из плазменного потока дугового разряда на стенках вакуумной камеры. Методом малоуглового рентгеновского рассеяния установлен фрактальный характер частиц (кластеров), линейные размеры которых составляют ~5-55 нм и имеют значение фрактальной размерности $D = 2,62$.

Сделан вывод об аналогичности процессов, начинающихся с появления в катодном пятне мелкодисперсной капельной фракции, и капельно – паровой эрозии на стенках токамаков. Образование фракталоподобных агрегатов обусловлено неустойчивостью фронта роста, и является следствием как особых свойств токовых слоев с перемежаемостью, так и турбулентности плазменного потока. Токовые слои создают потоки ионов из перемещающегося катодного пятна дугового разряда в магнитном поле.

ТОЛСТОПЯТОВ Е.М.

*Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого
Национальной академии наук Беларуси, Гомель*

Влияние разрядной плазмы на лазерную абляцию политетрафторэтилена

Получены количественные данные об изменении выхода волокнистой фракции (ВФ) при абляции политетрафторэтилена непрерывным излучением CO₂ лазера в условиях тлеющего разряда в среде газообразных продуктов разложения. Установлено, что выход волокнистой фракции сложным образом зависит от геометрии электродной системы, её положения по отношению к зоне облучения и тока разряда, и изменяется в пределах 0...25–30 %. Интенсивность выделения газообразных продуктов разложения при этом сохраняется неизменной. Изменения состояния поверхностного слоя кратера абляции коррелируют с изменением тока разряда.

Проанализированы возможные причины наблюдаемого явления. В качестве основы наиболее вероятного механизма определено модифицирование молекулярной структуры расплава полимера в результате реактивной диффузии химически активных компонентов плазменной среды, изменяющее его реологические свойства. Полученные данные сопоставлены с результатами лазерной абляции политетрафторэтилена, предварительно обработанного гамма-излучением в различных дозах (до 0,5 МГр).

Эффект образования волокон политетрафторэтилена с высоким выходом при лазерной абляции используется в технологии уникальных волокнисто-пористых материалов для фильтровальной техники.

ШАВЕЛКИНА М.Б., АМИРОВ Р.Х., КАТАРЖИС В.А., КИСЕЛЕВ В.И.
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, РФ

Применение электродуговых плазмотронов постоянного тока для синтеза углеродных наноструктур

Проведены исследования по высокопроизводительному синтезу углеродных наноматериалов при пиролизе сажи в присутствии катализаторов, углеводородов (газообразных и жидких) в плазмоструйном реакторе на основе плазмотрона постоянного тока с расширяющимся каналом-анодом с мощностью до 40 кВт. Показано, что изменяя мощность, давление, расход плазмообразующего газа (аргон, гелий, азот) и углеродсодержащих компонентов, концентрацию добавляемых в плазму катализаторов (Ni, Co, Y₂O₃ и карбонильное железо) можно варьировать морфологию получаемых углеродных наноструктур. На основе исследования продуктов синтеза методами сканирующей электронной микроскопии, термического анализа, рентгеновской дифракции и спектроскопии комбинационного рассеяния света определены оптимальные условия для синтеза каждого типа материалов: углеродных нанотрубок, углеродных нановолокон и графеновых слоев. Полученные результаты позволяют масштабировать процессы синтеза.

ШАПОВАЛОВ Г.В.¹, ЧЕКТЫБАЕВ Б.Ж.¹ РАЙХАНОВ М.Б.².

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан.

² Государственный Университет имени Шакарима города Семей

Отработка методики модификации многохордового рентгеновского детектора для измерения температуры электронов плазмы на физическом пуске токамака КТМ

Для понимания и изучения процессов, протекающих в высокотемпературной плазме, были разработаны и внедрены различные методы измерения параметров плазмы. В частности, диагностическая система регистрации мягкого рентгеновского излучения из плазменного шнура является важной частью любого диагностического комплекса токамака. Так как испускаемое рентгеновское излучение связано с температурой электронов, а также плотностью и примесями плазмы, оно позволяет проводить исследования этих параметров. На токамаке КТМ для обеспечения измерения температуры плазмы по мягкому рентгеновскому излучению используется многохордовый рентгеновский детектор (рабочая смесь газов Kr+10%CH₄). В штатном режиме токамака КТМ при максимальном токе плазмы $I_p=750$ кА и с использованием ВЧ-нагрева плазмы ожидается температура электронов $T_e \geq 1$ кэВ, что попадает в регистрируемый спектральный диапазон чувствительности 1-25 кэВ многохордового рентгеновского детектора. Однако, при получении плазменного шнура на физическом пуске токамака КТМ предполагаются пониженные параметры плазменного шнура (ток плазмы ~ 100 кА), а также не будет использоваться ВЧ-нагрев, что приведет к уменьшению температуры электронов плазмы. В результате чего появляется необходимость повышения спектральной чувствительности многохордового рентгеновского детектора для измерения температуры электронов ($T_e \leq 1$ кэВ) на пониженных параметрах плазменного шнура на физическом пуске токамака КТМ.

Согласно проведенным расчетам спектральной чувствительности для разных смесей газов (Ar, Kr, Xe и Ne с 10% добавкой гасящего газа – метана CH₄) существует возможность увеличить чувствительность детектора на меньших энергиях рентгеновского излучения плазмы, путем замены рабочей смеси.

В данной работе рассмотрена возможность применения рентгеновской трубки РТ с молибденовым анодом для отработки

методики модификации рентгеновского детектора, предназначенного для измерения температуры электронов плазменного шнура токамака КТМ. Приведен первый этап отработки методики увеличения чувствительности рентгеновского детектора, включающий предварительные расчеты спектральной чувствительности предполагаемых смесей газов (Ar, Kr, Xe и Ne с 10% добавкой гасящего газа – метана CH₄) и экспериментальные результаты для смеси газа Kr 90%+метан10% по предложенной методике.

Секция

ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

Руководители – *Евтихийев Н.Н.*, заведующий кафедрой лазерной физики

Проценко Е.Д., профессор кафедры лазерной физики

Секретарь - *Губский К.Л.*, ст.преп. кафедры лазерной физики

Тел. (495)788-56-99, доб. 8376

Факс (499)324-97-55

Е-mail: kgubskiy@mail.ru

АНДРЕЕВ А.О.¹, МИРОНОВ В.Д.¹, ПЕТРОВСКИЙ В.Н.¹, ОРЛОВ А.В.¹,
ЛИБМАН М.А.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ФГУП «ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина», Москва

Исследование влияния циклического лазерного нагрева на формирование дисперсных структур в аустенитно-мартенситных сплавах системы железо-хром-никель

Исследовано влияние циклического лазерного нагрева на формирование структуры аустенита в аустенитно-мартенситных сплавах системы железо-хром-никель. Показано, что при воздействии сверхбыстрого лазерного нагрева на образующийся в процессе пластической деформации мартенсит, происходит обратное мартенситное превращение с образованием аустенита с повышенными прочностными характеристиками. При повторном и многократном лазерном нагреве происходит эффективное дробление областей аустенита вплоть до размеров близких к массивным наночастицам. В результате такого дробления происходит дополнительный рост прочностных характеристик аустенита.

БАСОВА Л.А., БРОДСКИЙ И.А., ГАЛАХОВ И.В., ГАНИН Л.С.,
КОЖЕНКОВ Е.В., КРЕКОВ А.В., ЛОГУТЕНКО С.Л., ОСИН В.А.,
СЕНИК Д.А., ЧИСТОПОЛЬСКИЙ М.В.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Разработка и испытание подсистем заряда, управления и диагностики модуля конденсаторной батареи лазерной установки

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведется разработка неодимовой лазерной установки мегаджоульного класса, предназначенной для проведения экспериментальных исследований по взаимодействию мощного излучения с веществом и в области лазерного термоядерного синтеза.

Одной из основных систем установки является система накопления и коммутации электрической энергии (СНКЭЭ), которая обеспечивает электрической энергией источники накачки лазерных усилителей.

СНКЭЭ состоит из 432 унифицированных модулей конденсаторной батареи (МКБ), которые конструктивно выполнено из высоковольтного блока (ВБ) и стойки электропитания, управления и диагностики (стойка ЭУД). В стойке ЭУД располагается оборудование, выполняющее функции подсистемы заряда, синхронизации, управления и диагностики МКБ.

Согласно техническим требованиям был изготовлен опытный образец модуля СНКЭЭ и были проведены его испытания на резистивный эквивалент ламповой нагрузки и импульсные ксеноновые лампы. Испытания позволили сформулировать требования по модернизации стойки.

БЕЗОТОСНЫЙ В.В.^{1,2}, КОПЫЛОВ Ю.Л.³, КОРОМЫСЛОВ А.Л.^{1,2},
КРАВЧЕНКО В.Б.³, КРОХИН О.Н.^{1,2}, ЛОПУХИН К.В.³, ПОПОВ Ю.М.^{1,2},
ТУПИЦЫН И.М.², ЧЕШЕВ Е.А.^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

³ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл.

Характеристики излучения Nd:YAG лазера на основе оксидной керамики с пассивной модуляцией добротности

Исследованы характеристики излучения Nd:YAG лазера на основе оксидной керамики ФИРЭ РАН с пассивной модуляцией добротности при продольной диодной накачкой. Проведены сравнительные исследования характеристик излучения аналогичных активных элементов на основе керамики производства Konoshima Chemical co. Ltd и на основе кристаллической среды, а также методом измерения порогов в областях синхронизации поперечных мод резонатора при продольной диодной накачке проведены качественные исследования этих активных элементов.

БЕЛОВ И.А., БЕЛЬКОВ С.А., ВОРОНИН А.Ю., ВОРОНИЧ И.Н.,
ГАРАНИН Р.В., ГАРАНИН С.Г., ДЕРКАЧ В.Н., ДОБИКОВ А.В.,
МИСЬКО В.В., РОГАЧЁВ В.Г., СИЗМИН Д.В.,
СТАРОДУБЦЕВ П.В., ХАТУНКИН В.Ю.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Исследование на лазерной установке «Луч» критериев разрушения астероидоподобных тел из хондрита при воздействии на них мощного импульсного излучения

На установке Луч создан стенд для проведения испытаний по разрушению моделей астероидов под воздействием мощного импульсного лазерного излучения, имитирующего действие взрыва ядерного заряда на астероидоподобные космические объекты.

Проведена серия экспериментов по облучению астероидоподобных хондритовых мишеней с характерным размером включений 50-800 мкм. Плотность мишеней составляла $2,42 \text{ г/см}^3$, размер варьировался от 4,4 мм до 8 мм, масса от 0,1 г до 0,65 г.

Использовалось излучение на длине волны 527 нм, длительность импульса составляла 2 нс. Размер пятна облучения составил от 100 мкм до 200 мкм по данным обскурোগраммы. Энергия лазерного импульса варьировалась от 80 Дж до 450 Дж.

Процесс разрушения фиксировался теньевым способом в режиме девятикадровой съёмки, и оптогетеродинным способом с регистрацией отраженного излучения от движущихся частиц на осциллограф.

Выделены три диапазона по удельной плотности энергии излучения:

- менее 400 Дж/г с частичным разрушением мишени и образованием нескольких крупных осколков;
- около 600 Дж/г с разрушением мишени на множественные осколки, имеющие массу не более десятой части массы исходной мишени;
- более 800 Дж/г с полным разрушением мишени, без образования существенных осколков.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными ранее в ходе проведения экспериментов по облучению аналогичных мишеней на установке Искра-5.

БЕЛОВ И.А., БЕЛЬКОВ С.А., ВОРОНИЧ И.Н., ГАРАНИН С.Г.,
ДЕРКАЧ В.Н., КОШЕЧКИН С.В., ЛЫСОВ М.И., МАРКОВ С.С.,
САВКИН С.В.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Исследование энергетических характеристик силового усилителя установки «Луч» с активными элементами из неодимового фосфатного стекла КНФС и отражателями из фольги MIRO Silver

На установке «Луч» проведена модернизация элементов усилителей. Выполнены измерения коэффициента усиления активной среды усилителя. Получено, что увеличение коэффициента усиления слабого сигнала K_0 усилителя в диапазоне напряжений накопителя (18-24) кВ составило от 12,9% до 14,3%, увеличение линейного коэффициента усиления g_0 - от 6% до 8%. Максимальное значение g_0 (для $U_{зар}=24$ кВ) составило $0,053 \text{ см}^{-1}$. Проведены полномасштабные эксперименты, получен рост коэффициента усиления силового усилителя, согласующийся с результатами измерений g_0 активной среды.

БОРОДКИН А.А., ХУДЯКОВ Д.В., ВАРТАПЕТОВ С.К.
Центр физического приборостроения ИОФ РАН, Москва

**Субнаносекундный и пикосекундный режимы генерации
полностью волоконного иттербиевого лазера с
нелинейным волоконным зеркалом на волокне с
поддержкой поляризации**

Показана возможность получения стабильной импульсной генерации полностью волоконного лазера с пассивной синхронизацией мод на нелинейном волоконном зеркале в двух режимах с длительностью 640 и 85 пс. Переход из одного режима в другой осуществляется за счет изменения мощности оптической накачки. Средняя мощность на выходе осциллятора составляет 25 и 3.5 мВт, соответственно, с центральной длиной волны 1.03 мкм и частотой следования импульсов 5 МГц. Лазер выполнен полностью на волокне с поддержкой поляризации и отличается температурной и поляризационной стабильностью излучения.

БОРЩЕВСКИЙ А. В.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Разработка на основе быстрых полупроводниковых детекторов методики измерения диаграммы направленности и спектра потоков быстрых ионов (протонов) в экспериментах по изучению взаимодействия сверхмощного лазерного излучения с веществом

Представлены результаты разработки методики для диагностики энергетического спектра и пространственного распределения ионов (протонов) эмитируемых из плотной высокотемпературной плазмы, получаемой при облучении вещества коротким (≤ 1 нс) лазерным излучением с высокой интенсивностью ($\geq 10^{15}$).

Прибор выполнен на основе быстрых полупроводниковых детекторов для регистрации ионов в области энергий от 0,5 до 5 МэВ. Представлены теоретические расчёты магнитных полей системы отклонения и поведения ионов в них. Так же представлена конструкция, спроектированная и изготовленная на основе результатов расчётов.

Методика предназначена для осуществления качественного и количественного анализа спектра протонов в экспериментах по исследованию физических процессов лазерной плазмы исследуемых образцов вещества.

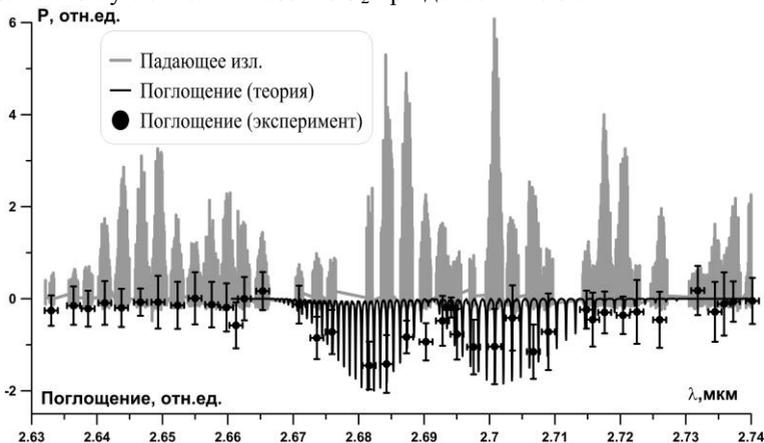
Основные технические характеристики:

1. Число каналов – 4 шт.
2. Спектральный диапазон (по протонам) – от 0,5 до 5 МэВ. Энергетическое разрешение $\Delta T/T$ при пролётной базе 2 метра и временном разрешении детектора 8 нс составляет от 8 до 24% соответственно.
3. Пороговая чувствительность (уровень сигнала 10 мВ) прибора составляет от 4×10^6 до 4×10^5 ионов/см²/МэВ на расстоянии 2 м от установки детектора для энергий от 0,5 до 5 МэВ соответственно.

БУДИЛОВА О.В., ИОНИН А.А., КИНЯЕВСКИЙ И.О.,
КЛИМАЧЕВ Ю.М., КОЗЛОВ А.Ю., КОТКОВ А.А.
Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Использование преобразованного в кристалле AgGaSe_2 излучения CO -лазера для измерения поглощения в газах

В работе проведен расчёт углов фазового синхронизма и спектральной ширины преобразования, который продемонстрировал возможность осуществления широкополосного двухкаскадного преобразования частоты излучения CO -лазера в кристалле AgGaSe_2 . В наших экспериментах для генерации суммарных частот (СЧ) был использован кристалл длиной 12 мм, оптическая накачка которого осуществлялась многочастотным CO -лазером низкого давления с разрядом постоянного тока, действовавшим в режиме модуляции добротности лазерного резонатора. Проведены тестовые эксперименты по измерению поглощения излучения СЧ в таких газах, как N_2O и CO_2 . На рисунке представлен спектр падающего на газовую ячейку излучения СЧ (серый), а также поглощение излучения, рассчитанное (сплошная линия) и измеренное (экспериментальные точки), в газовой ячейке длиной 10 см, заполненной углекислым газом CO_2 при давлении 0.3 атм.



Спектрального разрешения спектрометра $\sim 0,1 \text{ см}^{-1}$ было не достаточно для обнаружения узкие линии поглощения исследуемых нами газов. Тем не менее, данные измерений хорошо согласуются с результатами расчёта.

Работа поддержана РФФИ (13-05-98074, 15-02-08037) и УНК ФИАН.

БУХАРИН М.А.^{1,2}, СКРЯБИН Н.Н.^{1,2}, ХУДЯКОВ Д.В.^{2,3},
ВАРТАПЕТОВ С.К.^{2,3}

¹Московский физико-технический институт «МФТИ»

²ООО «Оптосистемы», Москва

³Центр физического приборостроения ИОФ РАН, Москва

Запись трехмерных оптических интегральных схем при помощи ультракоротких лазерных импульсов в присутствии сильных сферических аберраций

Предложен метод трехмерной фемтосекундной (360 фс, 1040 нм) записи оптических волноводов и интегральных схем на их основе в присутствии сильных сферических аберраций, вызванных записью трехмерных структур на существенно различающихся глубинах внутри лазерных стекол и кристаллов. Сильное негативное влияние сферических аберраций уменьшается благодаря переходу от записи сердцевин световода к записи его оболочки с пониженным показателем преломления. Асимметрия создаваемых структур уменьшается благодаря переходу к тепловому кумулятивному режиму воздействия на материал, а различия во влиянии сферических аберраций на различных глубинах (более 200 мкм) при записи оболочки скомпенсированы благодаря динамическому изменению параметров лазерных импульсов в ходе процесса записи волноводов. Представленный подход был экспериментально реализован в кварцевом стекле. Представлены экспериментальные зависимости основных параметров световедущих структур как в нетепловом, так и тепловом режимах воздействия на материал. Теоретически рассчитана и экспериментально произведена динамическая коррекция параметров лазерного излучения для записи световодов на существенно различающихся глубинах (± 100 мкм) с низкими потерями (до 0.3 дБ/см) и малой анизотропией потерь (<0.1 дБ/см). Полученные результаты могут быть применены при фемтосекундной записи широкого класса трехмерных оптических интегральных систем, в частности, для задач квантовых вычислений и биологических применений (lab-on-chip устройства).

БЫКОВСКИЙ Д.П.¹, ПЕТРОВСКИЙ В.Н.¹, МИРОНОВ В.Д.¹,
ЛУКАНИН В.Л.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ГНЦ РФ ОАО НПО «Центральный научно-исследовательский институт
технологии машиностроения», Москва

Сравнительный анализ покрытий, полученных методом коаксиальной и шликерной лазерной наплавки

В работе проведены исследования покрытий, полученных двумя различными способами: коаксиальной и шликерной лазерной наплавкой. В первом случае металлический порошок подавался через сопло соосно с лучом лазера, плавился под его воздействием. После остывания на поверхности образовывалось покрытие с заданными свойствами. В случае шликерной наплавки на поверхность подложки наносился слой порошка и связующего, затем он плавился лазерным излучением и на поверхности образовывалось покрытие. Проводился анализ микроструктуры наплавленных покрытий, измерялась микротвердость и определялся химсостав.

БЫКОВСКИЙ Д.П., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., МИРОНОВ В.Д.,
ОСИНЦЕВ А.В., ОЧКОВ К.Ю.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Механические свойства изделий, полученных методом объемной наплавки порошка из нержавеющей стали с использованием излучения непрерывного волоконного лазера

Для объемной лазерной наплавки (прямое лазерное нанесение материала — аддитивный метод лазерной обработки, позволяющий послойно изготавливать металлические детали по заданной компьютерной модели в одном технологическом цикле) использовался порошок из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Предложены различные стратегии послойного формирования изделий из данного порошка. Исследована микроструктура полученных объектов. Исследованы процессы диффузии компонентов основы в металл лазерной наплавки. Проведены механические испытания полученных образцов.

БЫКОВСКИЙ Д.П., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., ПОЛЬСКИЙ В.С.,
ДЖУМАЕВ П.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Разработка технологии восстановления лопаток авиационного двигателя из никелевых жаропрочных сплавов методом лазерной наплавки

В работе проведена отработка режимов наплавки с порошком на основе никеля на плоские подложки, а также на компрессорные и турбинные лопатки. Изготовлены поперечные срезы и проведен визуальный осмотр формы и качества одного наплавленного валика, проведен металлографический анализ, а также оценка геометрических размеров наплавленных слоев и зон термического влияния. Определены микротвердости в сечении зоны наплавки, химсостав основного металла, металла наплавленного слоя и металла в зоне термического влияния.

ВОРОНИЧ И.Н., ГЛАДКИЙ В.Ю., ГЛУХОВ М.А., ДЕРКАЧ В.Н.,
ДЕРКАЧ И.Н., КУЗИН Р.С., ЧЕРНОВ И.Е.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Градиентный метод расчета формы адаптивного зеркала и его реализация в системе коррекции волнового фронта мощной лазерной установки «Луч»

Адаптивная система[1] коррекции волнового фронта является важной частью установки «Луч»[2], поскольку позволяет существенно снижать фазовые искажения лазерного излучения и, как следствие, работа по её оптимизации и изучению предельных характеристик является актуальной. В работе описан новый метод расчета формы адаптивного зеркала, основанный на минимизации среднеквадратичного отклонения градиента волнового фронта. Данный метод, реализованный на установке «Луч», позволяет осуществлять минимизацию энергетической расходимости лазерного излучения адаптивной системой, при этом время расчета снижается до величины 1-2мс. Приведена экспериментальная зависимость расходимости лазерного излучения по уровню содержания 80% энергии от среднеквадратичного отклонения градиента волнового фронта, что позволяет рассчитывать значение расходимости, основываясь на данных датчика Шака-Гартмана. Ошибка оценки составляет около 10%.

Список литературы

1. Воронич И.Н., Гаранин С.Г., Зарецкий А.И. и др. Уменьшение аббераций волнового фронта и расходимости лазерного излучения на установке "Луч" с помощью адаптивной системы. // Квантовая электроника, 2005, т.35, №2, с.140-142.
2. Безнасюк Н.Н., Галахов И.В., Гаранин С.Г. и др. Четырёхканальная лазерная установка ЛУЧ – модуль установки ИСКРА-6. // Доклад на международной конференции “IV Харитоновские тематические научные чтения”, Саров, Нижегородская обл., 18-21 февраля 2002. Сборник аннотаций, 2002, с.82

ДАНИЛОВ П.А.¹, ИОНИН А.А.¹, КУДРЯШОВ С.И.^{1,2}, МАКАРОВ С.В.²,
РУДЕНКО А.А.¹, САРАЕВА И. Н.¹, ЗАЯРНЫЙ Д.А.¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Немонотонная зависимость выхода наночастиц Ag от длительности импульса в результате лазерной абляции в воде

Генерация Ag наночастиц осуществлялась с помощью волоконного лазера Satsuma (Amplitudes Systemes) с длиной волны $\lambda = 1030$ нм, длительностью импульса $\tau = 0.3$ пс, частотой повторения $f = 500$ кГц и средней энергией ~ 10 мкДж. Лазерное излучение фокусировалось на поверхность оптически гладкой Ag мишени (Сбербанк России, чистота 99.99%) с помощью гальваносканера АТЕКО в пятно радиусом $\sigma_{1/e} \approx 15$ мкм (пиковая плотность энергии на поверхности составляла $F_0 \approx 2.1$ Дж/см²), после чего производилась обработка областей мишени 2x2 см под слоем деионизированной воды (толщина слоя ~ 2 мм) со скоростью 6 мм/с при значениях длительности импульса от 0.3 до 3.3 пс, настраиваемых с помощью встроенного компрессора импульсов. В результате абляции Ag мишени была получена немонотонная зависимость выхода наночастиц от длительности импульса. Увеличение длительности приводит к локальному уменьшению интенсивности поглощения коллоидных растворов с минимумом, соответствующим 1.8 пс, что может быть связано с образованием нанопузырей при кипении слоя воды на поверхности мишени [1], происходящим при переходе в пикосекундный временной диапазон, что может привести к расфокусировке лазерного излучения и снижению эффективности обработки поверхности.

Список литературы

1. A. M. Lindenberg et al., X-Ray Diffuse Scattering Measurements of Nucleation Dynamics at Femtosecond Resolution, Phys. Rev. Lett. 100, 135502 (2008).

ДОЛОТОВ А.С., КОНОВАЛОВ П.И., НУРТДИНОВ Р.И.
ФГУП «ВНИИА им.Н.Л.Духова», Москва

Сильноточный ФЭУ на микроканальной пластине для регистрации субнаносекундных световых импульсов

Представлены результаты разработки фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) на микроканальной пластине, обладающего субнаносекундным временным разрешением и высоким пределом линейности анодного тока. ФЭУ предназначен для регистрации слабых импульсных потоков излучения в УФ-, видимом и ближнем ИК-диапазоне (от 150 до 900 нм) и может быть использован как в фотометрии, так и в сцинтилляционных детекторах в счетном или спектрометрическом режимах. Приведены методики и результаты измерения основных параметров ФЭУ: спектральной чувствительности фотокатода, предела линейности световой характеристики, временного разрешения и коэффициента усиления.

ДУШИНА Л.А., КОРНИЕНКО Д.С., КРАВЧЕНКО А.Г.,
МИСЬКО В.В., СЕНИК А.В., К.В. СТАРОДУБЦЕВ, ТАРАКАНОВ В.М.,
ЧАУНИН А.Е.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Регистрация временного профиля фронта лазерного импульса

Проведена разработка методики измерения мощностного контраста лазерного импульса [1] на второй гармонике моделирующих установок до уровня $>10^5$. Методика выполнена на базе скоростного фотохронографа [2] и волоконно-оптических линий связи [3].

Методика позволяет обеспечить следующие параметры регистрации:

- динамический диапазон измерения мощностного контраста лазерного импульса на длине волны $\lambda=0.53$ мкм – 10^7 ;
- временное разрешение канала регистрации – 60 пс;
- количество измерительных точек, обслуживаемых одним фотохронографом – до 8.

Показан путь повышения мощностного контраста на $\lambda=0.53$ мкм до 10^8 за счёт применения электронно-оптического преобразователя с более подходящим типом фотокатода (мультищелочной) на этой длине волны.

Проведено тестирование макета фотохронографа на основе электронно-оптического преобразователя типа СПО23 с высоким линейным динамическим диапазоном. Динамический диапазон регистрации формы импульса лазерного излучения составил $\text{ДДР}_{\text{лин}}=1300$.

Литература

1. М.Ю. Кирдяшкин, В.М. Муругов, Г.П. Окутин, А.В. Сеник, Регистрация профиля фронта субнаносекундного лазерного импульса с большим динамическим диапазоном, Квантовая электроника, 19, 1032, № 10 (1992).
2. В.М. Муругов, Г.П. Окутин, С.И. Петров, В.И. Панкратов, Применение электронно-оптических преобразователей для регистрации излучения йодного лазера субнаносекундной длительности, Приборы и техника эксперимента №2, 155, (1993).
3. Е.Н. Воронцов, М.Ю. Кирдяшкин, А.Г. Кравченко и др., диагностика физического таухронизма лазерных пучков на многоканальной установке «Искра-5», Квантовая электроника, 21, с. 994, № 10, (1994).

ЕФРЕМОВ В.П., ФРОЛОВ А.И., ФОРТОВ В.Е.
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Ультрабыстрое разрушение оптических кварцевых световодов под действием лазерного излучения

Проведено изучение характера разрушения кварцевых световодов под воздействием лазерного излучения. Основное внимание было направлено на регистрацию разрушений при детонационно-подобном режиме распространения. В экспериментах мы использовали экспериментальные световоды изготовленные в ЦЕНИ РАН и промышленные световоды связи. Сохранённые световоды после прохождения «оптической детонации» исследовали с помощью растрового электронного микроскопа. Впервые получены фотографии с субмикронным пространственным разрешением трека разрушения сердцевин световодов. Измерены ширина зоны дробимости и зоны перекристаллизации и плавления сердцевин световодов. Динамические фотографии процесса разрушения сравнивались с фотографиями сохраненных образцов. С целью поиска образования более плотных фаз кварца сохраненные образцы подвергали рентгеноструктурному анализу. Получено, что разрушение сердцевин и оболочки кварцевых световодов имеет многоуровневый характер от микронного размера до наноразрушений.

ИЗГОРОДИН В.М., СОЛОМАТИНА Е.Ю., ПЕПЕЛЯЕВ А.П.,
РОГОЖИНА М.А., ОСЕТРОВ Е.И.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Наполнение полистирольной микросферы изотопами водорода с последующим замораживанием

Проведение экспериментов по лазерному термоядерному синтезу предполагает использование криогенной мишени, представляющей собой полую оболочку с гладким равнотолщинным слоем изотопов водорода, замороженным на ее внутренней поверхности. Начальным этапом разработки технологии получения криогенных мишеней является процедура наполнения полистирольной оболочки изотопами водорода методом перегонки через капилляр.

Для разработки технологии наполнения были проведены следующие работы:

- сборка стенда для исследования мишеней при низких температурах;
- разработка и монтаж системы одновременной откачки рабочего объема криостата и газовых магистралей, системы напуска гелия и изотопов водорода;
- разработка и сборка экспериментальных боксов, в которых располагается оболочка во время эксперимента;
- организация контроля температуры и визуального контроля экспериментальной сборки;
- проведение оценочных расчетов количества напускаемого газа, возникновения градиента температур на экспериментальной сборке.

Проведены эксперименты по ожижению протия, дейтерия и протий-дейтериевой смеси с последующим замораживанием на внутренней поверхности оболочки. Отработана техника проведения эксперимента.

ИОНИН А.А.¹, КАЛЬНИЦЫЙ Л.Ю.², КИНЯЕВСКИЙ И.О.¹,
КЛИМАЧЕВ Ю.М.¹, КОЗЛОВ А.Ю.¹, КОТКОВ А.А.¹,
МАТВИЕНКО Г.Г.^{3,4}, ЯКОВЛЕВ С.В.^{3,4}

¹Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

²Московский физико-технический институт «МФТИ»

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

⁴Национальный исследовательский Томский государственный университет

Поглощение в N₂O и CH₄ на длинах волн излучения обертоного импульсного СО-лазера с использованием топографической мишени и приемного телескопа

В работе проведено моделирование лидарного зондирования закиси азота и метана на линиях излучения электроионизационного обертоного СО-лазера. Излучение пропусклось через газовую кювету, содержащую исследуемые газы при различных парциальных давлениях с добавлением до атмосферного давления азота, рассеивалось на удалённой (до 46 м) топографической мишени и собиралось телескопом на фотодетектор. Для каждой линии лазерного излучения и каждого образца поглощающей смеси было сделано по несколько измерений энергии импульса СО-лазера до и после поглощающей кюветы, и формы сигнала рассеянного излучения. По результатам экспериментов были вычислены коэффициенты поглощения (КП) в газовой кювете тремя различными методами: по энергии прошедшего излучения, по амплитуде и интегралу сигнала рассеянного излучения, и проведено сравнение с расчетами КП с использованием базы данных HITRAN. Измеренные КП (по значениям энергии лазерного импульса после кюветы и интегралу формы сигнала рассеянного излучения) продемонстрировали хорошее согласие с рассчитанными значениями. Представленные в данной работе эксперименты по поглощению излучения обертоного СО-лазера проводились на уникальной импульсной СО-лазерной установке, которая довольно велика для мобильных лидаров. В настоящее время в лаборатории Газовых лазеров ФИАН разработан более компактный и, соответственно, более технологичный щелевой СО-лазер с высокочастотной накачкой, который способен генерировать излучение в полосе первого колебательного обертона молекулы СО, и может быть использован в дальнейшем для лидарных исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (13-05-98074) и УНК ФИАН.

Интерферометр для метрологического обеспечения измерений перемещений объектов в нанометровом диапазоне

Достижение предельных возможностей в нанометрии связано с использованием высокоразрешающих методов сканирующей зондовой микроскопии. С точки зрения метрологии стандартный СЗМ представляет собой компаратор и позволяет сравнить исследуемый объект с эталонным и получить ответ на вопрос, размер исследуемого объекта больше, меньше или равен размеру эталона. Метрологический СЗМ должен обеспечивать абсолютное измерение координаты точки на поверхности стандартного образца, т.е. «нести в себе единицу длины». Оснащение СЗМ интерферометрами позволяет передать эталон единицы длины непосредственно в прибор, без промежуточных этапов.

Для осуществления метрологического контроля измерений, проводимых зондовыми микроскопами, был разработан трехкоординатный гетеродинный интерферометр, встраиваемый в серийно выпускаемые СЗМ. Интерферометр состоит из двух модулей: оптического блока, смонтированного на массивной плите, и электронного блока управления и обработки сигналов, вынесенного за пределы области термостатирования микроскопа. Габариты оптического блока позволяют внедрять его в различные СЗМ не изменяя геометрии основной конструкции

Проведенный анализ источников погрешностей, оказывающих влияние на измерения интерферометра, показал, что основной вклад вносят изменение показателя преломления воздуха и расширение платформы интерферометра, обусловленные флуктуациями температуры и давления, а также сейсмические воздействия. Амплитуда сейсмических, тепловых и барических воздействий на измерительный микроскоп может быть доведена до уровня $\sim 0,1$ нм путем использования пассивных систем виброизоляции, термостатирования и звукоизоляции. Дальнейшее уменьшение уровня данного рода шумов и ошибок возможно только при условии перехода к работе в условиях пониженного атмосферного давления (например, форвакуума) в специально оборудованных помещениях с низким уровнем сейсмического и акустического шума.

КАМЕНЕВ В.Г.
ФГУП «ВНИИА им.Н.Л.Духова», Москва

Исследование параметров дисперсной фазы в газодинамических экспериментах с использованием техники PDV и параллаксной стереосъёмки

Приводятся результаты экспериментов по регистрации параметров быстропротекающих процессов, сопровождающихся движением дисперсной фазы. Используется два различных метода регистрации - параллаксная стереосъёмка и PDV. Первый метод позволяет получить информацию о пространственном распределении частиц дисперсной фазы и их размерах, а также построить векторное поле скоростей на заданном временном интервале. Второй метод позволяет зарегистрировать распределение частиц по скоростям на интервале до сотен микросекунд, с временным разрешением до десятков наносекунд. Исследование временной динамики распределения частиц по скоростям позволяет получить информацию о структуре облака частиц. Параллаксная стереосъёмка позволяет проверить корректность восстановления данных о структуре дисперсной фазы.

КАМЕНЕВ В.Г.², ДВОРНИЧЕНКО М.Е.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ФГУП «ВНИИА им.Н.Л.Духова», Москва

Регистрация сверхзвуковых микрочастиц методом параллаксной стереосъёмки

В докладе описывается применение техники параллаксной стереосъёмки к регистрации сверхзвуковых частиц дисперсной фазы в быстропротекающих газодинамических процессах. Изучается влияние точности калибровки стереоканалов на результат восстановления трёхмерного изображения. Исследуются особенности применения техники параллаксной стереосъёмки к проблеме регистрации сверхзвуковых микрообъектов, отрабатываются различные варианты постановки эксперимента, устанавливается влияние параметров экспериментальной установки на получаемое пространственное разрешение. Приводятся результаты стереоскопической съёмки и последующей обработки газодинамических экспериментов с восстановлением трёхмерного распределения микрочастиц и векторного поля их скоростей.

КИРЕЕВ С.В., ШНЫРЕВ С.Л., СОБОЛЕВСКИЙ И.В., АЛЕКСЮК М.В.,
КОНДРАШОВ А.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Лазерный on-line контроль изотопа ^{13}C , содержащегося в выдохе человека

В работе сообщается о разработке оптической измерительной системы, предназначенной для высокочувствительных концентрационных измерений содержания изотопа углерода ^{13}C в образцах выдыхов человека. В основе методики измерений лежит метод абсорбционной лазерной спектроскопии с использованием в качестве источника, частотно-перестраиваемого одномодового лазера, излучающего вблизи частоты 4870 см^{-1} . На основе проведенных исследований были определены оптимальные, с точки зрения точности детектирования, пары спектральных линий поглощения изотопологов $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ и $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$, лежащих в спектральном диапазоне $4866 - 4880\text{ см}^{-1}$, а также режимы генерации лазерного диода.

КОМАРОВ П.С., АШИТКОВ С.И., АГРАНАТ М.Б., СТРУЛЕВА Е.В.,
ОВЧИННИКОВ А.В.

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Фемтосекундные лазерные системы и их применение для исследования быстропротекающих процессов.

Исследование ударных волн в железе

Представлены фемтосекундные лазерные системы на основе активных элементов хром-форстерит и титан-спафир. Отмечены основные особенности реализации усиления фемтосекундных импульсов по методике усиления чирпированных импульсов. Рассмотрены основные направления исследований, проводимые на фемтосекундных лазерных системах в лаборатории лазерного воздействия ОИВТ РАН: фемтосекундная лазерная абляция металлов и полупроводников, исследования оптических свойств неидеальной лазерной плазмы, генерация терагерцового излучения, генерация рентгена субпикосекундной длительности и создания точечного источника рентгена, генерация и исследования динамики ударных волн в тонких пленках металлов. При воздействии фемтосекундного лазерного импульса в металлической мишени возникает ударная волна, имеющая малую длительность и давление порядка 10^{-2} ГПа. При выходе ударной волны на свободную поверхность возникают растягивающие напряжения, которые при превышении порогового значения приводят к отколу. Характерная толщина откольного слоя составляет 100-200 нм. Вследствие малой длительности ударной волны создаются рекордные скорости растяжения, 10^9 с⁻¹, которые недостижимы другими способами генерации ударных волн. Используя методику непрерывной диагностики, возможно определить скорость распространения ударной волны, массовую скорость и давление за фронтом, которые составляют для железа 6,45 км/с, 1,06 км/с и 27,5 ГПа соответственно. При скорости растяжения $1,3 \cdot 10^9$ с⁻¹ экспериментально определена откольная прочность алюминия, которая составляет 20,3 ГПа, что составляет около 70% идеальной откольной прочности железа.

КОШКИН Д.С., МИХАЙЛЮК А.В., ГУБСКИЙ К.Л., КУЗНЕЦОВ А.П.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Многоканальный лазерный измерительный комплекс для исследования вещества, подвергнутого интенсивному импульсному нагружению

Представлен измерительный комплекс для измерения массовой скорости в ударно-волновых экспериментах, основанный на использовании квадратурно-дифференциального сдвигового интерферометра. Данная схема позволяет измерять скорости движения поверхности широкого класса исследуемых объектов в ударно-волновых экспериментах в большом диапазоне скоростей (50-10000 м/с). Разработанная система позволяет одновременно проводить измерения по семи независимым каналам, т.е. получать информацию о скорости движения в нескольких точках образца. Создание нониусной системы, добавлением второго оптического блока с другой постоянной скорости, позволяет решить проблему неоднозначности определения скорости из-за пропусков интерференционных полос при регистрации. Временное разрешение измерительного комплекса 0,8 нс. Приведены описание оптической схемы и методики измерений.

КРАСЮК И.К.¹, РАЛЬЧЕНКО В.Г.¹, РОЗМЕЙ О.Н.³, СЕМЕНОВ А.Ю.¹,
СТУЧЕБРЮХОВ И.А.¹, ХИЩЕНКО К.В.²

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

² *Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

³ *GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Germany, Darmstadt*

Физические свойства синтетического алмаза и графита при растягивающих напряжениях, создаваемых действием лазерного излучения нано- и пикосекундной длительности

Представлены результаты экспериментального исследования явления откола и динамической механической прочности мишеней из поли- и монокристаллического алмаза и графита при воздействии лазерного импульса с длительностью 1,4 нс и 70 пс с длиной волны 0,527 мкм. В этих экспериментах мы использовали лазеры на неодимовом стекле "Камертон-Т" (ИОФ РАН, Москва, Россия) и PHELIX (GSI, Darmstadt, Germany). Максимальная интенсивность лазерного излучения в фокальной области была вплоть до 10^{14} Вт/см²; абляционное давление - до 0.7 ТПа. Явление откола использовано для получения данных о динамических механической прочности материалов. Была реализована скорость деформации до 10^8 1/с. В случае алмаза была достигнута величина откольной прочности 16,5 ГПа и 2,1 ГПа для графита. Проведено сравнение динамической прочности графита с динамической прочностью синтетических алмазов. Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света получены указания на то, что в области откола на задней стороне мишеней из алмаза некоторая часть исходного материала преобразуется в графитовую фазу. В области откола образцов из графита спектры комбинационного рассеяния демонстрируют более высокую степень кристалличности по сравнению с исходным материалом.

КУЗЬМИН И.В., ЗИМАЛИН Б.Г., МОЧКАЕВ С.В., САВКИН А.В.,
ТРИКАНОВА О.В.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров, Нижегородская обл.

Стенд аттестации элементов системы формирования пространственного профиля лазерного пучка мощной многоканальной неодимовой установки

Многоканальные системы формирования пространственного профиля пучка мощных неодимовых установок содержат большое количество современных, дорогостоящих оптических элементов, оперативная и качественная аттестация которых позволяет существенно сократить время ввода в эксплуатацию создаваемой лазерной установки и достичь требуемых параметров пучка.

Предложенная в ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ система, предназначенная для формирования пространственного профиля пучка на входе главного усилителя мощной неодимовой установки, содержит в каждом канале три основных подсистемы, последовательно осуществляющие преобразование исходного гауссова пучка в пучок с плоской вершиной пространственного профиля, формирование аподизированного пучка квадратной апертуры и формирование внутренней, регулируемой структуры пространственного профиля.

В данной работе описан специально разработанный лазерный стенд, предназначенный для оперативной аттестации оптических элементов каждой из перечисленных подсистем, позволяющий, помимо контроля качества оптических элементов, индивидуально подбирать оптимальные пространственные параметры лазерного пучка на входе каждого создаваемого канала системы формирования профиля пучка. Приведены результаты последовательной регистрации пространственного профиля пучка на выходе каждой из исследуемых подсистем.

МИХАЙЛЮК А.В., КУЗНЕЦОВ А.П., КОШКИН Д.С., ГУБСКИЙ К.Л.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Разработка лазерного интерферометра для исследования ударных волн, генерируемых мощными лазерными импульсами

В работе представлены результаты разработки диагностического комплекса, предназначенного для измерения скорости движения поверхности отражающих объектов, подверженных воздействию излучения мощного импульсного лазера. Комплекс позволяет проводить измерения в диапазоне измеряемых скоростей от 5 до 50 км/с. Исследуемая мишень освещается излучением зондирующего лазера на длине волны 660 нм, после чего рассеянный и отраженный свет собирается объективом и направляется в оптическую систему. Два интерферометра Маха-Цандера с различными эталонными линиями задержки регистрируют отраженное от мишени излучение и формируют нониусную измерительную схему. Также присутствует пассивный канал, регистрирующий свечение люминесценции на фронте ударной волны.

МУРЗАКОВ М.А.¹, ПЕТРОВСКИЙ В.Н.¹, МАРКУШОВ Ю.В.¹
¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Исследование микроструктуры и износостойкости покрытий, полученных при добавлении наночастиц тугоплавких соединений при лазерной наплавке

Данная работа направлена на исследование покрытий, полученных методом лазерной наплавки при использовании металлических порошков, модифицированных наночастицами тугоплавких соединений. Был проведен металлографический анализ полученных покрытий, величина износа покрытия с добавками наночастиц тугоплавких соединений уменьшается в 4-6 раз, в отличие от покрытий без добавок.

НИКИТИНА Е.А.¹, САВЧЕНКОВ А.В.¹, ГУБСКИЙ К.Л.¹,
КУЗНЕЦОВ А.П.¹, БУЖИНСКИЙ О.И.², ТУГАРИНОВ С.Н.²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

²*Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Троицк,
Москва*

Разработка методики удаления пленок сложного состава с поверхности металлических зеркал на ИТЭР

Предложен метод очистки поверхности металлических зеркал, использующихся для сбора излучения из плазмы в ИТЭР, от пленок сложного состава излучением волоконного лазера. Приведена экспериментальная установка, собранная в лаборатории, для отработки методики удаления пленок с поверхности металлических зеркал. Продемонстрирована возможность удаления с молибденовых подложек пленок из вольфрама, напыленных в условиях близких к ожидаемым условиям в ИТЭР. Показана эффективность удаления загрязнений при выборе оптимальных параметров излучения лазера.

ЯМР экспресс-анализатор качества моторного топлива

Разработано устройство для экспресс-контроля качества различных типов моторного топлива, в частности, для автомобильного транспорта.

Как известно, магнитный момент парамагнитного иона имеет порядок магнетона Бора и почти в 10^3 раз больше чем ядерный магнитный момент. При этом, даже незначительная концентрация парамагнитных ионов в растворах, содержащих подобные ионы, оказывает заметное влияние на величину времени спин-решеточной релаксации (T_1) ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Так, например, содержание 0,01 моля соли железа в растворе уменьшает величину T_1 по сравнению с чистой водой от 3,6 до 0,01 сек. Таким образом, влияние парамагнитных ионов в жидком образце может существенно уменьшить время спин-решеточной релаксации. На практике для увеличения октанового числа чаще всего используют ферроцен ($C_{10}H_{10}Fe$), растворяя его в топливе с более низким октановым числом.

Возможность оценки качества топлива на ядерном уровне обеспечивается применением эффекта ядерно-магнитной релаксации ЯМР, который обладает высокой точностью и воспроизводимостью получаемых данных и минимальной длительностью измерений. Для этой цели был создан специальный ЯМР-релаксометр. Управление прибором и обработка сигналов осуществляется с помощью встроеного процессора, при этом исключаются ручные регулировки.

В прибор, программным образом заносятся данные об амплитуде и времени спин-решеточной релаксации (T_1) топлив, которые соответствуют их стандартизованному качеству. Прибор автоматически измеряет указанные параметры реального топлива, сравнивает их с параметрами эталонного топлива, заложенного в программу и, если, они не соответствуют эталону, выдает предупреждающий сигнал. Отличие характеристик топлива от эталона фиксируется с погрешностью $\pm 5\%$. Время измерения составляет около 3-х минут.

В работе приведены результаты измерений амплитудо-релаксационных характеристик некоторых сортов бензина и дизельного топлива, а также их смесей.

Эффекты взаимодействия лазерного излучения с живыми тканями человека

Проблема изучения распространения лазерного излучения в живых тканях человека имеет важное научное и прикладное значение, поскольку в медицинской практике все чаще применяются аппараты и приборы, использующие лазеры.

В данной работе исследовалось прохождение поляризованного лазерного излучения с длиной волны 0,808 мкм и мощностью около 100 мВт через пальцы и ладонь руки человека. Известно, что в крови человека содержатся оптически-активные компоненты, такие как гемоглобин, глюкоза и, кроме того, почти все аминокислоты являются оптически-активными – (19 из 20).

Для измерения оптической активности тканей был изготовлен лазерный поляриметр в котором в качестве поляризатора и анализатора применялись призмы Глана-Тейлора, а приемником излучения служил кремниевый фотодиод ФД-307. Проведенные нами ранее исследования показали [1], что через ткани, которые, как известно, являются сильно рассеивающими и поглощающими средами поляризационная компонента с указанной длиной волны, тем не менее, проходит. Естественно, что при такой постановке эксперимента должен наблюдаться пульс, возникающий из-за работы сердца.

Исследования пульса при достаточно большой временной развертке (10 сек/см) дали возможность обнаружить его модуляцию с частотами от 0,1 до 0,01 Гц, что может быть следствием генерации собственных инфразвуковых колебаний телом человека.

Ряд контрольных экспериментов позволил связать наблюдаемую генерацию с работой сердечной мышцы и дыхательными процессами. При наложении жгута на палец или запястье руки инфразвуковые колебания практически исчезали и при этом наблюдался эффект просветления тканей из-за компрессионной ишемии т.е. из-за прекращения доставки тканям крови обогащенной кислородом.

Список литературы

[1] E.A. Protasov, D.E. Protasov, A.V. Ryzhkova. Laser polarimeter for measurement of optical activity of biological objects. Physics Procedia.v.71, (2015) pp. 261-266.

РАМАЗАНОВ А.М., КУЗНЕЦОВ А.П., ГУБСКИЙ К.Л.,
САРАНЦЕВ С.А., РАЕВСКИЙ И.Ф., НОРКИН С.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Измерение газокинетического давления плазмы одноканальным оптоволоконным интерферометром с прямым преобразованием доплеровских сигналов

Предложен метод измерения газокинетического давления плазмы в разрядах типа низкоиндуктивная вакуумная искра (НВИ) путем измерения скорости деформации пластины, подверженной воздействию плазмы. В процессе генерации плазмы корпускулярные потоки из области разряда НВИ создают динамическое давление на поверхности пластины, которое возбуждает в пластине акустические волны. На другую поверхность пластины фокусируется зондирующее лазерное излучение. Под действием плазмы пластина выгибается в сторону коллиматора и отраженное от поверхности лазерное излучение приобретает доплеровский сдвиг. Часть отраженного излучения собирается и направляется в интерферометр. Данный интерферометр позволяет определить скорость деформации по измеренному значению доплеровского сдвига. По полученной зависимости скорости деформации пластины от времени и известным параметрам пластины, путем математического моделирования, была получена зависимость газокинетического давления плазмы от времени ее существования.

СОКОЛОВ А.Ю., КОНОВАЛОВ П.И., ДОЛОТОВ А.С., ВИКУЛИН М.П.,
НУРТДИНОВ Р.И., ПРЯНИШНИКОВ И.Г., КРАПИВА П.С.

*ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им.
Н.Л. Духова», Москва*

Хронографические электронно-оптические преобразователи для диагностики лазерного излучения и плазмы

Создание установки для исследования лазерного термоядерного синтеза требует значительного развития методов диагностики лазерного излучения и плазмы, в том числе и фотохронографических, использующих стрик-камеры. Предельные технические характеристики стрик-камер определяются параметрами хронографических электронно-оптических преобразователей (ЭОП). В работе показано, как функционируют такие приборы, какие их параметры являются ограничивающими. Представлена новая технологическая платформа, созданная во ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», с помощью которой удалось разработать хронографические ЭОП нового поколения. Использование таких ЭОП в стрик-камерах позволит на порядки увеличить эффективность фотохронографических методик, и даже создать новые.

ТИМОФЕЕВ И.С., БУРДОНСКИЙ И.Н., ГОЛЬЦОВ А.Ю., ЛЕОНОВ А.Г.,
МАКАРОВ К.Н., ЮФА В.Н.

Московский физико-технический институт «МФТИ»

Моделирование микрометеоритных потоков при воздействии мощного лазерного излучения на многокомпонентные поликристаллические породы

Представлены результаты экспериментальных исследований взаимодействия лазерного излучения с многокомпонентными поликристаллическими горными породами при $I \sim 10^{10} - 10^{13}$ Вт/см².

Эксперименты проводились на лазерной Nd³⁺ установке «Сатурн». На выходе оконечного усилителя формировался лазерный импульс энергии 10-50 Дж при длительности 30 нс (полная ширина на полувысоте).

Измеренная температура плазмы для алюминиевых и андезитовых мишеней в пределах погрешности согласуется с результатами расчетов в рамках модели сферического расширения плазмы, предложенной П.Мора. Скейлинги модели дают абляционное давление порядка 4 Мбар для интенсивности лазерного излучения $I = 10^{13}$ Вт/см². Характеристики образующихся кратеров в исследованном диапазоне интенсивностей могут быть описаны аналитической моделью предложенной С.Ю. Гуськовым.

Для исследования выхода ударной волны на тыльную поверхность проводились серии стрельб по тонким мишеням из андезита, толщиной от 300 мкм до 700 мкм. Выполнен анализ вещества, выброшенного из плазменного факела и образующегося на тыльной стороне мишени откольного кратера. В экспериментах с образованием сквозного канала в откольном кратере, было зарегистрировано свечение с тыльной поверхности мишени.

Показано, что при воздействии лазерного излучения на многокомпонентные поликристаллические породы с тыльной стороны мишени летят частицы микронного размера, которые по своему химическому составу, температуре, геометрическим размерам и скорости эквивалентны потоку микрометеоритов в космическом пространстве.

Секция

**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ
ТВЕРДОГО ТЕЛА, ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ»**

Руководитель секции – *Менушенков А.П.*, и.о. зав. кафедрой № 70

Секретарь секции – *Кузнецов А.В.*, доцент кафедры № 70

Тел. 8 (495) 788-56-99, доб. 9020

E-mail: APMenushenkov@mephi.ru, AVKuznetsov@mephi.ru

АБИН Д.А. МИНЕЕВ Н.А., ОСИПОВ М.А., ПОКРОВСКИЙ С.В.,
РУДНЕВ И.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Намагниченность проводов на основе MgB_2

В настоящее время активно развивается промышленное производство проводов на основе MgB_2 . Каждый год создаются десятки новых образцов, с различными структурами, концентрациями примесей и технологиями производства. Постепенно провода на основе MgB_2 приближаются по своим характеристикам к $NbTi$ проводам. Интерес к развитию данного направления вызван перспективами использования MgB_2 проводов для МРТ магнитов и обмоток ветрогенераторов, и обусловлен относительно высоким значением критической температуры материала MgB_2 $T_c \approx 40$ К.

В данной работе представлены результаты исследования магнитных свойств различных образцов провода на основе MgB_2 . Приведены данные по измерениям намагниченности на вибрационном магнетометре 12 жильных провода и ленты из 37 жильного провода в диапазоне температур 4.2-45 К и диапазоне магнитных полей от -7 до 7 Тл. Измерения проводились при двух ориентациях внешнего магнитного поля: параллельно и перпендикулярно оси провода. Кривые $M(H)$, полученные в результате измерений, имеют ярко выраженный ферромагнитный характер, обусловленный наличием железа в оболочке материала. Используя данные, полученные при температуре выше критической, для всего диапазона температур был рассчитан диамагнитный вклад, обусловленный наличием сверхпроводящей фазы MgB_2 . Наблюдавшаяся особенность зависимости $M(H)$ вблизи $H=0$ объясняется нестабильной работой магнита при малых значениях магнитного поля, а также термомагнитной неустойчивостью материала MgB_2 . По полученным петлям намагничивания проведена оценка величины критического тока, а также построены температурные $I_c(T)$ и полевые зависимости $I_c(H)$ критического тока.

Работа выполнена в НИЯУ МИФИ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ: соглашение №14.575.21.0050 (RFMEFI57514X0050).

Ближний порядок в молекулярной системе вблизи ограничивающей поверхности

Поверхностные силы в граничных слоях классических молекулярных систем необходимо учитывать в различных физико-химических явлениях, протекающих вблизи ограничивающей поверхности: адсорбция, смачивание, микроструктура жидкостей в наноразмерных полостях и т.д.

Работа посвящена описанию ближнего порядка классических молекулярных систем в рамках модели молекулярной структуры, граничащей с твердой идеально гладкой поверхностью.

Особенностью модели является необходимость учета граничного условия при переходе от аксиальной к сферической симметрии вдали от ограничивающей поверхности.

Микроскопическое рассмотрение ближнего порядка в такой молекулярной структуре может быть осуществлено на основе методов статистической физики для одно- и двух- частичных функций распределения, записанных в форме интегральных уравнений Орнштейна – Цернике.

Ближний порядок в молекулярной системе проявляется при сколь угодно малых плотностях. Решение для одночастичной и двухчастичной функций распределения находится посредством разложения в степенной ряд по плотности [1] с точностью до первого порядка.

Вблизи ограничивающей поверхности ближний порядок описывается переменными: z_1, z_2 - расстояние от частиц до поверхности и расстоянием между центрами частиц r_{12} .

Однако, при стремлении каждой из частиц к бесконечности, ближний порядок зависит только от радиус- вектора r_{12} , что соответствует переходу к сферической симметрии вдали от ограничивающей поверхности [1].

В данной работе мы получили решение для частичных функций распределения для всех значений параметров, описывающих ближний порядок вблизи ограничивающей поверхности.

Список литературы

1. Yu. Agrafonov and I. Petrushin, Physics Prosedia, **71**, 364-367 (2015)

АЛЕКСЕЕВ П.А.

*НИИ «Курчатовский институт», Москва
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Новые особенности Кондо-изоляторов: семейство $\text{CeM}_2\text{Al}_{10}$

Приводятся результаты изучения магнитных, транспортных и спектральных свойств нового класса систем, относящихся к кондо-изоляторам на основе церия: $\text{CeM}_2\text{Al}_{10}$, где $M = \text{Ru}, \text{Os}, \text{Fe}$. Общим для них является сильная анизотропия магнитной восприимчивости в парамагнитной металлической фазе, формирование узкой щели в спектре электронных состояний при температурах ниже 50 К. Для $M = \text{Ru}$ и Os в $\text{CeM}_2\text{Al}_{10}$ наблюдается переход в магнитоупорядоченное состояние с аномально высокой температурой $T_N > 20$ К, но, с удивительно небольшим, порядка 0.3 μ_B , упорядоченным магнитным моментом. При этом свойства магнитоупорядоченного состояния не согласуются с анизотропией магнитной восприимчивости в парамагнитной фазе, которые в свою очередь, отличаются от ожидаемых по оценкам одноионной анизотропии.

Спектр магнитных возбуждений для всех систем изучен с помощью неупругого рассеяния нейтронов, в том числе и с поляризационным анализом. Обнаружено формирование спиновой щели при переходе металл-полупроводник. При этом, в спектрах наблюдается возбуждение, природа которого в немагнитном $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ и магнитоупорядоченных соединениях, очевидно, различна.

Основные подходы к интерпретации свойств этих систем основаны на комбинации эффектов гибридизации, обменного взаимодействия, при учете их анизотропии, и влияния кристаллического поля.

Работа поддержана грантами РФФИ 14-02-00272 и 14-22-01002.

ANIKIN V.A.¹, BORISOV A.M.¹, KAZAKOV V.A.^{1,2}, MASHKOVA E.S.³,
PALYANOV Yu.N.⁴, POPOV V.P.⁵, SHMYTKOVA E.A.², SIGALAEV S.K.²

¹ *Moscow Aviation Institute (National Research University)*

² *Keldysh Research Center, Moscow*

³ *Skobel'tsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University*

⁴ *Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk*

⁵ *A.V.Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk*

Diamond single crystal surface modification under high-fluence ion irradiation

The modification of (111) face of synthetic diamond has been studied experimentally for high-fluence 30 keV argon bombardment. It has been found that ion irradiation leads to the electrically conductive layer formation the resistance of which decreases by more than 100 times while changing the temperature of the irradiated diamond from 70 to 400°C. This effect, as well as significant changes of optical transmittance after ion irradiation are associated with ion-induced structural and morphological changes of irradiated diamond set by the methods of Raman spectroscopy, photoluminescence and AFM.

БАСКАКОВА А.В.¹, БУХЕНСКИЙ К.В.¹, ДЮБУА А.Б.¹,
КУЧЕРЯВЫЙ С.И.², МАШНИНА С.Н.¹, САФОШКИН А.С.¹

¹Рязанский государственный радиотехнический университет

²Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ

Кинетические процессы в сильнолегированных двумерных полупроводниковых гетеропереходах

В настоящей работе сообщаются результаты исследований электрон – электронных релаксационных процессов в системе сильновырожденных 2D электронов с тонкой структурой энергетического спектра и пространственного распределения электронной плотности. Для сильнолегированного гетероперехода, когда оказываются заполненными две подзоны размерного квантования, найдены выражения для времени электрон – электронного внутри и межподзонного взаимодействия, определены матричные элементы полного потенциала экранирования и диэлектрической функции в приближении, далеком от длинноволнового предела. Показано, что осцилляции температурной и концентрационной зависимости времени электрон – электронного взаимодействия связаны с возбуждением плазменных колебаний компонентов 2D электронной системы.

БЕЗОТОСНЫЙ П.И., ГАВРИЛКИН С.Ю., ИВАНЕНКО О.М.,
МИЦЕН К.В., ЦВЕТКОВ А.Ю.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Теоретические основы методики определения глубины проникновения магнитного поля

Одним из важнейших параметров определяющих магнитные характеристики сверхпроводящих пленок является глубина проникновения магнитного поля λ . Определение λ - весьма актуальная задача, так как данный параметр характеризует, помимо макроскопических электродинамических свойств материала, микроскопические свойства сверхпроводящего конденсата. Существует множество методик определения величины λ , однако большинство из них требуют применения сложного экспериментального оборудования: магнитометры, СВЧ-техника и др. Поэтому разработка сравнительно простых и наглядных подходов, позволяющих решить эту задачу, представляет большой практический интерес.

Среди существующих методик определения λ отметим взаимоиндукционный метод [1], при котором тонкая плёнка исследуемого материала помещается между двумя соосными катушками, при этом величина λ определяется по изменению их взаимной индуктивности. Однако количественный анализ результатов измерений затруднен из-за необходимости учёта многих параметров эксперимента.

Данная работа, являющаяся развитием работы [2], посвящена моделированию линейного отклика сверхпроводящей плёнки на локальное низкочастотное синусоидальное магнитное поле, создаваемое измерительной катушкой, размещенной в непосредственной близости от образца. Для приёма сигнала отклика используется та же самая катушка, что позволяет минимизировать число параметров связи. Рассматривается ситуация, когда плотность индуцированных токов много меньше критической. Разработан теоретический подход к определению изменения индуктивности катушки ΔL в зависимости от величины λ и толщины образца d , а также от других параметров задачи.

Список литературы

1. A. T. Fiory, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **52** (25), 2165 (1988).
2. С.Ю. Гаврилкин, *и др.* Сборник трудов 2-й Национальной конференции по прикладной сверхпроводимости НКПС-2013 (электронное издание), 123-129 (2014).

БЕСЕДИН И.С.^{1,2}, ШУЛЬГА К.^{2,3}, АБРАМОВ Н.², УСТИНОВ А.В.^{2,3,4}

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

²*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва*

³*Российский квантовый центр, Москва*

⁴*Physikalisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany*

Импульсная характеристика квантового сверхпроводящего метаматериала

Исследован сверхпроводящий метаматериал, состоящий из взаимодействующих искусственных двухуровневых систем-трансмонов (transmons). С помощью импульсной техники возбуждения достигнут когерентный режим взаимодействия коллективных состояний. Реализовано высокодобротное дисперсионное считывание состояния кубита, сильно связанного с резонатором. Определены времена жизни и дефазировки возбуждённых состояний. Демонстрация техники импульсных измерений осуществлена над единичным кубитом, сильно связанным с резонатором, и системой 20 кубитов, сильно связанных с резонатором.

ВАСИЛЬЕВ А.Л.¹, БАЛЛАРИНО А.⁵, БОТТУРА Л.⁵, ГАВРИЛКИН С.Ю.²,
ДЕГТЯРЕНКО П.Н.^{1,4}, КАРАТЕЕВ И.А.¹, КРУГЛОВ В.С.^{1,3},
ЛАТУШКИН С.Т.¹, ЛУНЕВ А.В.¹, РЯЗАНОВ А.И.^{1,3}, СЕМЕНОВ Е.В.¹,
УНЕЖЕВ В.Н.¹, ФЛЮКЕГЕР Р.⁵, ШАВКИН С.В.¹

¹НИЦ «Курчатовский Институт», Москва

²Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

⁴Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

⁵ЦЕРН, Женева, Швейцария

Особенности изменения магнитных характеристик и микроструктуры образцов сверхпроводящего интерметаллида Nb₃Sn, облученного быстрыми протонами энергией 12,4 и 12,8 МэВ

В процессе работы сверхпроводящих магнитных систем установок термоядерного синтеза и ускорительной техники, интерметаллид Nb₃Sn подвергается интенсивному воздействию облучения быстрыми частицами. Это приводит к изменению таких параметров сверхпроводимости как критическая температура, критический ток и др. Для понимания природы изменения этих параметров необходимы детальное экспериментальные исследования их характеристик, возникающие при облучении. В настоящей работе представлены результаты исследования намагниченности, магнитной восприимчивости, структурного анализа однофазных Nb₃Sn пластин толщиной от 120 до 220 мкм, до и после облучения быстрыми протонами с энергией протонов около 12.4 и 12.8 МэВ и флюенсом частиц до 10¹⁸ прот./см². По результатам исследования облученных образцов обнаружено, изменение сверхпроводящих характеристик: увеличение критической плотности тока вплоть до флюенса 10¹⁷ см⁻² и монотонное снижение критической температуры с ростом флюенса. Для понимания природы изменения характеристик также проведен микроструктурный анализ. Обсуждаются полученные результаты экспериментов с учетом расчета профиля радиационных повреждений в облученных образцах Nb₃Sn пластинок.

ВЛАСОВ В.А.¹, ТОЛОКОНСКИЙ А.О.¹, ВЛАСОВА С.В.²
¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
²АО ВНИИАЭС Всероссийский научно-исследовательский институт по
эксплуатации атомных станций, Москва

Проверка статистических гипотез о значении функций от неизвестных параметров закона распределения

В практике применения статистических методов анализа экспериментальных данных приходится принимать решения о допустимых значениях функций от неизвестных параметров. Одним из способов изучения величины является применение аппарата проверки параметрических гипотез, который может быть применен и для сравнительного анализа значений функции $t = f(\sigma, M)$, которая фактически есть функция от неизвестных параметров, и может сама рассматриваться как обобщенный новый параметр. Наиболее распространенным результатом для сравнительного анализа возможных значений параметров по результатам наблюдений является теорема Пирсона о конкурировании двух простых конкурирующих гипотез H и \bar{H} , которая позволяет разбить выборочное пространство W на две части W_1 и W_2 . При попадании результатов эксперимента в первую часть принимается гипотеза H . Если результат эксперимента попадает во вторую часть, то принимается гипотеза \bar{H} .

ГАЙНАНОВ Б.Р.¹, МЕНУШЕНКОВ А.П.¹, ПОПОВ В.В.^{1,2},
ЗУБАВИЧУС Я.В.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИИЦ «Курчатовский институт», Москва

Исследование изменения кристаллической и локальной структуры в соединениях $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Sm}; \text{M} = \text{Zr}, \text{Hf}$) при фазовом переходе «флюорит-пирохлор»

Кристаллическая и локальная структура соединений $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ существенным образом влияет на физико-химические и эксплуатационные свойства материалов, полученных на их основе. Порошки $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ (где $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Sm}; \text{M} = \text{Zr}, \text{Hf}$) были синтезированы методом обратного соосаждения с последующим их прокаливанием на воздухе в широком диапазоне температур (600 - 1600°C) до получения соответствующих сложных оксидов [1]. Синтезированные образцы были исследованы на станции «Структурное материаловедение» Курчатовского источника синхротронного излучения методом рентгеновской дифракции ($\lambda=0,68886 \text{ \AA}$). Спектры рентгеновского поглощения были измерены выше L_3 -Pr, Sm, Hf и K-Zr краев поглощения, на станции i811 накопительного кольца MAX-III (MAX-Lab, Лунд, Швеция).

Исследование кристаллической структуры образцов показало, что увеличение температуры отжига до $\sim 700^\circ\text{C}$, приводит к образованию нанокристаллических порошков с ГЦК структурой флюоритного типа. Дальнейшее увеличение температуры до $1000\text{-}1100^\circ\text{C}$ вызывает появление на рентгенограммах сверхструктурных пиков (111), (311) и (511), свидетельствующих о катионном упорядочении с образованием нанодоменов с пирохлорной структурой в матрице хорошо закристаллизованного флюорита.

Моделирование EXAFS-спектров позволили сделать вывод о том, что в интервале температур температуре $\sim 800\text{-}900^\circ\text{C}$ наблюдается фазовый переход флюорит-пирохлор, сопровождающийся активной перестройкой локальной структуры и упорядочением атомов в окружении РЗЭ. Анализ XANES спектров показал возможное наличие изменения степени окисления катиона $\text{Pr}^{3+}/\text{Pr}^{4+}$ в порошках $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ и $\text{Pr}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-22-00098.

Список литературы

1. Попов В.В., Менушенков А.П., Зубавичус Я.В. и др., ЖНХ **60(1)**, 18 (2015).

ГЛУШКОВ В.В.¹, АЗАРЕВИЧ А.Н.¹, АНИСИМОВ М.А.¹, БОГАЧ А.В.¹,
БОЖКО А.Д.¹, ГАВРИЛКИН С.Ю.², ДЕМИШЕВ С.В.¹,
ДУХНЕНКО А.В.³, КОНДРИН М.В.⁴, КУЗНЕЦОВ А.В.⁵,
ЛЕВЧЕНКО А.В.³, САННИКОВ И.И.⁵, ФИЛИПОВ В.Б.³,
ШИЦЕВАЛОВА Н.Ю.³, СЛУЧАНКО Н.Е.

¹Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва

²Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва

³Институт проблем материаловедения им. И.Францевича НАНУ, Киев, Украина

⁴Институт физики высоких давлений им. Л.Ф.Верецагина РАН, Троицк, Москва

⁵Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Диффузионная термоэдс и фононное увлечение носителей заряда в высших бориды иттербия

Возможность оптимизации термоэлектрических характеристик в рамках концепции «фононное стекло – электронный кристалл» [1] стимулирует интерес к изучению электронного транспорта в редкоземельных (РЗ) гекса- и додекаборидах Rb_6 и Rb_{12} с состоянием каркасного стекла [2-3]. Взаимодействие носителей заряда с квазилокальными колебаниями РЗ ионов в кубооктаэдрических полостях подрешетки бора приводит к возникновению термоэдс фононного увлечения, определяющей термоэлектрические свойства Rb_6 и Rb_{12} при промежуточных температурах [4-6]. Из анализа транспортных, магнитных и тепловых свойств монокристаллических образцов YbB_{6-8} и твердых растворов замещения $Yb_{1-x}Tm_xB_{12}$ ($x \leq 0,2$) показано, что вклад фононного увлечения ограничивают малые значения отношения полного времени релаксации фононов к характерному времени их релаксации за счет рассеяния на носителях заряда ($\tau_p/\tau_{pe} \sim 2 \cdot 10^{-3}$). При этом большие значения диффузионной термоэдс $S=AT$ ($A=-29$ мкВ/К²), обнаруженные для $Yb_{0,97}Tm_{0,03}B_{12}$ при $T < 10$ К, указывают на перенормировку электронной плотности состояний за счет эффектов $4f-5d$ гибридизации в режиме промежуточной валентности ионов Yb [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (15-02-03166-а).

1. G.A. Slack, in *CRC Handbook of Thermoelectrics*, 407 (1995).
2. Н.Е. Случанко и др., *ЖЭТФ*, **140**, 536 (2011).
3. А.П. Менушенков и др., *Письма в ЖЭТФ*, **98**, 187 (2013).
4. V. Glushkov *et al.*, *Phys. Status Solidi B*, **243**, R72 (2006).
5. М.И. Игнатов и др., *ЖЭТФ*, **132**, 66 (2007).
6. V. Glushkov *et al.*, *Phys. Status Solidi B*, **250**, 618 (2013).
7. Н.Е. Случанко и др., *Письма в ЖЭТФ*, **89**, 298 (2009).

GORSHUNOV B.^{1,2,3}, TORGASHEV V.⁴, ZHUKOVA E.^{1,2,3}, THOMAS V.⁵,
BELYANCHIKOV M.^{1,2}, SAVINOV M.⁶, KADLEC CH.⁶, KADLEC F.⁶,
PROKHOROV A.^{1,2}, KADYROV L.^{1,2}, PETZELT J.⁶, OSTAPCHUK T.⁶,
FORSENKO D.⁵, THOMAS P.⁷, DRESSEL M.³

¹*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny*

²*A.M. Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow*

³*Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany*

⁴*Faculty of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don*

⁵*Institute of Geology and Mineralogy, RAS, Novosibirsk*

⁶*Institute of Physics AS CR, Na Slovance 2, Praha 8, Czech Republic*

⁷*Mathematical department of The National Research University Higher School of
Economics, Moscow, Russia and Independent University of Moscow.*

Terahertz spectroscopy of ferroelectric state in the ensemble of nanocaged water molecules

Water molecule has extremely large electrical dipole moment $d = 1.85$ D. However, despite the enormous electrical polarizability, neither water nor ice is ferroelectric. The reason is that short-range hydrogen bonds screen the long-range intermolecular dipole-dipole coupling. The situation changes drastically when water is confined to nanochannels, nanopores or very thin layers. In these cases, among other exotic effects, an ordering of the molecular dipoles can occur. This kind of *confined water ferroelectricity* is thought to play a key role in functioning of biosystems and in forming properties of different natural and artificial objects. Though predicted theoretically and modeled by computer simulations, this phenomenon has never been clearly observed experimentally. We managed to put water molecules in the matrix of a crystal lattice of a dielectric (beryl) so that separate H₂O molecules are located far enough from each other to avoid hydrogen bonding, but close enough to keep the dipole-dipole interaction. Using broad-band dielectric spectroscopy we demonstrate incipient ferroelectricity within the ensemble of interacting water molecules: while cooling, the quasi-static permittivity increases according to the Curie-Weiss law as a ferroelectric soft mode develops in the terahertz frequency range. At temperatures below 10 K, quantum fluctuations eventually suppress the ferroelectric phase transition and lead to a saturation of the soft mode parameters and of the permittivity. Our results are in full qualitative and quantitative agreement with the theoretical models developed to describe ferroelectric orientational phase transitions. The discovered effect will help to get deeper insight into fundamental properties of confined water and it may also find applications in fuel and memory cells and other nanoscale electronic devices.

ГУРЬЕВ В.В.^{1,2}, ШАВКИН С.В.², КРУГЛОВ В.С.^{1,2}, ВОЛКОВ П.В.²,
ВАСИЛЬЕВ А.Л.², ОБЧАРОВ А.В.², ЗУБАВИЧУС Я.В.²,
СВЕТОГОРОВ Р.Д.², ПАШАЕВ Э.М.², ЛИХАЧЕВ И.А.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИИЦ Курчатовский институт, Москва

Особенности вольт – полевых характеристик Nb-Ti фольг

В работе исследованы продольные и поперечные вольт – полевые характеристики (ВПХ) холоднокатаной Nb-Ti фольги до и после отжига (385°C, 25 часов). Исследования проводились в жидком гелии при температуре 4.2 К. Обнаружена анизотропия верхнего критического поля по отношению к направлению внешнего магнитного поля для фольг до и после отжига, что противоречит модели, предложенной в работе [1]. Указанная анизотропия не зависит от кристаллографической текстуры, и может быть объяснена в рамках модели макронеоднородности, предложенной в работе [2].

При переходе в нормальное состояние возникает также напряжение перпендикулярное току. Установлено, что поперечные ВПХ четные по отношению к инверсии магнитного поля. Поперечное напряжение отожжённой фольги меняет знак, чего не наблюдалось для не отожженной. Форма поперечной ВПХ зависит от измерительного тока и практически не зависит от ориентации внешнего магнитного поля.

Список литературы

1. L. Cooley, A.Patel , IEEE Trans. On App. Supercond., **11 (1)**, 3792-3795, (2001)
2. Е.Ю. Клименко, С.В. Шавкин, П.В. Волков, ФММ, **92 (3)**, 1-5, (2001)

Моделирование свойств гидридов при высоком давлении

Одним из направлений поиска новых сверхпроводящих материалов с высокими критическими температурами является моделирование сверхпроводящих свойств соединений с высоким содержанием водорода. Идея основана на теоретических работах по исследованию свойств металлического водорода, в которых предсказана высокая критическая температура $T_c \sim 200 - 400$ К [1,2], а также на последних экспериментальных результатах [3], ознаменовавшихся рекордным значением критической температуры $T_c \approx 203$ К.

В работе представлены результаты расчетов методом DFT свойств нормальной фазы гидридов при высоком давлении. Дан сравнительный анализ свойств электронной системы в целом и парциально подсистемы водорода ряда гидридов в зависимости от давления. Рассчитана зависимость энтальпии разных фаз ряда гидридов от давления. Представлены фоновые спектры и их изменение с давлением. Установлен диапазон давлений, в котором фазы устойчивы. На основе анализа характеристик электрон-фононной подсистемы гидридов сделано предположение о наиболее предпочтительных из рассмотренных соединений для получения сверхпроводящего перехода при высоких давлениях. В электрон-фононной системе играет роль не только значение электронной плотности состояний на поверхности Ферми, но также и функциональное поведение электронной плотности состояний $N(\varepsilon)$ в окрестности энергии Ферми. Для количественного воспроизведения величины T_c учтены результаты работ с резко непостоянной плотностью электронных состояний, электрон-дырочной неэквивалентности, частотного поведения комплексной перенормировки $\text{Re}\chi(\omega)$, $\text{Im}\chi(\omega)$, перенормировки химического потенциала, электронных корреляций в вершинной функции, а также спаривания в пределах полной ширины электронной зоны, а не только в узком слое у поверхности Ферми.

Список литературы

1. N.W. Ashcroft. Phys. Rev. Lett. **21** (26), 1748 (1968)
2. T. W. Barbee III, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **62**, 1150 (1989)
3. A.P. Drozdov, M.I. Erements, I.A. Troyan, V. Ksenofontov, S.I. Shylin. Nature, **525**, 73-76 (2015)

Моделирование взаимодействия атомарного водорода на поверхности и в массиве вольфрама

Представлены результаты расчетов методом DFT устойчивых конфигураций атомарного водорода в объеме кристалла вольфрама, а также на его поверхности [100] и в приповерхностных слоях.

1. Показано, что атомарный водород адсорбируется на поверхность без барьера с энергией 3эВ. Для адсорбции молекулы водорода на поверхность вольфрама [100] необходимо преодоление энергетического барьера, при этом происходит развал молекулы. Предпочтительная ориентация оси молекулы при этом – перпендикулярно поверхности.

2. Проведено моделирование конфигураций кластеров атомарного водорода на поверхности [100] вольфрама. Рассчитано, что различие в полной энергии системы для всех конфигураций и кратностей поверхностных кластеров адсорбированного атомарного водорода существенно меньше энергии поверхностной диффузии, т.е. если нет термоактивированной диффузии, то неоднородность распределения адсорбированного водорода обусловлена только случайностью потока атомов водорода на поверхность вольфрама.

3. Проведен анализ образования второго слоя атомов водорода на поверхности [100] вольфрама. Один атом водорода адсорбируется на первом слое атомов Н. Приход второго атома водорода в область расположения первого атома Н приводит к их объединению в молекулу водорода во втором слое.

4. Рассчитаны характеристики кластеров водорода в массиве вольфрама. Показано, что косвенное корреляционное взаимодействие атомов водорода через соседние к ним атомы W может приводить к созданию плоских кластеров водорода с энергией связи до 0.35 эВ. Рассчитано, что объемные кластеры Н энергетически менее выгодны по сравнению с плоскими кластерами.

ДЕГТЯРЕНКО П.Н.^{1,2}, БАЛАШОВ Н.Н.², ИВАНОВ С.С.²,
САМОЙЛЕНКОВ С.В.^{2,3}

¹НИИЦ «Курчатовский Институт», Москва

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

³ЗАО СуперОкс, Москва

Электрофизические характеристики низкоомных контактных соединений коммерческих ВТСП-2

Развитие технологии производства коммерческих высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения (ВТСП-2) привело к возможности использовать эти материалы для создания различного оборудования для нужд электроэнергетики, промышленной физики и медицины. При проектировании этого оборудования необходимы длинномерные ВТСП-2, длиной более 1 км (на сегодняшний день выпуск длинномерных ВТСП-2 ограничен длиной 500 м) и поэтому одним из важных вопросов является создание низкоомных контактных соединений (НКС) между ВТСП-2. При этом сопротивление контактных соединений должно быть настолько малым, насколько это возможно. Низкое значение сопротивления необходимо для снижения перегрева в области контакта и исключения образования нормальной зоны, что является одной из причин выхода из строя сверхпроводникового оборудования. Помимо этого контактные соединения должны быть однородны по длине, ширине и толщине; быть устойчивыми к термоударам; иметь высокую механическую прочность и воспроизводимость свойств. Именно поэтому целью настоящей работы являлось исследование электрофизических характеристик низкоомных контактных соединений коммерческих ВТСП-2 лент. Исследования проводились на коммерческих ВТСП-2 лентах производства компании SuperOx шириной 12 мм на участках длиной 30-80 мм. Предварительные эксперименты показали, что на длине спая 67 и 77 мм без термоциклирования полученные значения сопротивления составили 20.95 и 21.98 нОм, соответственно. Проведенные эксперименты по термоциклированию лент показали отсутствие значительного изменения характеристик соединений, что может свидетельствовать о высокой надежности создаваемых НКС.

ЗАРУБИН С.С., ЧЕРНИКОВА А.Г., МАРКЕЕВ А.М.,
СПИРИДОНОВ М.В., ЗЕНКЕВИЧ А.В.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Структурные и сегнетоэлектрические свойства наноразмерных плёнок $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$

Методом атомно-слоевого осаждения (АСО) были выращены сегнетоэлектрические сверхтонкие (3-10 нм) плёнки $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$. В качестве подложки использовался высоколегированный кремний, в том числе с подслоем TiN. Кристаллизация изначально аморфных плёнок происходит в процессе роста методом АСО верхнего электрода из TiN при температуре 400°C. Сегнетоэлектрические свойства наноразмерного слоя $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ установлены методами микроскопии пьезоотклика, а также электрическими измерениями токов переполяризации. Анализ методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) высокого разрешения, как «в плане», так и поперечного сечения, показывает, что формируемый слой сплавного оксида гафния-циркония имеет поликристаллическую структуру. Фазовый анализ в рамках ПЭМ указывает на наличие нецентросимметричной орторомбической фазы $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$, которая может отвечать за сегнетоэлектрические свойства наноразмерных плёнок $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$.

ЗУЕВ В.В., ДЕМИН М.В., ФОМИНСКИЙ В.Ю., РОМАНОВ Р.И.,
ГРИГОРЬЕВ В.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Получение и свойства наноструктурированной пленки орторомбического оксида вольфрама для детектора водорода на кристалле SiC

Показана возможность создания эффективного полупроводникового детектора водорода на платформе оксид металла – карбид кремния без применения дорогостоящих каталитических слоев из металлов платиновой группы. Газочувствительный слой наносился методом реактивного импульсного лазерного осаждения WO_3 на кристалл 6H-SiC. Высокие функциональные характеристики полученного сенсора WO_3/SiC обуславливались выбором специального режима осаждения и отжига. Высокие импульсные скорости конденсации плазменно-парового потока обеспечивали формирование слоистой структуры орторомбической фазы оксида вольфрама из неплотно упакованных микрокристаллических пластинок, состоящих из нанокристаллитов размером менее 100 нм. Величина ΔU на обратной ветви ВАХ достигала 2.1 В при регистрации 0.2 % концентрации водорода в воздухе при 350 °С. Время отклика на ввод водорода и время восстановления структуры после его выпуска оказались заметно меньше времен реакции структуры Pt/ WO_3/SiC .

ИВАНОВ В.Г.¹, МЕНУШЕНКОВ А.П.¹, БЬЯНКОНИ А.^{1,2}
¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
²RICMASS, Rome International Center for Materials Science Superstripes, Italy

Низкотемпературные аномалии фактора Дебая-Валлера межатомной связи As-Fe в монокристаллах LaFe_{1-x}Co_xAsO: данные EXAFS-спектроскопии

Методом EXAFS-спектроскопии выше K -края поглощения мышьяка были получены температурные зависимости длины и фактора Дебая-Валлера межатомной связи As-Fe для диэлектрического ($x = 0$) и сверхпроводящего ($x = 0.11$; $T_c = 13.5$ К) монокристаллов LaFe_{1-x}Co_xAsO. Зависимости фактора Дебая-Валлера от температуры проявляют аномалии, хорошо коррелирующие с температурными зависимостями таких характеристик, как сопротивление, магнитная восприимчивость, линейное тепловое расширение, указывая на существенное влияние локальных структурных неоднородностей на макроскопические свойства высокотемпературных сверхпроводников на основе железа.

Анализ обнаруженных аномалий проводился в рамках модели динамических осцилляций атомов Fe в двухъямном потенциале [1] с помощью программного пакета VIPER [2].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-22-00098).

Список литературы

1. A.P. Menushenkov and K.V. Klementev, J. Phys.: Condens. Matter., **12**, 3767, (2000).
2. K.V. Klementiev, J. Phys. D: Appl. Phys., **34**, 209, (2001).

ИВАНОВ В.Г.¹, РУДНЕВ И.А.¹, ЖУКОВ Д.Г.², ЩЕТИНИН И.В.²,
МЕНУШЕНКОВ В.П.², РОГАЛЕВ А.³, ИВАНОВ А.А.¹,
ЧЕРНЫШЕВА О.В.¹, МЕНУШЕНКОВ А.П.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСЦ»,
Москва

³European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble, France

Рентгеновский магнитный круговой дихроизм магнитотвердых интерметаллидов Nd₂(Fe,Zr)₁₄B

Методом рентгеновского магнитного кругового дихроизма (XMCD) с использованием синхротронного излучения исследованы локальные магнитные свойства поликристаллических образцов Nd₂(Fe,Zr)₁₄B. Исследовались магнитно-ориентированные вдоль легкой и тяжелой осей намагниченности поликристаллические образцы. С этой целью порошок Nd₂(Fe,5%Zr)₁₄B смешивался с эпоксидной смолой, и в процессе затвердевания смесь вращалась в магнитном поле величиной 1 Т с ориентацией параллельной и перпендикулярной оси вращения.

XMCD спектры были измерены на станции ID-12 Европейского синхротронного центра ESRF (Гренобль, Франция) на L_{3,2}-краях поглощения неодима и K-крае поглощения железа в магнитном поле 10 и 17 Т. В результате обнаружены существенные отличия амплитуд XMCD сигналов как на Nd-L₃, так и на Nd-L₂ краях поглощения, измеренных на образцах с различной ориетацией, что, по-видимому, указывает на влияние структурной анизотропии на магнитное состояние ионов неодима. С целью установления корреляций локальных и макроскопических магнитных свойств были дополнительно проведены измерения петель намагниченности в диапазоне магнитных полей $H = \pm 17\text{T}$ при настройке спектрометра на максимум XMCD- сигналов в области Nd-L_{3,2} и K-Fe краев поглощения, указывающие на различный вклад ионов неодима и железа в полный магнитный момент соединения.

Полученные результаты существенны для понимания природы высококоэрцитивного состояния в интерметаллических соединениях на основе Nd₂Fe₁₄B.

Проведение исследований в ESRF поддержано проектом МОН № 14.587.21.0017.

ИВАНЦОВ И.Д., ОВЧИННИКОВ С.Г.

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

Сочетание метода точной диагонализации малых кластеров и квантового метода Монте-Карло при исследовании модели Хаббарда

Предложена модификация квантового метода Монте-Карло, основанная на точной диагонализации малых кластеров. В рамках этого метода первоначальная решетка разбивается на кластеры, методом точной диагонализации определяется полный набор собственных векторов и собственных значений и на этом базисе проводится построение Х-операторов Хаббарда. Такой подход позволяет точно учесть ближний порядок, который играет существенную роль в системах с сильными электронными корреляциями. Состояние кластеров и взаимодействие между ними рассчитывается по траекторному квантовому алгоритму Монте-Карло. Для оценки эффективности метод применяется к одномерной модели Хаббарда, и результаты сравниваются с классическим (некластерным) методом Монте-Карло.

КАРЦЕВ П.Ф., КОРЧАГИН Д.С., ЕСИН М.И.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Решение уравнений Гинзбурга-Ландау для сверхпроводящей пленки в поле периодического массива ферромагнитных частиц

Ферромагнитные частицы являются перспективными компонентами в разрабатываемых ВТСП материалах, в качестве сильных центров пиннинга [1]. Для повышения характеристик данных материалов требуются расчетные модели, позволяющие определять наилучшие параметры магнитных частиц.

В докладе представлен расчет состояния сверхпроводящей плёнки в поле ферромагнитной частицы при помощи численного решения уравнений Гинзбурга-Ландау. Для упрощения граничных условий было решено использовать периодический массив одинаковых магнитных частиц с векторами намагниченности, направленными в чередующемся (шахматном) порядке, расположенных на достаточном расстоянии друг от друга. Периодичность искомым функций также позволила использовать все выгоды преобразования Фурье, в том числе быстрого преобразования.

Решение уравнений Гинзбурга-Ландау ведётся при помощи метода установления (псевдовязкости) [2]. Тип сверхпроводника (I или II рода) в модели определяется параметром Гинзбурга-Ландау $\kappa = \lambda/\xi$.

Список литературы

1. В.А. Кашурников, А.Н. Максимова, И.А. Руднев. Письма в ЖЭТФ **100** (7), 494 (2014)
2. W.B. Richardson, A.L. Pardhanani, G.F. Carey, and A. Ardelea, Int. Journal for Numerical Methods Engineering, **59**, 1251-1272 (2004)

КАРЦЕВ П.Ф., КУЗНЕЦОВ И.О.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Численное моделирование процесса термализации слабовзаимодействующего бозе-газа при помощи кинетического уравнения

Вопрос об описании эволюции взаимодействующего бозе-газа, как простой термализации после возмущения, так и формирования бозе-конденсата при охлаждении, в последние годы получил новые применения. Так, возможность бозе-конденсации при комнатной температуре для системы поляритонов (фотоэкситонов) в полупроводниковом образце в оптическом резонаторе при оптической накачке [1] может привести к созданию новых оптоэлектронных приборов и оптических преобразователей. Скорость формирования бозе-конденсата в таком случае должна превышать скорость распада поляритонов и других потерь. Предложенная в работах [2,3] схема построения гамма-лазера на бозе-конденсате газа позитрония ставит вопросы о соотношении скоростей аннигиляции, установления теплового равновесия и внешнего охлаждения. Определяющую роль в установлении теплового равновесия играет взаимодействие между бозонами.

В докладе будет представлен результат численного моделирования процесса термализации бозе-газа и формирования конденсата в некогерентном приближении при помощи прямого расчёта кинетических уравнений на основе «золотого правила Ферми». В связи с трудоёмкостью вычислений была применена технология расчетов на графическом ускорителе (GPGPU) в варианте OpenCL для AMD Radeon HD 7970.

Список литературы

1. Lambert K. van Vugt *et al.*, PNAS, **108** (2), 10050-10055 (2011).
2. Y.-H. Wang *et al.*, Phys. Rev. A, **89**, 043624 (2014)
3. H.K.Avetissyan *et al.*, Phys. Rev. Lett., **113**, 023904 (2014)

КАРЦЕВ П.Ф., МОЧАЛОВ В.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Процесс перемагничивания ферромагнитной частицы вблизи сверхпроводящего интерферометра

Известно [1], что перемагничивание магнитных частиц и доменов – процесс достаточно медленный и при комнатной температуре занимает времена порядка одной-нескольких наносекунд, т.е. частота порядка 1 ГГц. Это ограничивает возможности развития магнитных носителей информации и даёт частоту работы разрабатываемых приборов спинтроники, сравнимую с частотой, достижимой в традиционной кремниевой электронике.

С понижением температуры процессы диссипации становятся еще медленнее. Однако в работе [2] был представлен сверхпроводящий интерферометр с ферромагнитной прослойкой, работающий со скоростью, типичной для приборов однокуантовой логики (БОКЛ) - около 700 ГГц [3]. В результате появилась задача о корректном теоретическом описании эволюции магнитного момента в комбинации со сверхпроводящим интерферометром.

В докладе представлены результаты численного моделирования такой системы. Результаты показывают на возможность увеличения быстродействия приборов спинтроники при использовании этого эффекта.

Список литературы

1. Kai-Zhong Gao and Mourad Benakli, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 102506 (2009)
2. Timofei I. Larkin, Vitaly V. Bol'ginov, Vasily S. Stolyarov, Valery V. Ryazanov, Igor V. Vernik *et al.* *Appl. Phys. Lett.* **100**, 222601 (2012)
3. W. Chen, A.V. Rylyakov, Vijay Patel, J.E. Lukens, and K.K. Likharev, *Appl. Phys. Lett.*, **73** (19), 2817-2819, (1998).

КАШУРНИКОВ В.А., КРАСАВИН А.В., ЖУМАГУЛОВ Я.В.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Восстановление плотности состояний для сверхпроводников на основе железа

Спектральная и полная плотности состояний для двумерных кластеров FeAs, моделирующих сверхпроводники на основе железа, были рассчитаны с использованием обобщенного квантового алгоритма Монте-Карло в рамках полной двухорбитальной модели. Спектры были восстановлены при помощи комбинированного метода «градиентный спуск + алгоритм Монте-Карло», позволяющего асимптотически точно решать интегральное уравнение Фредгольма первого рода, связывающее спектральную плотность с мацубаровской функцией Грина. Расчеты были проведены для кластеров с размерами до 10x10 ячеек FeAs. Представлены профили поверхности Ферми для всей зоны Бриллюэна в рамках квазичастичного приближения. Получены данные для полной плотности состояний вблизи уровня Ферми; показаны две ветви квазичастичного спектра по обе стороны от уровня Ферми. Обсуждается влияние на спектры возбуждений параметров взаимодействия, размера кластера и температуры.

КАШУРНИКОВ В.А., МАКСИМОВА А.Н., РУДНЕВ И.А.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Магнитные и транспортные свойства слоистых ВТСП с различным параметром анизотропии

В рамках модифицированной трехмерной модели Лоренса-Дониака выполнены расчеты намагниченности слоистого высокотемпературного сверхпроводника с реальными граничными условиями при различном параметре анизотропии γ . Промоделировано проникновение магнитного потока в объемный образец с границы при наличии дефектов различного типа. Исследовано влияние наклонных колумнарных дефектов на критический ток, получены зависимости критического тока от угла наклона дефектов при различной величине анизотропии. Найдено значение γ , при котором зависимость меняется с монотонно падающей с ростом угла наклона на постоянную в пределах погрешности величину. Показано, что данное поведение критического тока обусловлено особенностями закрепления изогнутых вихревых нитей на точечных и колумнарных дефектах. Для слоистого ВТСП с ферромагнитными включениями в форме бесконечных цилиндров показано, что зависимость критического тока от радиуса ферромагнитной области при фиксированной объемной концентрации ферромагнетика имеет максимумы, нехарактерные для немагнитных дефектов. Предложено качественное объяснение данной зависимости.

КОНАРЕВ П.В.¹, ВОЛКОВ В.В.¹, СВЕРГУН Д.И.²

¹Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва

²Европейская молекулярная биологическая лаборатория, Гамбург, Германия

Интерактивная графическая система для анализа данных малоуглового рассеяния от полидисперсных систем

Представлен программный пакет для анализа данных малоуглового рентгеновского рассеяния от изотропных полидисперсных систем. Основная программа, *POLYSAS*, имеет графический интерфейс, вызывающий вычислительные модули из пакета *ATSAS* [1, 2] для проведения обработки данных и последующего анализа. *POLYSAS* позволяет обрабатывать большие наборы данных (зависящие от концентрации, температуры и времени), а также интерактивно изменять параметры при моделировании данных. Представление данных осуществляется с помощью программы *SASPLOT*, использующей графическую библиотеку *Winteracter*. Пакет позволяет рассчитывать распределения частиц по размерам, оценивать объемные доли и количество компонент в смесях с помощью линейных и нелинейных алгоритмов минимизации и сингулярного разложения матриц данных. Работа программы *POLYSAS* показана на примерах изучения олигомерных состояний растворов белков [3] и временной кинетики полимерных мицелл, используемых для доставки лекарств [4].

Список литературы

1. Konarev, P.V., Petoukhov, M.V., Volkov, V.V. Svergun, D.I.. J. Appl. Cryst. **39**, 277–286, (2006).
2. Petoukhov, M.V., Franke, D., Shkumatov, A.V., et al. J. Appl. Cryst. **45**, 342–350, (2012).
3. de Chiara, C., Rees, M., Menon, R.P., et al. Biophys J. **104**, 1304-1313, (2013)
4. Filippov, S.K., Franklin, J.M., Konarev, P.V. et al. Biomacromolecules, **14**, 4061-4070, (2013).

КУДАСОВ Ю.Б.¹, МАРКЕЛОВА М.Н.², МАСЛОВ Д.А.¹,
ПЛАТОНОВ В.В.¹, СУРДИН О.М.¹, КАУЛЬ А.Р.²
¹Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Саров
²Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Диэлектрический отклик сегнетоэлектрика LuFe_2O_4

Комплексная диэлектрическая проницаемость керамики LuFe_2O_4 была измерена при помощи зондирующего сигнала низкой амплитуды. Наблюдался релаксационный отклик дебаевского типа с сильной температурной зависимостью характерной частоты в соответствии с предыдущими исследованиями. Малое постоянное смещение порядка 10 В/см приводит к необычным изменениям диэлектрического отклика. При частотах выше характерной проводимость значительно возрастает при одновременном незначительном уменьшении действительной части диэлектрической проницаемости. В противоположном случае низких частот эффект постоянного смещения не сказывается. Для объяснения результатов предложена качественная модель диэлектрического отклика, предполагающая сегнетоэлектрическую природу диэлектрического отклика. В рамках модели отклик формируется прыжковой проводимостью и движением доменной стенки в сегнетоэлектрике. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 13-02-01194).

КУЗЬМИН В.И.¹, НИКОЛАЕВ С.В.^{1,2}, ОВЧИННИКОВ С.Г.^{1,2}

¹Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск

²Сибирский федеральный университет, Красноярск

Исследование влияния внешнего магнитного поля на поверхность Ферми и электронную структуру t-J модели в рамках кластерной теории возмущений

В рамках кластерной теории возмущений в представлении Х-операторов Хаббарда проведено исследование электронной структуры t-J модели при наличии внешнего магнитного поля [1]. Предварительные расчёты показали, что при нулевом магнитном поле электронная структура вблизи уровня Ферми в t-J модели хорошо согласуется с результатами модели Хаббарда для нижней подзоны [2]. При наличии внешнего магнитного поля было проанализировано влияние изменения магнитного порядка на спектральные свойства системы. Обнаружено немонотонное изменение законов дисперсии электронов с разными проекциями спина, плотности состояний и поверхности Ферми с ростом магнитного поля. Показано, что с ростом поля имеет место скачок намагниченности, сопровождающийся резким изменением электронной структуры, и величина критического магнитного поля сильно зависит от деталей электронной структуры. В частности, в идеализированной модели с учётом только ближайших перескоков критическое поле нереально велико, $h_c \approx 0.5J \approx 500$ Тл. Однако в более реалистичном для купратов случае с учётом перескоков на вторые соседи критическое поле резко понижается, $h_c \approx 0.03J \approx 30$ Тл. Как известно, квантовые осцилляции в купратах измеряют в полях $\sim 60-70$ Тл. Таким образом, электронная структура и поверхности Ферми, получаемые методами ARPES без магнитного поля, и поверхности Ферми в сильных полях по данным квантовых осцилляций, вообще говоря, могут относиться к разным электронным структурам, разделенным друг от друга обнаруженным нами скачкообразным изменением в магнитном поле.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 14-12-00061.

Список литературы

1. V.I. Kuz'min, S.V. Nikolaev, S.G. Ovchinnikov, Pis'ma v ZhETF **103**, (2016), в печати.
2. V.I. Kuz'min, S.V. Nikolaev, and S.G. Ovchinnikov, Phys. Rev. B **90**, 245104 (2014).

ЛАПИЦКИЙ Д.С., ФИЛИНОВ В.С.

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Области удержания заряженной наночастицы в электродинамической ловушке

С помощью метода броуновской динамики определены условия удержания заряженной наночастицы в электродинамической ловушке Пауля при атмосферном давлении в воздухе в широком диапазоне параметров, характеризующих как ловушку - напряженность и частота переменного напряжения -, так и удерживаемую частицу - заряд частицы и ее масса. В силу малых размеров частицы при расчете ее движения в воздухе необходимо учитывать поправку Милликена.

При моделировании учитывались следующие силы, действующие на наночастицу: силы столкновения с нейтральными частицами буферного газа, сила вязкости при движении частицы в вязкой газовой среде с учетом поправки Милликена C_k , силы взаимодействия с переменным полем ловушки, сила гравитации. Поведение наночастицы описывалась системой уравнений Ланжевена:

$$m_n \frac{d^2 r}{dt^2} = F_t(r) - 6\pi \frac{\eta}{C_k} r_n \frac{dr}{dt} + F^{Br} + F_{mg},$$

где m_n - масса наночастицы; r_n - радиус наночастицы; η - динамическая вязкость среды; $F_t(r)$ - сила, обусловленная внешними электрическими полями; F^{Br} - стохастическая дельта коррелированная сила, описывающая столкновение наночастицы с частицами буферного газа; F_{mg} - вес наночастицы.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 14-12-01235.

МАКАРОВ И.А.¹, КОЗЛОВ П.А.¹, ШНЕЙДЕР Е.И.¹,
ОВЧИННИКОВ С.Г.^{1,2}

¹*Институт физики им Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск*

²*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

Кластерная теория возмущений для систем с сильными электронными корреляциями и сильным электрон-фононным взаимодействием

Предложена кластерная теория возмущений для расчета зонной структуры и спектральной плотности поляронов при учете сильных межэлектронных и электрон-фононных взаимодействий (ЭФВ), названная нами «метод Р-ГТВ». Для многозонного аналога модели Хаббарда-Холстейна для ВТСП купратов на первом этапе делается точная диагонализация гамильтониана внутри каждой элементарной ячейки и определяются точные многоэлектронные и многофононные собственные состояния ячейки. На втором этапе на базисе этих состояний строятся операторы Хаббарда для поляронов и экситонов и вычисляются матричные элементы межячеечных перескоков и взаимодействий поляронов. На третьем этапе в приближении Хаббарда для межячеечных перескоков рассчитываются зонная структура поляронов и их спектральные функции для разных точек зоны Бриллюэна. Сильное электрон-фононное взаимодействие приводит к формированию локальных резонансов Франка-Кондона. Зонная структура поляронов формируется в результате гибридизации хаббардовских фермионов и резонансов Франка-Кондона [1]. Спектральный вес поляронов с ростом ЭФВ уменьшается на потолке валентной зоны и смещается внутрь зоны в область многочастичных резонансов, что приводит к росту ширины линии ARPES в купратах по сравнению со слабо коррелированными рутенатами. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 14-12-00061.

Список литературы

1. I. A. Makarov, E. I. Shneyder, P. A. Kozlov, and S. G. Ovchinnikov, *Phys.Rev.B* **92**, 155143 (2015)

МИНЕЕВ Н.А., АБИН Д.А., ПОКРОВСКИЙ С.В., ОСИПОВ М.А.,
ПОКРОВСКАЯ Е.М., РУДНЕВ И.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Влияние анизотропии критического тока на намагниченность стопок ВТСП лент

Современный прогресс в промышленном получении композитов второго поколения на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) позволяет использовать стопки из них в качестве магнитов захваченного потока. Значительная плотность критического тока, механическая прочность в сильных магнитных полях, а также лучшая теплопроводность ВТСП лент оставляют объемные сверхпроводники позади.

При моделировании намагниченности стопок ВТСП лент часто не учитывается анизотропия критического тока. В данной работе было проведено измерение зависимости критического тока от величины и направления магнитного поля в диапазоне углов от 0° до 180° и в диапазоне полей от 0 до 8 Тл. Далее проводилось моделирование методом конечных элементов намагниченности стопок высотой от 1 ленты до 30 штук без учета и с учетом анизотропии критического тока.

Влияние анизотропии материала оказалось максимальным в малых полях (в абсолютных значениях), однако при достижении некоторого внешнего поля относительная разница выходит на постоянную величину. Величины этих полей были определены для каждой стопки.

Для контроля расчета были экспериментально измерены петли намагниченности для всех моделированных образцов, полученные результаты подтвердили правильность проведенного численного моделирования.

МИХАЙЛОВ Б.П.¹, КОЛОКОЛЬЦЕВ В.Н.¹, МИХАЙЛОВА А.Б.¹,
МИНЕЕВ Н.А.², ШАМРАЙ В.Ф.¹, КРУТСКИХ Н.А.³, АЛИБЕКОВ С.Я.³

¹ *Институт металлургии и материаловедения им.А.А.Байкова РАН, Москва*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

³ *Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола*

Структура и электрофизические свойства ВТСП лент, подвергнутых механическим ударам и термообработке

Изучено влияние механических ударов различной интенсивности на структуру и электрофизические свойства Bi-2223 лент, приготовленных по технологии «порошок в трубе». Воздействие ударов по поверхности ВТСП лент приводит к дроблению зерен и разрушению межзеренных границ. После ударов сверхпроводящие параметры в зависимости от энергии ударов в различной степени деградируют. При этом увеличивается ширина сверхпроводящего перехода, снижаются критический ток и замороженное магнитное поле. Термообработка лент при 835°C после нанесения ударов приводит к повышению T_c на 4-5 К по сравнению с исходной лентой и уплотнению структуры ВТСП прослоек. Критический ток монотонно растет с увеличением продолжительности отжига.

МОРОЗ А.Н., МАКСИМОВА А.Н.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Моделирование двумерных вихревых структур в слоистых сверхпроводниках второго рода

Предложен метод математического моделирования на основе метода Монте-Карло для расчета процессов перемагничивания сверхпроводников второго рода внешним магнитным полем. Проведены исследования девяти различных сверхпроводящих образцов с параметрами, соответствующими экспериментальным данным. Получены кривые намагниченности дефектных и бездефектных образцов с учетом и без учета границы при различных температурах. Определены значения верхнего критического поля для каждого материала. Найдена зависимость величины остаточной намагниченности от концентрации дефектов и характерных длин сверхпроводника. Были определены образцы с наилучшими и наихудшими сверхпроводящими свойствами. Расчетным путем оценены минимальные значения концентрации дефектов, при которых для данного материала будет наблюдаться остаточная намагниченность. Приведены усредненные вихревые конфигурации некоторых образцов при различных температурах. Показано наличие в сверхпроводнике вихревой треугольной решетки в условиях низких температур. Приведены расчетные оценки температур плавления вихревых решеток для разных образцов.

MOTOVILOV K.A.¹, ZHUKOVA E.S.^{1,2,3}, SAVINOV M.⁴, PRONIN A.A.²,
BEDNYAKOV P.⁴, PROKHOROV A.S.^{1,2}, GAGKAEVA Z.V.¹,
SIDORUK K.V.⁵, GREBENKO A.K.¹, KADYROV L.S.¹,
BARZILOVICH P.YU.¹, GRINENKO V.⁶, TORGASHEV V.⁷, DRESSEL M.³,
GORSHUNOV B.P.^{1,2,3}

¹*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region*

²*A.M. Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow*

³*1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany*

⁴*Institute of Physics AS CR, Praha 8, Czech Republic*

⁵*Scientific Center of Russian Federation Research Institute for Genetics and Selection
of Industrial Microorganisms, Moscow*

⁶*Institute for Metallic Materials, IFW Dresden, Dresden, Germany*

⁷*Southern Federal University, Rostov-on-Don*

Universal dielectric responses in proteins

The remarkable peculiarity of the high-frequency dielectric response of disordered materials is universal frequency-temperature ($\nu - T$) behavior of the dynamical conductivity $\sigma_{ac}(\nu, T)$. In the presence of quasi-free charge carriers, $\sigma_{ac}(\nu, T)$ demonstrates the Universal Dielectric Response (UDR) $\sigma_{ac} = \sigma_{dc} [1 + (\nu/\nu_{co})^s]$ (ν_{co} is the frequency, where the frequency-independent Drude regime changes to the hopping regime $\sigma_{ac} \sim \nu^s$, $s < 1$). Another universality is observed at relatively low temperatures and high enough frequencies; here the imaginary dielectric constant is nearly frequency independent $\epsilon'' \approx \text{const}$ (the regime of nearly constant loss, NCL). We combined spectroscopic techniques and experience in developing models of dielectric universalities in *inorganic* solids in order to study the molecular and charge dynamics in various biological materials. Using several spectroscopic techniques, we have measured broad-band ($10^0 - 10^{13}$ Hz) dielectric response of extracellular filaments of *Shewanella oneidensis* MR-1 (pili) filaments, bovine heart cytochrome C (CytC) and bovine serum albumin (BSA), at $T = 5$ K-300 K. The spectra of pili revealed both UDR and NCL universalities. We associate the high-temperature Drude-type conductivity with the ionic transport through liquid bound water; it obeys the scaling relation $\sigma(\nu)/\sigma_{dc} = F(\nu\sigma_{dc}^{-1}T^{-1})$. At helium temperatures and at terahertz frequencies, the signatures of the boson peak were detected. The temperature behavior of the heat capacity of pili and CytC also demonstrated signs of the boson peak and, below 2 K, signs of a glass phase. The spectra of CytC and BSA show NCL regimes within the range of room temperatures down to liquid helium temperatures. The results were analyzed from the viewpoint of microscopic models of dynamical response developed for inorganic materials.

МУРАШКИН Д.А.^{1,2}, СААКЯН С.А.¹, САУТЕНКОВ В.А.^{1,3},
ЗЕЛЕНЕР Б.Б.^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

³Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва

Квантовый дефект D-состояния для атомов лития-7

С помощью регистрации изменения резонансной флуоресценции атомов в магнито-оптической ловушке при непрерывном двухступенчатом возбуждении ридберговских состояний ультрафиолетовым лазером [1], который перестраивается по частоте, была осуществлена диагностика энергетических спектров высоковозбужденных ультрахолодных атомов. Получена величина квантового дефекта для D-состояний атомов лития-7 $\delta=0.00192\pm 0.00017$.

Работа поддержана грантами Президента РФ (№ МК-4092.2014.2, НШ-6614.2014.2), Исследовательским Центром ФАИР (ФАИР, Россия), РФФИ (№ 14-02-00828), Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Исследование вещества в экстремальных состояниях».

Список литературы

1. V. A. Sautenkov, S. A. Saakyan, E. V. Vilshanskaya, B. B. Zelener, B. V. Zelener, J. Russ. Laser Res., **36** (2), 193 (2015).

МУРЛИЕВА Ж.Х.¹, АЛИХАНОВ Н.М.-Р¹., ПАЛЧАЕВ Д.К.¹,
АХМЕДОВА.К².

¹*Дагестанский государственный университет, Махачкала*
²*Институт физики им. Х.И. Амирханова, ДНЦ РАН, Махачкала*

Технология получения и свойства наноструктурированной керамики BiFeO_3

Разработана технология получения наноструктурированной керамики BiFeO_3 методом искрового плазменного спекания из нанопорошков, полученных сжиганием нитрат - органических прекурсоров.

При получении микрокристаллического, тем более нанокристаллического BiFeO_3 , неизбежно возникают фазы $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$. В нанокристаллическом состоянии побочные фазы, обычно, присутствуют в рентгеноаморфном состоянии. С повышением температуры эти фазы кристаллизуются. Варьируя параметрами технологии синтеза и термообработки порошка, нам удалось создать условия для перехода побочных фаз, находящихся в аморфном состоянии, в фазу BiFeO_3 . Это позволило получить наноструктурированную керамику феррита висмута методом искрового плазменного спекания. Размер наночастиц при таком спекании изменялся от ~35 до 50 нм, что ниже размера (62 нм) антиферромагнитной циклоиды.

ОСИПОВ М.А., ПОКРОВСКИЙ С.В., АНДРЕЕВ А.О., МИНЕЕВ Н.А.,
АБИН Д.А., РУДНЕВ И.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Международная лаборатория сильных магнитных полей и низких температур,
Вроцлав, Польша*

Исследование гистерезисных потерь в ВТСП лентах после лазерного филаментирования

Было проведено исследование возможностей снижения потерь на переменном токе в ВТСП лентах фирмы СуперОкс шириной 4 мм. Филаментирование было проведено путем лазерной резки готовых лент с медным покрытием. Также для сравнения были проведены исследования исходных образцов и промышленных образцов, филаментирование которых было проведено при помощи химического травления ВТСП слоя лент до покрытия их медью

Потери были получены из кривых намагничивания, измеренных на вибрационном магнитометре в диапазоне температур – от 4К до 77К. Наряду с потерями, были исследованы транспортные характеристики лент, исследовано влияние филаментации на величину критического тока.

Был проведен анализ полученных результатов и сравнение данных для разных типов образцов.. Показана практическая возможность существенного уменьшения значения энергетических потерь за счет филаментирования лент.

ПАЛЧАЕВ Д.К., ГАДЖИМАГОМЕДОВ С.Х., МУРЛИЕВА Ж.Х.,
РАБАДАНОВ М.Х.

Дагестанский государственный университет, Махачкала

Технология получения наноструктурированной керамики $YBa_2Cu_3O_{7-8}$

Разработана технология получения наноструктурированной керамики $YBa_2Cu_3O_{7-8}$ со свойствами, отличающимися от свойств микрокристаллической керамики, получаемой по обычной технологии. Проблема решалась путем варьирования количеством «топлива» при сжигании нитрат - органических прекурсоров и термообработки получаемых порошков.

Показано, что в результате наноструктурирования, можно получить оптимально насыщенную кислородом керамику с необходимой дисперсностью и плотностью, без связующих добавок, в один этап спекания.

ПОКРОВСКИЙ С.В.^{1,2}, ОСИПОВ М.А.^{1,2}, АБИН Д.А.^{1,2},
МИНЕЕВ Н.А.^{1,2}, РУДНЕВ И.А.^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Международная лаборатория сильных магнитных полей и низких температур,
Вроцлав, Польша

Магнитные и левитационные свойства многослойных стопок ВТСП лент

В докладе представлены результаты исследования магнитных свойств стопок ВТСП лент 12x12 мм второго поколения (от 10 до 100 лент в стопке) в интервале температур 4.2-77 К и магнитных полей до 12 Тл. С помощью вибрационного магнитометра и холловской магнитометрии были измерены кривые намагничивания и получены релаксационные характеристики стопок лент. Выполнены измерения зависимости силы левитации стопок от расстояния между постоянным магнитом и сверхпроводником в режимах охлаждения в нулевом внешнем магнитном поле (ZFC) и охлаждении во внешнем магнитном поле (FC). Показано наличие оптимальной конфигурации стопки и температурных параметров для достижения максимальной силы.

Проведены исследования устойчивости левитационной системы при латеральных сдвигах, поведения стопки ВТСП лент в скрещенных магнитных полях различной амплитуды и частоты. Обнаружена высокая стабильность левитационных характеристик. Предложено объяснение полученных результатов. Проведено сравнение с характеристиками объемных высокотемпературных сверхпроводников.

Также исследованы динамические параметры системы при возникновении колебаний различной амплитуды и частоты. Показана устойчивость левитационной системы и возможность применения для широкого круга задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания № 3.1540.2014/К МОН РФ.

ПОПОВ В.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Структурообразование и фазовый переход «флюорит → пирохлор» в системах «Ln₂O₃ - MO₂»

Бинарные соединения и твердые растворы, образующиеся в двухкомпонентных системах «Ln₂O₃ - MO₂», представляют собой большую группу неорганических веществ, интересных как с научной (фазовый переход «порядок-беспорядок», магнитные фрустрированные структуры), так и с практической точки зрения (теплозащитные и нейтронопоглощающие материалы, ионные проводники, матрицы для иммобилизации радионуклидов и т.д.). Состав и структура образующихся материалов, определяющие области их применения и эксплуатационные свойства, зависят от многих факторов (вида катионов, их содержания, отношения радиусов катионов $R_{Ln^{3+}} / R_M^{4+}$, типа синтеза, температуры и др.). Целью данной работы было изучение влияния условий синтеза на особенности кристаллизации сложных оксидов Ln₂M₂O₇, синтезируемых отжигом аморфных прекурсоров, а также характера дальнейшего катионного и анионного упорядочения кристаллической и локальной структуры с помощью уникального комплекса современных локально-чувствительных методов структурного анализа, основанных на взаимодействии синхротронного излучения с конденсированными средами, спектроскопии комбинационного рассеяния и других методов физико-химического анализа.

Установлено, что для соединений Ln₂M₂O₇ (Ln = La - Tb) наблюдаемая последовательность образования фаз «аморфная → флюорит $Fm\bar{3}m$ → пирохлор $Fd\bar{3}m$ » находится в соответствии с правилом ступенчатых переходов Оствальда. Обнаружено, что температура кристаллизации цирконатов и гафнатов РЗЭ уменьшается, а температура фазового перехода наоборот увеличивается с уменьшением радиуса катионов Ln³⁺. Сделан вывод о том, что в исследованных образцах упорядочение пирохлорного типа первоначально происходит в отдельных нанодоменах, распределенных в матрице хорошо закристаллизованного флюорита. Было показано, что все исследованные образцы, включая рентгеноаморфные прекурсоры, характеризуются ярко выраженной неэквивалентностью параметров локального окружения катионов Ln³⁺ и M⁴⁺. При этом процесс фазового перехода «флюорит → пирохлор» сопровождается существенным изменением локальной структуры соединений Ln₂M₂O₇. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-22-00098).

ПОПОВ В.В.^{1,2}, МЕНУШЕНКОВ А.П.¹, КАШУРНИКОВА О.В.¹,
ЯСТРЕБЦЕВ А.А.¹, ЗУБАВИЧУС Я.В.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Изменение локальной и кристаллической структуры La₂Hf₂O₇ при фазовом переходе «флюорит-пирохлор»

Изучение закономерностей фазового перехода «порядок (пирохлор) – беспорядок (флюорит)» в соединениях Ln₂M₂O₇ (Ln - РЗЭ; М – Zr, Hf) является важной научной и практической задачей. Среди соединений данной группы La₂Hf₂O₇ имеет максимальную склонность к образованию пирохлорной структуры. Целью данной работы было изучение особенностей локальной структуры порошков La₂Hf₂O₇ в процессе эволюции от аморфного до микрокристаллического состояния.

Порошки La₂Hf₂O₇ были синтезированы изотермическим отжигом (600 – 1400°C) смешанного гидроксида LaHf(OH)₇·nH₂O, полученного методом соосаждения из растворов солей [1]. Кристаллическая и локальная структуры образцов были исследованы с помощью рентгеновской дифракции синхротронного излучения и спектроскопических методов (XAFS-спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния).

Было установлено, что при низких температурах отжига (≤ 700°C), когда образцы сохраняют аморфную структуру, начинается формирование нанокристаллитов флюорита, локальная структура которых искажена из-за существенного различия радиусов первых координационных сфер (КС) La-O и Hf-O. В области 900-1000°C наблюдается формирование структуры пирохлора в виде нанодоменов внутри флюоритной матрицы, приводящее к существенному изменению параметров локальной структуры: началу процессов катионного и анионного упорядочения, расщеплению КС La-O на две составляющих и т.д.. Увеличение температуры ≥ 1200°C практически не приводит к дальнейшему изменению локальной структуры образцов, что свидетельствует о завершении процесса образования пирохлорной структуры в La₂Hf₂O₇. Данные XANES-спектроскопии качественно подтверждают изменение симметрии локального окружения катионов металлов при переходе «флюорит – пирохлор».

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-22-00098).

Список литературы

1. Попов В.В., Менушенков А.П., Зубавичус Я.В. *и др.* ЖНХ, **60** (1), 18, (2015).

ПОПОВ В.В.^{1,2}, ЯСТРЕБЦЕВ А.А.¹, МЕНУШЕНКОВ А.П.¹,
КОЛЫШКИН Н.А.², СВЕТОГОРОВ Р.Д.², ЗУБАВИЧУС Я.В.²
¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
²НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Особенности кристаллической и локальной структуры соединений, образующихся в системе «Dy₂O₃-ZrO₂»

Соединения Ln₂Me₂O₇ (где Ln - РЗЭ; Me – Ti, Zr, Hf) представляют собой большую группу неорганических веществ, интересных как с научной, так и практической точки зрения. При этом наибольшее внимание уделяется системам «Ln₂O₃ - MeO₂» с отношением радиусов катионов $R_{Ln}^{3+} / R_{Me}^{4+} \sim 1,46$, в которых возможно получение материалов с кристаллической структурой как пирохлора, так и флюорита [1].

Целью данной работы было исследование с помощью уникального комплекса дифракционных и спектроскопических методов особенностей процессов образования и эволюции кристаллической и локальной структуры сложных оксидов, образующихся в системе «Dy₂O₃-ZrO₂» ($R_{Dy}^{3+} / R_{Zr}^{4+} = 1,426$) в ходе изотермического отжига аморфных прекурсоров и последующего компактирования синтезированных порошков с получением керамических таблеток.

Впервые в порошках Dy₂Zr₂O₇ методом дифракции синхротронного излучения было обнаружено образование катионной подрешетки пирохлорного типа. Использование спектроскопии комбинационного рассеяния подтвердило формирование анионного упорядочения пирохлорного типа в кристаллической структуре керамических таблеток Dy₂Zr₂O₇. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о формировании нанодоменов пирохлорного типа в матрице хорошо закристаллизованного флюорита. Ранее аналогичное явление было обнаружено для Dy₂Hf₂O₇ ($R_{Dy}^{3+} / R_{Hf}^{4+} = 1,446$) [2].

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант 14-22-00098).

Список литературы

1. Попов В.В., Зубавичус Я.В., Менушенков А.П. *и др.* ЖНХ, **59** (4), 431, (2014).
2. Попов В.В., Зубавичус Я.В., Менушенков А.П. *и др.* ЖНХ, **61** (2016), в печати.

РОМАНОВ Р.И.¹, ФОМИНСКИЙ В.Ю.¹, СОЛОВЬЕВ А.А.¹,
ГНЕДОВЕЦ А.Г.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

Получение и применение наночастиц для модифицирования тонкопленочных покрытий MoSe_x

Определены условия эффективного образования наночастиц при лазерной абляции мишени MoSe_2 . Выявлены особенности изменения химического состава и морфологии поверхностного слоя мишени после импульсного лазерного облучения. Исследованы закономерности движения эрозионного лазерного факела из мишени MoSe_2 в инертном буферном газе (гелии) в диапазоне давлений 5 – 30 Па и установлены размеры области торможения атомарной компоненты. Рассмотрена возможность применения программного пакета SRIM для прогнозирования области термализации атомарного потока в разреженном буферном газе. Установлены особенности роста тонкопленочных покрытий MoSe_x на подложках, установленных в области эффективного торможения атомарного потока и за ее пределами, т.е. в области преимущественного осаждения наночастиц. Исследованы трибологические свойства нанокompозитных твердосмазочных покрытий MoSe_x , содержащих шарообразные наночастицы молибдена.

САВЧЕНКОВ П.С.^{1,2}, АЛЕКСЕЕВ П.А.^{2,1}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Квазиупругое рассеяние нейтронов на промежуточновалентном соединении SmB_6

Проанализирована взаимосвязь магнитного формфактора, определяющего зависимость интенсивности магнитного рассеяния нейтронов и характера измеряемых в эксперименте спектров. На примере «классической» промежуточновалентной системы SmB_6 обсуждаются возможные проявления f -электронной нестабильности в составе и особенностях спектральной функции динамического магнитного отклика. Получены выражения для представления формфактора квазиупругой спектральной составляющей, позволяющие проанализировать влияние таких факторов, как эффективная температура электронной подсистемы и средняя валентность, на вид зависимости формфактора от передачи импульса при рассеянии нейтронов. Оказалось, что качественное отличие формфактора квазиупругого рассеяния в SmB_6 от формфакторов, полученных из анализа других дифракционных и спектроскопических нейтронных экспериментов, обусловлено вкладом от конфигурации f^5 , который в наибольшей степени присущ именно квазиупругой составляющей спектральной функции иона Sm в промежуточновалентном состоянии.

Работа поддержана грантом РФФИ 14-02-00272

САННИКОВ И.И., БОЛЫЧЕВЦЕВ С.В., ИВАНОВА.А.,
КУЗНЕЦОВ А.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., ЧУРКИН О.А.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Две компоненты критического тока пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Два типа дефектов характерны для высокотемпературных сверхпроводников: точечные в сверхпроводящих Cu-O плоскостях, например, кислородные вакансии, и объемные в виде примесных фаз, образующихся в процессе синтеза, например, наночастицы Y_2O_3 в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Дефекты обоих типов являются эффективными центрами пиннинга вихрей с существенно различными энергиями. Как показал теоретический анализ, в критическом состоянии это приводит к наличию двух компонент тока, различающихся как анизотропией так и температурными и полевыми зависимостями [1].

Выполненные эксперименты по намагничиванию пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ подтверждают наличие двух компонент критического тока. Пиннинг на точечных дефектах характеризуется слабой чувствительностью к магнитному полю. Ввиду сильной экспоненциальной температурной зависимости криттока он существенен только при низких температурах $T < 30$ К. При высоких температурах $T > 30$ К преобладает объемный пиннинг со степенной температурной зависимостью криттока. Анализ данных релаксации намагниченности пленок показал, что не только критток, но и энергия пиннинга начинают уменьшаться в слабом магнитном поле $H \sim 1$ кЭ.

Следует отметить, что механизмы пиннинга на точечных и объемных дефектах, по-видимому, тоже различаются. Так как концентрация кислородных вакансий довольно велика, $\sim 0.3-0.5$ ат. %, для них можно ожидать коллективный пиннинг с упругой деформацией вихревой решетки [2,3]. Объемные дефекты, напротив, характеризуются сильным пиннингом, вызывающим пластические деформации [1,4]. Таким образом, при низких температурах, когда эффективны оба типа дефектов, оба механизма пиннинга влияют на формирование критического состояния.

Список литературы

1. Yu. N. Ovchinnikov and B. I. Ivlev, Phys. Rev. B, **43**, 8024 (1991)
2. G. Blatter *et al.*, Rev. Mod. Phys., **66**, 1125 (1994)
3. G. Blatter *et al.*, Phys. Rev. Lett., **92**, 067009 (2004)
4. C. J. van der Beek *et al.*, Phys. Rev. B, **66**, 024523 (2002)

СИНЧЕНКО А.А.^{1,2,3}, P. LEJEY³, P. MONCEAU³

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

³Institut NEEL, CNRS, Grenoble, France

Взаимодействие ортогональных волн зарядовой плотности в квазидвумерном соединении $EgTe_3$.

Квазидвумерные соединения RTe_3 ($R=Y, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Tb, Ho, Dy, Er, Tm$) имеют слоистую слабо орторомбическую кристаллическую структуру. Все соединения данной серии претерпевают переход в состояние с однонаправленной несоизмеримой волной зарядовой плотности (ВЗП) ниже температуры $T_{p1} = 240-450K$ [1]. Данные соединения уникальны тем, что в них впервые была продемонстрирована возможность коллективного движения ВЗП в квазидвумерных структурах [2,3]. В соединениях с тяжелыми R элементами (Tb, Ho, Dy, Er) при более низких температурах ($T_{p2} < 170 K$) наблюдается второй пайерлсовский переход в состояние с ВЗП, которая характеризуется волновым вектором, ортогональным волновому вектору высокотемпературной ВЗП и по модулю равным ему [1]. Вопросы: являются ли данные зарядовые упорядочения независимыми, и возможно ли образование чередующихся ВЗП типа “паркетной” структуры? - оставались открытыми. В настоящей работе наблюдалось коллективное движение как высокотемпературной, так и низкотемпературной ВЗП в соединении $EgTe_3$, с температурами $T_{p1} = 270 K$ и $T_{p2} = 165 K$. Для обоих состояний данное движение оказывается возможным только в направлении соответствующего волнового вектора ВЗП. Показано, что образование низкотемпературной ВЗП приводит к резкому увеличению порогового поля скольжения высокотемпературной ВЗП, что указывает на существование сильного взаимодействия между ними. Характерной особенностью обеих ВЗП является аномально малый вклад скольжения ВЗП в электронный транспорт.

Работа поддержана РФФИ (14-02-01126-а) и Программами РАН.

Список литературы

1. N. Ru, *et al.*, Phys. Rev. B **77**, 035114 (2008)
2. A.A.Sinchenko, *et al.*, Phys. Rev. B **85**, 241104(R) (2012)
3. A.A. Sinchenko, *et al.*, Solid State Comm., **188**, 67 (2014)

СОЛОВЬЕВ А.А., ФОМИНСКИЙ Д.В., РОМАНОВ Р.И.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Каталитические свойства гибридных наноструктур WSe₂/WO_{3-y} в электрохимической реакции выделения водорода

В настоящее время 2D (двухмерные структуры) и Q2D (квази-2D: структуры из нескольких молекулярных слоев) материалы из группы дихалькогенидов и оксидов переходных металлов привлекают большое внимание исследователей из-за их недавно обнаруженных очень хороших каталитических свойств для активирования электрохимической реакции выделения водорода в растворе кислот. Относительная дешевизна этих материалов позволяет рассматривать их как реальную альтернативу применяемым сейчас катализаторам из металлов платиновой группы. Установлено, что импульсное лазерное осаждение тонкой пленки селенида вольфрама с последующей термической обработкой при 550 °С в смеси газов Ag+O₂ вызывает формирование гибридной структуры, состоящей из ультратонких пластинок WSe₂ и WO_{3-y}. Структурные и размерные характеристики нанопластинок, нанесенных на микрокристаллический графит, обеспечивали эффективное протекание электрохимической реакции выделения водорода в кислотном растворе, увеличивая катодный ток в ~7 раза при потенциале –100 мВ и понижая наклон тафельской зависимости с 340 до 90 мВ.

СОТНИКОВА А.П., РУДНЕВ И.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Влияние температуры на механизмы пиннинга в ВТСП композитах

В работе проведено исследование механизмов пиннинга в высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) композитах. В качестве образцов использовались ВТСП ленты второго поколения с искусственными центрами пиннинга на магнитной (American Superconductors) и немагнитной (SuperPower) подложках, а также ленты без искусственных центров пиннинга фирмы Sunam.

Критический ток и сила пиннинга были рассчитаны из кривых намагниченности, которые измерялись с помощью вибрационного магнитометра в диапазоне температур 4,2 - 77 К и в магнитном поле до 14 Тл.

Для определения механизма пиннинга в образце были построены зависимости силы пиннинга от магнитного поля, используя модель Дью-Хугаи метод Крамера. Полученные зависимости демонстрирует существенное влияние температуры на эффективность различного типа пиннинга: объемный, поверхностный, точечные дефекты, протяженные дефекты. Показано, что при низких температурах эффективность центров пиннинга у всех образцов примерно одинакова, но с ростом температуры очевидны расхождения в свойствах и эффективности центров пиннинга, а также различия в механизмах пиннинга. Продемонстрировано влияние механизма пиннинга на величину энергетических потерь в ВТСП лентах.

Работа выполнена в НИЯУ МИФИ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ: соглашение №14.575.21.0050 (RFMEFI57514X0050).

СЫЧУГОВ В.В.¹, ДЕГТЯРЕНКО П.Н.^{1,3}, КРУГЛОВ В.С.^{1,2},
ШАВКИН С.В.¹

¹НИИЦ «Курчатовский Институт», Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

³Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Изменение критического тока и показателя степени вольт-амперных характеристик коммерческих ВТСП-2 лент во внешних магнитных полях различной ориентации

При создании высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения (ВТСП-2) особое внимание уделяется вопросу изменения критического тока и показателя степени вольт-амперных характеристик во внешних магнитных полях различной ориентации. Именно от этих параметров зависит то, в какой из областей конкретных применений будет использоваться ВТСП-2. Благодаря развитию технологии производства ВТСП-2, стало возможно создание проводников с повышенными токонесущими параметрами как за счет улучшения остроты текстуры сверхпроводящего покрытия, так и за счет внедрения искусственных центров пиннинга. Более того, на сегодняшний день требуется развитие подходов в описании механизма пиннинга в ВТСП-2. Именно по этой причине в настоящей работе проведено экспериментальное исследование влияния внешнего магнитного поля на изменение критического тока и показателя степени ВАХ проводников, полученных по технологиям MOCVD и PLD. Для исследований были отобраны коммерческие образцы производства компании SuperPower (MOCVD, с искусственными центрами пиннинга) и Bruker (PLD, произведенных на пилотной линии НИИЦ «Курчатовский институт»). Отмечено, что во внешнем магнитном поле 1 Тл соотношение $I_c(B||c)/I_c(B||ab) \sim 1.5-2$, а угловое распределение критического тока в зависимости от направления магнитного поля в диапазоне 0-180 градусов обладает двумя ярко выраженными локальными максимумами в направлении магнитного поля параллельном оси c и плоскостям ab для лент, произведенных, как по технологии PLD, так и по технологии MOCVD.

Mossbauer spectroscopy studies of aluminosilicate reagent interaction with dissolved iron in water

Structure and properties of nanoparticles that determine a wide range of applications, is still the subject of studies of condensed matter physics. Since many of the nanoparticles contain iron, Mössbauer spectroscopy of ^{57}Fe nuclei is one of the most useful method for investigations last ones.

The aim of this work is to reveal the results of the interaction of the aluminosilicate coagulant -flocculante with iron compounds contained in the water. To do this Mössbauer spectroscopy is used which allows to determine the valence and magnetic state of iron atoms as in crystalline and as in amorphous materials. The state of iron atoms is studied in the reacted sediment. Water was taken from Moscow region. The reagent was mixed with the studied water. In the process of the reagent interaction with the contaminated water the precipitates are formed. The precipitate was dried (they have taken the form of nanocrystals), and then the Mössbauer absorbers was prepared for measurement from these precipitates. Mössbauer spectra were obtained in the transmission mode at room temperature and 77 K. The spectra have the shape of superposition of lines of hyperfine quadrupole splitting of paramagnetic phases and lines of hyperfine magnetic splitting of magnetic phases. The main share of 86% of the iron is in the paramagnetic phase in the trivalent state (isomer shift $IS = 0.34 \pm 0.02$ mm/s, quadrupole splitting $QS = 0.78 \pm 0.02$ mm/s) and 13% in the ferrous state in the paramagnetic phase ($IS=1.14 \pm 0.02$ mm/s, $QS = 2.38 \pm 0.02$ mm/s). Before the reaction of aluminosilicate reagent with iron the iron was in the ferrous state. The measurements at $T = 77$ K showed that, along with the existence of the paramagnetic phase, a small amount of magnetic phase in which the iron is in the trivalent and in the divalent states. This indicates that in the precipitates the iron is in superparamagnetic particles. The calculations were made to estimate the size of these particles. They have $d \sim 3.7$ nm.

This study was supported by the RF Ministry of Education and Science, agreement no. 14.575.21.0086, unic project identifier RFMEFI57514X0086

ФЕТИСОВА А.И.¹, КИРТАЕВ Р.В.¹, МАТВЕЕВ Ю.А.^{1,2}, НЕГРОВ Д.В.¹,
ЗЕНКЕВИЧ А.В.^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Наноразмерные электронные синапсы на основе HfO_2 в геометрии кросс-баров

Даже самые мощные современные компьютеры, основанные на классической архитектуре фон-Неймана, не в состоянии конкурировать с мозгом животных в решении многих задач реальной жизни с точки зрения энергопотребления и быстродействия. Это связано с тем, что мозг животных организован принципиально иначе по сравнению с цифровой архитектурой вычислений: ключевой особенностью, определяющей возможность параллельной обработки входящей информации, является исключительно высокая плотность взаимных связей между нейронами (синапсов), которые меняют свои функциональные свойства в процессе прохождения входящих сигналов от органов чувств. Из-за отсутствия компактных элементов, имитирующих биологические синапсы, создание нейроморфных вычислительных систем было практически нереализуемо. Вскоре после реализации т.н. мемристоров выяснилось, что они могут быть использованы в качестве прототипов «электронного синапса». Более того, компактные (~10 нм) размеры и возможность интеграции мемристоров в 3D-матрицы в т.н. геометрии «кросс-бар» потенциально позволяют воспроизводить архитектуру мозга. В данной работе представлены результаты по созданию на основе структур Pt/HfO₂ (d=3-5 нм)/TiN и функционализации матриц наноразмерных мемристоров в геометрии «кросс-бар» с латеральными размерами вплоть до 40x40 нм². Изготовленные устройства демонстрируют устойчивый эффект обратимого переключения электрического сопротивления. С помощью разработанных методик на созданных элементах были эмулированы функциональные свойства пластичности биологических синапсов, такие как долговременное возбуждение/торможение и временная пластичность. Полученные результаты позволяют заключить, что такие матрицы мемристорных устройств могут быть использованы для создания прототипов нейроморфных чипов.

Phase changes of iron near surface layers under argon ion irradiation

The influence of Ar^+ ion beam with a broad energy spectrum (the average ion energy in the beam $\langle E \rangle = 10$ keV, the beam current is $j = 20\text{-}30 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$) on iron atoms state was studied. The dose interval was $(1\div 10)\cdot 10^{18}$ ion/cm². Iron was as thin layer on the surface and as alloying element in alloys such as E635. Conversion electron Mössbauer spectroscopy (CEMS) has been used to investigate phase changes on the surface of alloy specimens. Mössbauer spectroscopy in transmission mode has been used to obtain integral information from all thicknesses. Iron layers on alloy samples have the spectra of hyperfine magnetic splitting of $\alpha\text{-Fe}$. It means that iron layers thicknesses are more than 200 Å. Irradiation by Ar^+ ions leads to a change of spectral shape. The lines of quadrupole splitting of paramagnetic phases appear. This is the consequence of partial evaporation of iron atoms from the surface and hammering of some iron atoms into the alloy.

Irradiation of alloys E635 and zircaloy-2 (Zry-2) by the same beam of Ar^+ leads to a change in the ratio of intermetallic compounds in the near surface layers. In initial specimens of Zry-2 iron is in the form of intermetallic compounds such as $\text{Zr}(\text{Fe},\text{Cr})_2$ with different crystalline lattices (C14, C15) $\text{Zr}_2(\text{Fe},\text{Ni})$, but in E635 iron forms intermetallic compounds $(\text{Zr}, \text{Nb})\text{Fe}_2$, $(\text{Zr}, \text{Nb})_2\text{Fe}$ and Zr_3Fe [1]. Under irradiation the relative concentrations of these compounds are changed in the near-surface layers. There are the transitions from compound $\text{Zr}(\text{Fe},\text{Cr})_2$ to the compound $\text{Zr}_2(\text{Fe}, \text{Ni})$, and from $(\text{Zr}, \text{Nb})_2\text{Fe}$ to the $(\text{Zr}, \text{Nb})\text{Fe}_2$. The changes of relative concentrations of intermetallic compounds were detected on the side opposite to irradiated side of the sample.

References

1. Filippov V. P., Petrov V. I., Shikanova Yu. A., Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics., **69**, 1668-1672 (2005)

Mössbauer spectroscopy possibilities in investigation of the phase changes in alloy near surface layers under plasma, optic and ion irradiation influence

Mössbauer spectroscopy data on optic, plasma and ion irradiation influence on iron state are analyzed. It was shown the formation of new iron phases under plasma interaction with surface of steel samples [1]. Conversion electron Mössbauer spectroscopy (CEMS) has shown the appearance the lines of paramagnetic austenite lines on spectra. The intensities of these lines decreased with increasing of deepness and at the deepness ~20 microns are disappeared. This means formation of austenite phase up to 20 micron from surface of sample.

The optic irradiation of thin iron layers on Al and V samples results into formation of iron solid solutions of these elements in iron [2]. Laser optical irradiation allows obtain solid solutions with great solubility of other elements. The interaction of accelerated ions of complex gases with thin iron layers (400-500 Å) allows to develop the method of determining the gas molecular state. These iron layers can be used as gas sensors. The method is demonstrated with gases ammonia and hydrazine. The gases NH_3 (liquid ammonia) and N_2H_4 (Hydrazine), which have identical elements but a different chemical state, given different CEMS spectra. For NH_3 the parameters of the new lines are the following: isomer shift $\text{IS} = 0.325 \pm 0.025$ mm/s, quadrupole splitting $\text{QS} = 0.969 \pm 0.025$ mm/s. For the case N_2H_4 $\text{IS} = 0.472 \pm 0.030$ mm/s, $\text{QS} = 0.885 \pm 0.030$ mm/s. The iron atoms in last case are in another state. QS decreased, IS is rather displaced to the area of the bivalent state of iron. As there are the same atoms in both compounds, namely atoms of hydrogen and nitrogen, distinctions can be explained only with the distinction in interaction of different molecules. Thus, Mössbauer spectroscopy is very useful method for investigations of different irradiation influence on alloys.

References

1. V. P. Filippov and A. V. Bokov.. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, **79** (8), 1031– 1035 (2015)
2. I.I. Ali-Zade *et. al.* Voprosi prikladnoy yadernoy fiziki, M., Energo-atomizdat, 1987, pp. 75-81 (Rus)

ХУББУТДИНОВ Р.М.¹, ПОПОВ В.В.^{1,2}, МЕНУШЕНКОВ А.П.¹,
ШАРАПОВ А.С.¹, ЗУБАВИЧУС Я. В.², КУРИЛКИН В.В.³

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИЦ «Курчатовский институт», Москва

³Российский университет дружбы народов, Москва

Изучение влияния условий синтеза на кристаллическую структуру порошков, образующихся в системе «ZrO₂ - Ce₂O₃/CeO₂»

Кислородосодержащие соединения церия представляют большой интерес с точки зрения физики и химии твердого тела из-за способности катионов церия изменять степень окисления в зависимости от условий получения. В связи с этим материалы на основе оксидов церия имеют большое практическое значение для получения катализаторов, твердооксидных топливных элементов, полирующих составов и др. [1]. Одной из наиболее практически важных систем является «ZrO₂ - Ce₂O₃/CeO₂».

Методами рентгеновской дифракции синхротронного излучения и термогравиметрического анализа проведено исследование влияния условий синтеза (степень окисления исходного соединения церия, тип атмосферы, вид восстановителя, температура отжига и восстановления) на химический состав и структуру образующихся соединений.

Установлено, что независимо от степени окисления исходных соединений церия изотермический отжиг прекурсоров на воздухе в интервале температур 600-900°C приводит к образованию твердых растворов (Ce,Zr)O₂ с кубической структурой флюоритного типа (*Fm* $\bar{3}m$). Дальнейшее повышение температуры $\geq 1000^\circ\text{C}$ вызывает распад образовавшейся кристаллической структуры на две фазы: кубическую (с большим параметром решетки) и тетрагональную. Показано, что термообработка образцов в вакууме при 1400°C приводит к практически полному восстановлению катионов Ce⁴⁺ \rightarrow Ce³⁺ с образованием соединения Ce₂Zr₂O₇, имеющего пироклорную структуру (*Fd* $\bar{3}m$). Восстановление водородом при 1000°C как прекурсоров, так и порошков, предварительно отожженных на воздухе, приводит к образованию промежуточных соединений состава Ce⁴⁺_{2x}Ce³⁺_{2-2x}Zr₂O_{7+x}, где величина *x* зависит от типа и условий отжига исходного вещества.

Список литературы

1. Попов В.В., и др. ЖНХ, **61** (2), (2016) в печати.

ЯКОВЛЕВ И.А.^{1,2}, ТАРАСОВ И.А.^{1,2}, БЕЛЯЕВ Б.А.^{1,2},
ВАРНАКОВ С.Н.^{1,2}, ЖАРКОВ С.М.², ОБЧИННИКОВ С.Г.^{1,2}
¹Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика
М.Ф. Решетнева, Красноярск
²Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск

Высокая эффективная намагниченность пленок $Fe_{1-x}Si_x$, полученных методом МЛЭ

Представлены результаты структурных и магнитных исследований пленок, полученных при одновременном напылении из двух источников: железа и кремния – на атомарно чистую поверхность Si(111) 7×7 при температуре подложки 130 °С. Методами дифракции отраженных быстрых электронов и просвечивающей электронной микроскопии установлено, что при указанных условиях формируется эпитаксиальная структура $Fe_{1-x}Si_x$ при $x = 0.1$. Методом ферромагнитного резонанса (ФМР) измерена угловая зависимость ширины линии ФМР, которая в направлении оси легкого намагничивания составила $\Delta H = 3.1$ Э. Из данных ферромагнитного резонанса также вычисленно, исходя из фермонологической модели, значение эффективной намагниченности насыщения ($M_s = 5765$ Гс) для структуры $Fe_{1-x}Si_x$ при $x = 0.1$. Стоит отметить, что эффективная намагниченность насыщения в диапазоне СВЧ частот отличается от намагниченности насыщения для статического состояния.

Магнитные характеристики полученной структуры сравнимы с магнитными характеристиками пленочных материалов, которые находят применение в датчиках слабых магнитных полей [1] и могут использоваться в качестве активного материала в различных электрически управляемых устройствах микроволнового (СВЧ) диапазона, например, в фильтрах, амплитудных и фазовых модуляторах, и в ограничителях мощности [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-02-01265 и 16-32-00291), гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-2886.2014.2 и Минобрнауки РФ (гос. задание №16.663.2014К).

Список литературы

1. А.Н. Бабицкий *и др.*, Изв. ВУЗов. Физика **56** (8/2), 275 (2013).
2. В.А. Belyaev, *et al*, Phys. Solid State **50**, 676 (2008).
3. V.G. Myagkov, *et al.*, ЖММ **324**, 1571 (2012).

Процессы анионного и катионного упорядочения в соединениях $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln} = \text{La} - \text{Dy}$, Y ; $\text{M} = \text{Zr}$, Hf)

Сложные оксиды состава $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$, обладают широким набором уникальных свойств, что в первую очередь связано с их структурными особенностями. В частности, особый интерес для исследования представляет фазовый переход из упорядоченной структуры пирохлора в структуру дефектного флюорита, который является редким примером одновременного разупорядочения как катионной, так и анионной подрешеток [1].

Порошки $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln} = \text{La} - \text{Dy}$, Y ; $\text{M} = \text{Zr}$, Hf) были синтезированы методом обратного соосаждения с последующим их прокаливанием на воздухе в широком диапазоне температур (600 - 1600°C) до получения соответствующих сложных оксидов [2]. Анионное упорядочение анализировалось по данным спектроскопии комбинационного рассеяния (КР), полученным на фурье-спектрометре Nicolet iS50 (Thermo Fisher Scientific Inc.) в аналитическом центре АО «ВНИИХТ». Процесс катионного упорядочения был исследован с помощью рентгеновской дифракции ($\lambda=0,68886 \text{ \AA}$) на станции «Структурное материаловедение» Курчатовского источника синхротронного излучения.

Высокая чувствительность метода спектроскопии КР к наличию в исследуемых образцах упорядоченной фазы пирохлора позволила установить корреляцию между изменением радиуса катиона РЗЭ и склонностью синтезированных соединений $\text{Ln}_2\text{M}_2\text{O}_7$ к образованию пирохлорной структуры, а также обнаружить формирование анионного упорядочения пирохлорного типа в пограничных структурах $\text{Dy}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ и $\text{Dy}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$.

Анализ полученных результатов показал хорошее совпадение значений температур фазового перехода «флюорит-пирохлор» и фазового состава исследуемых образцов, определенных исходя из спектров КР и дифракционных данных.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант 14-22-00098).

Список литературы

1. Blanchard P.E.R., Liu S., Kennedy V. *et al.* J. Phys. Chem. C., **117** (5), 2266 (2013)
2. Попов В.В., Менушенков А.П., Зубавичус Я.В. *и др.* ЖНХ, **60** (1), 18 (2015)

ЯШКИН Д.С.^{1,2}, КРАСНОПЕРОВ Е.П.^{1,3}, БРАЖНИК П.А.^{1,3},
КРУГЛОВ В.С.^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

³Московский физико-технический институт (Государственный Университет)

Метод измерения температурной зависимости критического тока ВТСП-2.

Предложен оригинальный метод измерения температурной зависимости критического тока ВТСП-2 лент. Метод не требует применения обычно используемых для этого вакуумных устройств криостатирования. Современные ленты ВТСП нанесены на металлическую подложку, которую можно использовать в качестве нагревателя и термометра, распределенного по поверхности ленты. Таким образом, можно измерять вольт-амперные характеристики (ВАХ) ленты при различных температурах, работая в криогенных жидкостях и в их парах.

Метод протестирован на образцах коммерческой ленты фирмы SuperPower в диапазоне температур от 78 до 90 К. Температурная зависимость критического тока ленты демонстрирует линейный ход с выполаживанием вблизи T_c . В температурной зависимости показателя ВАХ n наблюдается падение при приближении температуры к критической.

Секция

«УСКОРИТЕЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ»

Председатель заседания 1 – д.т.н., профессор *Собенин Николай Павлович*

Председатель заседания 2 - к.ф.-м.н., *доцент Полозов Сергей Маркович*

Председатель секции постеров - к.т.н., *доцент Гусарова Мария Александровна*

тел./факс. 8 (495) 788-56-99, доб. 8226

E-mail: PACSS16@mephi.ru

АВЕРЬЯНОВ¹ Г.П., БУДКИН¹ В.А., ДМИТРИЕВА¹ В.В., НОСОВА¹ Е.М.,
ОСАДЧУК¹ И.О., ПЛОТНИКОВ² С.В.

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Интерактивная среда проектирования каналов транспортировки релятивистских пучков заряженных частиц

Рассмотрена современная реализация (2015г.) компьютерной среды проектирования каналов транспортировки высокоэнергетичных пучков заряженных частиц. Среда включает пакет прикладных программ моделирования динамики заряженных частиц в канале, оперативные средства изменения параметров канала, элементы оптимизации канала и обработку выходных характеристик пучка с графическим выводом основных выходных параметров. В качестве инструментальных средств программирования использовалась система MATLAB (SKILAB),о позволяющая сделать исходный текст программы компактным, мобильным и легко расширяемым.

АВЕРЬЯНОВ Г.П.¹, ДМИТРИЕВА В.В.¹, ИГНАТОВ А.А.²,
НОСОВА Е.М.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Научно-образовательная среда «Электрофизика»

Рассматриваются последние результаты работ (2015 г.), проводимых лабораторией информационных систем ускорителей заряженных частиц кафедры Электрофизических установок НИЯУ МИФИ. Работы связаны с созданием Центра (в рамках кафедры) информационно-вычислительной поддержки и удаленного доступа основных учебных циклов занятий. Отдельно рассмотрены работы по созданию виртуальных электрофизических лабораторий имитирующих работу главных подсистем ускорителей и связанные с этим научно-исследовательские работы.

АВЕРЬЯНОВ Г.П.¹, ДМИТРИЕВА В.В.¹, ПЛОТНИКОВ С.В.²,
ТУРЧИН В.И.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
²ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Высокочастотные ускоряющие системы для кластерных ионов изотопов водорода

В настоящее время в ИТЭФ ведутся исследования возможности практической реализации идеи управляемого термоядерного синтеза на основе встречного соударения интенсивных сгустков кластерных ионов изотопов водорода, ускоренных до энергии $\sim 10-20$ кэВ/н. Одно из направлений исследований связано с преобразованием энергии ускоренных кластерных ионов в энергию теплового движения ядер в результате турбулентной релаксации сгустков плазмы образующейся при взаимных столкновениях кластеров. Возможность эффективного ускорения кластерных ионов до высокой энергии требует изучения потерь кластеров в ускоряющем канале в результате их столкновений с остаточным газом, а также между собой. Рассмотрены возможности использования разработанных тяжелоионных ВЧ ускоряюще-фокусирующих систем для изучения процесса эффективного ускорения кластерных ионов.

АВЕРЬЯНОВ Г.П.¹, ДМИТРИЕВА В.В.¹, ТУРЧИН В.И.²,
ШАТОХИН В.Л.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Имитационное моделирование в вакуумной технике

Рассматривается последняя версия компьютерной части лаборатории «Вакуумная техника», входящая в состав учебных лабораторий кафедры Электрофизических установок НИЯУ МИФИ. Компьютерная часть значительно расширяет возможности традиционной лаборатории «Вакуумная техника», в которой изучаются средства откачки и получение высокого вакуума фрагментально. Виртуальная лаборатория позволяет в приемлемые сроки, выбрав любые средства откачки (из встроенной базы данных), материалы поверхностей откачиваемых объектов, их обработку и прогрев. Запустив процедуру откачки можно оперативно проследить динамику получения высокого вакуума во времени.

АКСЕНТЬЕВ А.Е.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Анализ систематических ошибок в эксперименте по изучению временной инвариантности

Для изучения временной инвариантности на ускорителе COSY в исследовательском центре Юлих, Германия, будет проводиться эксперимент по рассеянию поляризованного протонного пучка на поляризованной дейтериевой мишени, TRIC. Рассматривается возможность статистического моделирования структуры этого эксперимента в терминах пространства эпистемных состояний наблюдателя. Определяются 1) структура эпистемного состояния, через пространство распределений вероятности (в субъективистском смысле), 2) основные отношения между состояниями, задающие структуру пространства состояний. Объясняется причина такого подхода к моделированию.

АЛЕКСЕЕВ В.П., БЫСТРОВ П.А., РОЗАНОВ Н.Е.

Московский радиотехнический институт Российской Академии Наук, Москва

Предварительные расчеты и оценки характеристик соленоидальной фокусирующей системы лампы бегущей волны

Проведены предварительные оценки и расчеты характеристик электромагнитной соленоидальной системы для фокусировки электронного пучка в мощной лампе бегущей волны. Выбрано необходимое количество катушек соленоида, их токов и габаритов, а также экранов, формирующих профиль магнитного поля, требующийся для ввода электронного пучка со слабозамагниченного катода в область соленоида, для транспортировки пучка при его взаимодействии с усиливаемой СВЧ волной и для экранировки поля в области коллектора пучка. Предлагается совместно с электромагнитами использовать и постоянные магниты для оптимизации профиля поля.

АНДРЕЕВ В.А.³, В.С. АЛЕКСАНДРОВ В.С.¹, БАРАБИН С.В.³,
БУТЕНКО А.В.¹, ГОВОРОВ А.И.¹, ГОЛОВЕНСКИЙ Б.В.¹, ГУСАРОВА
М.А.², ДЮБКОВ В.С.², КЛЫКОВ К.А.⁴, КОБЕЦ В.В.¹, КОВАЛЕНКО
А.Д.¹, КОЗЛОВ А.В.³, КОШЕЛЕВ В.А.³, КРОПАЧЕВ Г.Н.³, КУЙБИДА
Р.П.³, КУЗЬМИЧЕВ В.Г.³, КУЛЕВОЙ Т.В.^{2,3}, ЛЕВТЕРОВ К.А.¹, ЛЯКИН
Д.А.³, МАМАЕВ И.В.⁴, МАРТЫНОВ А.А.^{2,3}, МОНЧИНСКИЙ
В.А.¹, НАУМЕНКО М.Ю.⁴, ОРЛОВ А.Ю.³, Г.Н. ОСТАШКОВ⁴,
А.С. ПЛАСТУН^{2,3}, С.М. ПОЛОЗОВ², САМОШИН А.В.², СЕЛЕЗНЕВ
В.В.¹, СЕЛЕЗНЕВ Д.Н.³, СИДОРИН А.О.¹, СИТНИКОВ
А.Л.³, СТАСЕВИЧ Ю.Б.³, ТРУБНИКОВ Г.В.¹

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

³ГНЦ РФ ИТЭФ НИЦ «Курчатовский институт», Москва

⁴РФЯЦ ВНИИТФ, Снежинск

физический пуск нового инжектора ускорительного комплекса «Нуклотрон-НІСА»

В настоящее время в ОИЯИ в рамках реализации проекта коллайдера NІСА проводится реконструкция системы инжекции пучков протонов и ионов, для чего разработан и изготовлен ускоритель-группирователь с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой на энергию 156 кэВ/нуклон, физический пуск которого осуществлен в ноябре 2015г.

АШАНИН И.А.

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»

Замедляющий капилляр из сапфира интегрированный с антенной на частоте 0,675 ТГц

На данный момент интерес к излучению ТГц-диапазона повышен в области медицины, фармацевтики и интроскопии крупногабаритных объектов. ТГц-излучение может быть сгенерировано путем прохождения релятивистского пучка электронов высокой яркости диаметром ~ 100 мкм и с длительностью импульса пс или менее, получаемого, например, с помощью фотоинжектора, через замедляющий черенковский канал, заполненный диэлектриком с последующим выводом в открытое пространство. Различные материалы диэлектрика для заполнения канала могут быть использованы. В статье будет рассмотрен замедляющий черенковский капилляр с заполнением из сапфира на частоте 0,675 ТГц, интегрированный с рупорной антенной, а также его геометрические и электродинамические характеристики.

БАШМАКОВ Ю.А.^{1,2}, АВЕРЬЯНОВ Г.П.², БУДКИН В.А.²,
ОСАДЧУК И.О.²

¹*Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук*

²*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Адаптивно-модульный подход проектирования каналов транспортировки заряженных частиц высоких энергий

Среда проектирования каналов транспортировки заряженных частиц высоких энергий входит в комплекс программ виртуальной среды «Электрофизика» разрабатываемого на кафедре ЭФУ НИЯУ МИФИ. В работе рассмотрена методика проектирования каналов на основе численного моделирования с целью обеспечения оптимальных параметров пучка на выходе канала. Приведены результаты оптимизации параметров действующего канала транспортировки электронов синхротрона «Пахра», имеющего значительные потери интенсивности пучка в устройстве вывода пучка из ускорителя и в процессе транспортировки пучка на экспериментальную установку.

БЕЛУГИН В.М., ВАСИЛЬЕВ А.Е., РОЗАНОВ Н.Е.

Московский радиотехнический институт Российской Академии Наук, Москва

Исследование возможности применения соленоидальной фокусировки в мощных широкополосных лампах бегущей волны

Исследуется возможность применения электромагнитного соленоида для фокусировки электронного пучка в мощных широкополосных ЛБВ. Данная работа обусловлена тем, что при переходе в коротковолновый диапазон возрастают технологические трудности при создании магнитных периодических фокусирующих систем на основе постоянных магнитов. Они заключаются в необходимости изготовления деталей таких приборов с очень высокой точностью. Реально же достижимые точности могут приводить к невозможности осуществления требуемого токопрохождения электронного пучка. Значительно большие габариты и энергопотребление соленоида по сравнению с МПФС являются очевидными недостатками. Однако для ряда конкретных применений они не являются препятствиями для использования соленоидальной фокусировки.

БОГДАНОВИЧ Б.Ю.¹, ВОВЧЕНКО Е.Д.¹, ИЛЬИНСКИЙ А.В.²,
ИСАЕВ А.А.¹, КОЗЛОВСКИЙ К.И.¹, НЕСТЕРОВИЧ А.В.¹,
ШИКАНОВ А.Е.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

² *Институт геофизических и радиационных технологий МАН ВШ*

Проект генератора нейтронов для определения кислорода и углерода методом прямой активации в условиях естественного залегания продуктивных углеводородов

В докладе рассматривается особенность применения скважинного генератора нейтронов (СГН) на основе вакуумной ускорительной трубки (УТ) с лазерно-плазменным источником ионов для определения изотопа кислорода ^{16}O и изотопа углерода ^{12}C методом прямой активации и предлагается проект импульсного СГН, с помощью которого возможна реализация метода в условиях естественного залегания продуктивных углеводородов.

В отпаянной вакуумной УТ применена диодная система с радиальным ускорением, магнитной изоляцией электронов и лазерно-плазменным источником дейтронов на аноде. Для формирования изолирующего магнитного поля предлагается использовать постоянные магниты на основе соединения NdFeB с индукцией в диодном зазоре $\approx 0,5$ Тл.

В экспериментах на макете СГН с источником ускоряющего напряжения (≈ 350 кВ), выполненном по схеме генератора Аркадьева-Маркса, выход (d, d) нейтронов составил $\sim 10^8$ имп $^{-1}$.

БОГОМОЛОВ А.С.¹, ЛАЛАЯН М.В.¹, ТОПОРКОВ С.Е.¹,
СМЕТАНИН М.Л.², ТЕЛЬНОВ А.В.², ШАРАВИН Э.А.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
²ФГУП "Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики"

Макет замедляющей системы линейного протонного ускорителя

В работе представлены результаты измерений и численного моделирования электродинамических характеристик макета замедляющей системы для ускорения протонов в режиме бегущей волны. Ускорение выполняется волной Н-типа в цилиндрическом волноводе, нагруженном штырями специальной формы. Структура обладает отрицательной дисперсией, по причине чего для достижения необходимого замедления на рабочей частоте $f=433\text{МГц}$ и реализации ненулевой групповой скорости используется вид колебаний $\theta=5\pi/6$. В работе представлены результаты измерения дисперсионной характеристики макета, значения шунтового сопротивления и добротности.

БРЯЗГИН А.А., БЕЗУГЛОВ В.В., ВЛАСОВ А.В., ВОРОНИН Л.А.,
КОРОБЕЙНИКОВ М.В., ЛУКИН А.Н., МАКСИМОВ С.А., НЕХАЕВ В.Е.,
НИКОНОВ Ф.А., ПАНФИЛОВ А.Д., РАДЧЕНКО В.Д., СИДОРОВ А.В.,
ТКАЧЕНКО В.О., ФАКТОРОВИЧ Б.Л., ШТАРКЛЕВ Е.А..

Институт Ядерной Физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск

Промышленные ускорители электронов ИЛУ и их применение

ИЯФ разрабатывает и изготавливает для промышленности и исследовательских организаций линейку промышленных ускорителей электронов ИЛУ. Ускорители имеют энергию до 10 МэВ и мощность пучка до 100 кВт. Для создания ускоряющего напряжения до 5 МВ используются одиночные ВЧ резонаторы радиочастотного диапазона. В ускорителях с энергией более 5 МэВ несколько резонаторов соединяются последовательно. Для ускорителей с энергией 5-7.5 МэВ разработан конвертер тормозного излучения. Эти ускорители широко применяются в промышленности для модификации полимеров и стерилизации одноразовых медицинских исследований. В ближайшем будущем ожидается применение ускорителей ИЛУ для холодной электронной пастеризации пищевых продуктов.

БУЛЕЙКО А.Б., ЛАЛАЯН М.В., ТОПОРКОВ С.Е.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Тепловой режим работы многоззорных СН-резонаторов

Рассмотрена система водяного охлаждения группы СН-резонаторов при непрерывном режиме работы с градиентом ускоряющего поля $E=3$ МВ/м для ускорения пучка протонов в диапазоне энергий от 2 до 5 МэВ. Конструкция исследуемых макетов содержит пилоны, необходимые для получения равномерного распределения ускоряющего поля и оптимизации электродинамических характеристик (ЭДХ). Представлены результаты численного моделирования распределения температуры внутри резонатора и вызываемого смещения частоты. В первую очередь рассмотрено охлаждение пилонов с различными формами выреза, необходимого для настройки ЭДХ. Представлены картины распределения температуры для различного числа ускоряющих зазоров в резонаторе и для различных геометрий ускоряющих промежутков.

БУЯНОВ Г.О., КЛАЧКОВ А.П., ПОНОМАРЕНКО А.Г.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Компрессор энергии радиоимпульсов для питания многосекционного мобильного ЛУЭ

Найдены конструктивно-технические решения отдельных систем компрессора в виде ДФЛ на основе сверхразмерных волноводов. Конкретно, решены вопросы подачи питания такого компрессора, оптимизирована система подавления паразитных колебаний в нём. Предложены два варианта конструкции многосекционного компрессора, в которых решены вопросы повышения электрической прочности и сочленения резонаторов ДФЛ с коммутационной областью. Также были рассчитаны ожидаемые характеристики данных компрессоров: добротность, запасенная энергия, выходная мощность и коэффициент компрессии. Численный расчет проводился в программе трехмерного электродинамического моделирования CST Microwave Studio.

ВЛАДИМИРОВ И.Ю.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический
факультет*

Методика измерения продольного эмиттанса пучка СВЧ пушки

Предложена методика измерения продольного эмиттанса пучка электронов СВЧ пушки и получения его продольного фазового портрета. Восстановление продольного фазового портрета пучка производится по его пятну после прохождения поперечно-отклоняющего ВЧ резонатора и дипольного магнита. В предлагаемом методе электромагнитное поле поперечно-отклоняющего ВЧ резонатора аппроксимируется электромагнитным полем моды TM_{110} цилиндрического резонатора без пролетного канала, что позволяет получить аналитическое решение уравнений движения в поле резонатора. В докладе приведены описание поперечно-отклоняющего ВЧ-резонатора и дипольного магнита, формулы, лежащие в основе метода, и результаты численного моделирования.

ВЛАДИМИРОВА Л.В.

Санкт-Петербургский государственный университет

Многокритериальная оптимизация в задаче управления динамикой пучка в линейном ускорителе

Рассматривается задача оптимизации динамики пучка в линейном ускорителе в случае, когда качество управляемого процесса оценивается несколькими функционалами. Используется многокритериальный подход. Для двух критериев можно строить компромиссную кривую. Если критериев больше, то используется метод главного критерия. В этом случае для некоторых критериев вводятся ограничения. Результатом оптимизации является множество эффективных или слабоэффективных управлений. Заказчик имеет возможность выбрать наиболее подходящий вариант.

В работе представлены результаты многокритериальной оптимизации динамики пучка в ускорителе ЛУЭ-15-М.

ВОЛОБУЕВ Е.Н.^{1,2}, ЗАВАДЦЕВ А.А.^{1,2}, ЗАВАДЦЕВ Д.А.^{1,2},
КРАВЧУК Л.В.², ПАРАМОНОВ В.В.², ЛАЛАЯН М.В.³,
СМИРНОВ А.Ю.³, СОБЕНИН Н.П.³, ЧУРАНОВ Д.В.^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

²ООО «Нано Инвест», Москва, Россия

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия

Структура поперечного отклонения пучка электронов XFEL TDS INJ

Для лазера на свободных электронах XFEL создана система поперечного отклонения пучка электронов XFEL TDS INJ для измерения продольного фазового пространства и эмиттанса и отклоняющая структура, как ее часть, на основе КДВ с гибридной ЕН-волной. Длина структуры 0.7 м. Рабочая частота 2997.2 МГц. Входная импульсная мощность 3 МВт. Структура изготовлена, настроена и установлена в здании инжектора XFEL с координатой $z=53$ м. Экспериментально получены все проектные параметры на низком уровне мощности. Через инжектор, включая отклоняющую структуру, проведен пучок электронов.

ВОЛОБУЕВ Е.Н.^{1,2}, ЗАВАДЦЕВ А.А.^{1,2}, ЗАВАДЦЕВ Д.А.^{1,2},
КРАВЧУК Л.В.², ПАРАМОНОВ В.В.², СОБЕНИН Н.П.³,
ЧУРАНОВ Д.В.^{1,2}

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

²*ООО «Нано Инвест», Москва, Россия*

³*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия*

Дефлектор XFEL TDS BC1

Дефлектор - часть системы поперечного отклонения пучка электронов TDS BC1 лазера на свободных электронах XFEL, расположенной в тоннеле с координатой $z=206$ м, и предназначенной для измерения продольного фазового пространства и эмиттанса. Дефлектор включает волноводное окно, волноводную нагрузку, E-изгиб, узлы вакуумной откачки и отклоняющую структуру длиной 1.7 м, созданную на базе КДВ с гибридной EH-волной на частоте 2997.2 МГц с входной мощностью 24 МВт. Экспериментально получены все проектные параметры на низком уровне мощности.

ВОЛОБУЕВ Е.Н.¹², ЗАВАДЦЕВ А.А.¹², ЗАВАДЦЕВ Д.А.¹²,
СОБЕНИН Н.П.³, ЧУРАНОВ Д.В.¹²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

²ООО «Нано Инвест», Москва, Россия

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия

Система высокочастотного питания отклоняющей структуры XFEL TDS INJ

Система предназначена для питания отклоняющей структуры TDS INJ лазера на свободных электронах XFEL и включает клистрон, волноводные керамические окна, направленные ответвители, узлы вакуумной откачки, детектор искрений и волноводный тракт. Рабочая частота 2997.2 МГц. Импульсная мощность 3 МВт. Система высокочастотного питания разработана, изготовлена и смонтирована в здании инжектора XFEL на трассе длиной 55 м от клистрона на -5 этаже до отклоняющей структуры на -7 этаже. Экспериментально получены все проектные параметры на низком уровне мощности.

ГУЧКИН А.С.^{1,2,4}, АШАНИН И.А.^{1,2}, ГРИГОРЬЕВ И. П.¹, ГАЛЧУК А.В.³,
ГНУТОВ П.А.³, КЛОПЕНКОВ Р.М.³, КУЖЛЕВ А.Н.³, ЯРОШ В.Е.⁴

¹ООО «Центр высокотехнологичной диагностики», Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

³АО «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им.
Д.В. Ефремова», Санкт-Петербург

⁴АО «Научно-исследовательский институт технической физики и
автоматизации», Москва

Особенности первого года эксплуатации циклотронного комплекса СС-18/9М

Циклотронный комплекс СС-18/9М, разработанный АО «НИИЭФА» и установленный на площадке АО «НИИТФА», введен в эксплуатацию в 2014 году. Данная установка предназначена для производства радионуклидов, таких как фтор-18 и углерод-11, которые, в свою очередь, предназначены для ПЭТ-диагностики. В течение 2015 г. года был проведен ряд испытаний в различных режимах работы циклотронного комплекса: режим двух пучков, получение максимальных токов, а также комплексное тестирование водной и газовой мишеней. Приведено описание циклотронного комплекса и особенностей, связанных с эксплуатацией и обслуживанием его оборудования.

ДВОРНИКОВ В.А., КУЗЬМИН И.А., МАРКОВ В.Н., ПРОСКИН С.С.,
ЩЕДРИН И.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Оптимизация ускоряющей структуры ЛУЭ

Предложена оптимизация бипериодической ускоряющей структуры со стоячей волной за счет введения запредельных волноводов, в следствие чего может быть увеличен коэффициент захвата электронов в ускорение. Подобные ускоряющие структуры могут найти применение в ЛУЭ для лучевой терапии, интроскопии изделий и досмотра грузов, стерилизации, полимеризации, радиационной химии и других областях промышленности и медицины.

ДЮБКОВ В.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

О некоторых результатах по использованию аксиально-симметричной ВЧ фокусировки в линейных протонных ускорителях на энергию до 7 МэВ

На протяжении нескольких десятков лет аксиально-симметричные каналы с высокочастотной фокусировкой несинхронными гармониками поля предлагаются в качестве альтернативы зарекомендовавшим себя и надёжным системам с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой. В ряде работ эффективность каналов с аксиально-симметричной ВЧ фокусировкой несинхронными гармониками поля продемонстрирована в диапазоне энергий протонов до 2 МэВ. В настоящей работе рассматривается эффективность таких каналов на энергию до 7 МэВ. Приводятся и обсуждаются результаты численного моделирования самосогласованной динамики протонов в канале с аксиально-симметричной ВЧ фокусировкой.

ЕРМАКОВ А.Н., ХАНКИН В.В.

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина
МГУ имени М.В. Ломоносова*

Основные результаты пусковых работ на промышленном ускорителе с энергией пучка 10 МэВ

Проведены пусконаладочные работы на прототипе промышленного линейного ускорителя электронов с энергией пучка 10 МэВ, созданного в НИИЯФ МГУ в сотрудничестве с ФГУП НПП «Торий». Приведены методики и результаты измерений параметров пучка и сравнение их с проектными значениями.

ЕРМАКОВ А.Н., ХАНКИН В.В., ЮРОВ Д.С.

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына
МГУ имени М.В. Ломоносова*

Формирование поля облучения промышленного ускорителя с помощью редкоземельных постоянных магнитов

Описывается компактная система формирования поля облучения для промышленных ускорителей электронов. Система позволяет получить равномерное распределение тока пучка в направлении, перпендикулярном движению облучаемой продукции, шириной 50-100 см. Основным элементом служит нелинейная квадрупольная линза на базе редкоземельных постоянных магнитов. Данная система может использоваться вместо электромагнита традиционных систем сканирования пучка. Описываются принципы работы, результаты расчетов и измерение характеристик системы для импульсного линейного ускорителя электронов на энергию 10 МэВ.

ЗАВАДЦЕВ А.А.^{1,2}, ЗАВАДЦЕВ Д.А.^{1,2}, ЗЫБИН Д.А.²,
ЧУРАНОВ Д.В.^{1,2}, ШЕМАРЫКИН П.В.^{1,2}

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

²*ООО «Нано Инвест», Москва, Россия*

Твердотельный источник питания клистрона XFEL TDS INJ

Система поперечного отклонения пучка электронов TDS INJ лазера на свободных электронах XFEL включает источник питания клистрона, предназначенный для импульсного высоковольтного питания, питания накала, питания соленоида, питания ионного насоса. Источник питания включает твердотельный модулятор, выполненный на базе IGBT, импульсный трансформатор, питание соленоида, питание ионного насоса и систему управления. Основные параметры питания клистрона: напряжение 110 кВ, ток 100 А, длительность импульса до 6 мкс. Источник питания клистрона разработан, спроектирован, изготовлен, установлен в здании инжектора XFEL и показал все проектные параметры.

ZOBOV M.M.

LNF Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Frascati (RM), Italy

Crab waist collision scheme – a novel approach for particle colliders

A new concept of nonlinear focusing of colliding bunches, called Crab Waist (CW) collision scheme, has been proposed at LNF INFN. It has been successfully tested at the Italian lepton collider DAΦNE in operational conditions providing luminosity for two different experimental detectors, SIDDHARTA and KLOE-2. Considering a high efficiency of the scheme for increasing collision luminosity and its relative simplicity for implementation several new collider projects have been proposed and are under development at present. These are the SuperKEKB B-factory ready to start commissioning in 2016 in Japan, the SuperC-Tau factory proposed in Novosibirsk and entered in the short list of Russian mega-science projects, the new 100-km electron-positron Future Circular Collider (FCC-ee) under design study at CERN and some others. In this paper we describe the CW collision scheme, discuss its advantages and report principal results achieved at the electron-positron Φ -factory DAΦNE.

ИВАНОВ А.Н.¹, АНДРИАНОВ С.Н.¹, СЕНИЧЕВ Ю.В.²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

²*Institute for Nuclear Physics, Forschungszentrum Jülich, Germany*

Компьютерное моделирование спин-орбитальной динамики в накопительных кольцах

Рассмотрены математические проблемы, возникающие при моделировании спин-орбитальной динамики заряженных частиц в накопительных кольцах, ориентированных на поиск электрического дипольного момента (ЭДМ). Описаны основные модели и идеи такого класса оптических структур для измерения ЭДМ, основанные на принципе «замороженного» спина частиц в пучке. Приводится краткое описание разработанной среды моделирования нелинейной многооборотной динамики частиц. На основе представленного инструментария проведен анализ спин-орбитальной динамики заряженных частиц в электростатических полях. Рассмотрено влияние закона сохранения полной энергии, краевых полей рассеивания, а также систематических и случайных ошибок в электростатических полях. Полученные результаты могут быть обобщены на случай изучения динамики в смешанных электромагнитных полях.

ИВАНОВ С.М.^{1,2}, ПЕРЕЛЬШТЕЙН Э.А.³, ПОЛОЗОВ С.М.¹,
ФАДЕЕВ А.М.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина

³Объединенный институт ядерных исследований

Использование терморрадиотерапии в лечении глубоко расположенных новообразований

Использование терапевтической гипертермии в сочетании с лучевой терапией, проводимой с использованием ускорителей электронов (терморрадиотерапия), является одним из современных способов повышения сенсбилизации опухолей и снижения требуемой дозы облучения. Опыт, полученный за последние 40 лет в РОНЦ, показывает, что для некоторых видов онкологических заболеваний пятилетняя выживаемость при применении терморрадиотерапии увеличивается на 15-40 % по сравнению с лучевой терапией. В докладе будут рассмотрены результаты работ по созданию системы локальной гипертермии глубоко расположенных тканей.

КАРИМОВ А.Р.^{1,2}, ШАТОХИН В.Л.¹, Ю МИНГ^{3,4}, СТЕФЛО Л.^{5,6}

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

²*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

³*Institute for Fusion Theory and Simulation, Hangzhou, China*

⁴*Ruhr-Universitat, Bochum, Germany*

⁵*Linkoping University, Linkoping, Sweden*

⁶*Umea University, Umea, Sweden*

Процессы неравновесного обмена во вращающихся плазменных потоках

Используя аналитическую модель, описывающую взаимодействие нелинейных связанных электрон-ионных колебаний во вращающихся плазменных потоках, анализируются процессы обмена энергией и импульсом между макроскопическими степенями свободы потока. Показано, что возникновение асимметрии в поле скоростей может приводить к передаче импульса в аксиальную моду, что будет приводить к дополнительному ускорению потока в аксиальном направлении. Обсуждаются возможности применения данных особенностей для увеличения эффективности плазменных двигателей.

КЛЮЧЕВСКАЯ Ю.Д.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

Вариационные характеристики бипериодической ускоряющей структуры с рабочей частотой 27 ГГц

В Национальном Исследовательском Ядерном Университете «МИФИ» для оценки возможности создания компактного укорителя электронов на энергию около 6 МэВ, пригодного для использования в составе медицинского терапевтического комплекса, разрабатывается ускоряющая структура с рабочей частотой 27 ГГц. Сочетание высоких электромагнитных полей и длинного импульса на высокой рабочей частоте приводит к увеличению температуры структуры, тепловым деформациям и заметному изменению характеристик резонатора, в том числе частоты, во время ВЧ импульса. Для определения сдвига частоты в зависимости от мощности питания и температуры охлаждающей жидкости было рассмотрено три варианта системы охлаждения для бипериодической ускоряющей структуры с рабочей частотой 27 ГГц.

LAXDAL R.E., ZVYAGINTSEV V.L
*TRIUMF Canada's National Laboratory for Particle and Nuclear Physics,
Vancouver, Canada*

ARIEL Electron Linac: Commissioning and Development

A superconducting electron Linac (e-Linac) will be a part of ARIEL facility for production of radioactive ion beams (RIB) at TRIUMF. The e-Linac will consist of five 1.3GHz 9-cell cavities in three cryomodules delivering 50MeV 10mA beam. The baseline operation will be single pass but a re-circulating ring is planned to allow either energy boost or energy recovery operation. The first stage of the accelerator which consists of two cryomodules has been successfully commissioned in 2014. The paper will discuss the superconducting radio-frequency (SRF) challenges of the accelerator. Cavities, cryomodules and RF system design, preparation and performance will be presented.

МИХЕЕВА И.М.

Ассоциация организаций и профессионалов в области радиационных технологий

Перспективы развития рынков применения ускорителей заряженных частиц

Ускорители заряженных частиц стали применяться в промышленности достаточно давно. Они получили распространение в таких сферах, как обработка сельскохозяйственных продуктов, досмотр грузов и людей, неразрушающий контроль, модификация материалов и др. Будут представлены актуальные данные о ключевых тенденциях развития этих рынков, прогнозные значения объемов рынков, описание новых ниш. Дополнительно будет представлена информация об объеме российских ускорителей, экспортированных за рубеж, в разбивке по странам и областям применений.

ОВСЯННИКОВ Д.А., ОВСЯННИКОВ А.Д., АНТРОПОВ И.В.,
КОЗЫНЧЕНКО В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет

Программный комплекс моделирования и оптимизации динамики пучков BDO-RFQ

Программный комплекс BDO-RFQ разработан в среде Matlab для моделирования и оптимизации динамики пучков заряженных частиц в ускорителях с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой. Программный комплекс включает в себя универсальную программу для расчета и оптимизации параметров различных динамических процессов (BDO Shell), программы моделирования и оптимизации продольной динамики в поле стоячей волны, программу моделирования и оптимизации продольной и поперечной динамики в поле бегущей волны, программу расчета и оптимизации согласователя, программу расчета трехмерной динамики. Программный комплекс включает в себя библиотеку методов расчета кулоновского поля пучков заряженных частиц и библиотеку аналитических и численных методов оптимизации.

ОВЧИННИКОВА Л.Ю.

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына,
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
(НИИЯФ МГУ), Москва, Россия*

Накопительные кольца на низкую энергию с большой динамической апертурой

Томсоновское рассеяние лазерного излучения на релятивистских электронах является перспективным методом генерации монохроматического рентгеновского излучения с энергией, перестраиваемой в диапазоне 20 – 40 кэВ, за счет изменения энергии электронного пучка в диапазоне 35 – 50 МэВ. Высокая интенсивность источника достигается за счет использования циркуляции пучка в накопительном кольце. Динамика пучка электронов в накопительном кольце низкой энергии с малой бета-функцией в точке взаимодействия имеет ряд существенных отличий от динамики пучка в кольцах на высокую энергию. В докладе представлен анализ различных вариантов магнитооптической структуры кольца на низкую энергию.

ПОЛОЗОВ С.М., РАЩИКОВ В.И.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

О возможности повышения коэффициента захвата в режим ускорения и уменьшения спектра пучка при ускорении в плазменных каналах

Ускорение электронов в плазменных каналах, образующихся при воздействии лазерного излучения, является в настоящее время одним из наиболее исследуемых новых методов ускорения. Проведенное численное моделирование и выполненные к настоящему времени эксперименты показывают, что этот метод имеет два существенных недостатка – широкий спектр энергии пучка на выходе и низкий коэффициент захвата электронов в режим ускорения, и для их преодоления необходимо применения специальных методов предмодуляции пучка. В докладе будут рассмотрены результаты численного моделирования динамики электронов в плазменном канале, в котором для группировки пучка используются схемы, аналогичные волноводному и клистронному группирователям в высокочастотных ускорителях.

ПОЛОЗОВ С.М., ТАЦЮК О.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Моделирование ондуляторной ускоряющей структуры ленточного ионного пучка

Альтернативой традиционным ускорителям с пучками круглого сечения могут быть ускорители ленточных пучков, у которого один размер много больше другого, что позволяет существенно сгизить влияние кулоновской составляющей собственного поля пучка на динамику. Рассмотрена модель H-резонатора для линейного ондуляторного ускорителя, в котором возможно ускорение ленточного пучка. Трубки дрейфа в нем должны иметь апертуру щелевой формы. В пакете CST Studio Suite проведено моделирование структуры, работающей на частоте 150 МГц на виде колебаний π для частиц с относительной скоростью $\beta=0,02$. Добротность Q равна 4810, а эффективное шунтовое сопротивление для структуры длиной 40 мм равно 3,9 МОм. Представлено распределение электрического поля в середине зазора между соседними трубками дрейфа по осям ($0; y$) и ($x; 0$).

РОЗАНОВ Н.Е.

Московский радиотехнический институт Российской Академии Наук, Москва

Влияние нагрузки током в электронных ускорителях на стоячей волне

Описаны результаты исследования влияния эффекта "нагрузки током", т.е. возбуждения волн ускоряемыми сгустками в замедляющей структуре ускорителей с интенсивными электронными пучками, на характеристики процесса ускорения. Расчеты проведены с помощью ранее описанных программ. Результаты получены для случая первоначально немодулированного пучка с привязкой к параметрам компактной стерилизационной установки с местной биозащитой в МРТИ РАН, не использующей магнитную фокусировку пучка. Показано, что этот эффект при больших ускоренных токах проявляется в некотором изменении частоты суммарного СВЧ поля в ускоряющей структуре. При этом изменения (уменьшения) КПД ускорителя, составляющего по результатам расчетов и измерений импульсных характеристик величину около 60%, вследствие излучения ускоренным пучком не происходит.

ПАВЛОВ Ю.С.¹, СУРМА А.М.², ЛАГОВ П.Б.^{1,3}, ФОМЕНКО Ю.Л.⁴,
ГЕЙФМАН Е.М.⁵

¹ИФХЭ РАН, Москва; ²ЗАО "Протон-Электротекс", Орел; ³НИТУ "МИСиС",
Москва; ⁴АО "ВЗПП-Микрон", Воронеж; ⁵ОАО "Электровыпрямитель", Саранск

Электронно-лучевые технологии модификации биполярных полупроводниковых приборов на ускорителях

Реализованы радиационно-технологические процессы модификации статических и динамических характеристик кремниевых биполярных приборов различных классов на различные рабочие токи (от единиц мА до десятков кА) и напряжения (от единиц В до 8 кВ): силовые диоды и тиристоры, СВЧ биполярные и БТИЗ-транзисторы, импульсные диоды, прецизионные стабилитроны (всего более 50 типонаименований), выпускаемые различными отечественными предприятиями. Модификация обусловлена формированием в приборных структурах электрически активных и стабильных в области рабочих температур субнаноразмерных центров рекомбинации. Технологии осуществляются на воздухе с высокой производительностью и управляемостью, являются альтернативными термодиффузионному легированию (Au, Pt) и обработке легкими ионами.

РУБЦОВА И.Д.

Санкт-Петербургский государственный университет

Метод функций Грина расчета кулоновского поля квазипериодического пучка и его возможности

Рассматривается кулоновское поле квазипериодического аксиально-симметричного пучка. Используется дисковая модель пучка. Представлены выражения для поля объемного заряда, полученные методом функций Грина или сводимым к нему аналитическим методом, в виде ряда Фурье-Бесселя и тригонометрического полинома. Аналитические выражения позволяют осуществить не только моделирование, но и анализ сил объемного заряда, а также тестирование программы расчета кулоновского поля. Изложен метод тестирования. Кроме того, аналитические формулы для сил взаимодействия дают возможность при рассмотрении различных задач оптимизации получить выражение для градиента функционала, характеризующего качество динамического процесса.

САВИН Е.А., БУЛАНОВ А.В., АЛЕХАНОВ Р.Ю., МАЦИЕВСКИЙ С.В.,
СОБЕНИН Н.П., КАМИНСКИЙ В.И.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Гибридный линейный ускоритель электронов на основе КДВ-М с использованием бипериодической ускоряющей структуры вместо поглощающей нагрузки

Хорошо известны линейные ускорители электронов (ЛУЭ) с регулируемой энергией до 10 МэВ, работающие в режиме стоячей или бегущей волны. У каждой из двух структур есть свои преимущества и недостатки. В статье приводится возможность использования ускорителя с коротким группирователем с бипериодической ускоряющей структурой (БУС) на стоячей волне, где происходит ВЧ фокусировка и с ускоряющей секцией на бегущей волне на основе круглого диафрагмированного волновода (КДВ) с отрицательной дисперсией. Такая схема устройства позволяет отказаться от поглощающей нагрузки и ввести не использованную ВЧ мощность из КДВ в БУС. Рассмотрены вопросы расчета и настройки БУС и КДВ с вводами мощности, рассчитана динамика электронов и вопросы расчета согласования комбинированной ускоряющей структуры.

САВИН Е.А.¹, МАЦИЕВСКИЙ С.В.¹, СОКОЛОВ И.Д.¹, СОБЕНИН Н.П.¹,
ЛАЛАЯН М.В.¹, ЗАВАДЦЕВ А.А.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ООО «Нано Инвест»

Генераторно – ускорительный модуль с непосредственной подачей генерируемой мощности в бипериодическую ускоряющую структуру

В настоящее время разработано много разных ускоряющих структур для линейных ускорителей электронов (ЛУЭ) и существует относительно широкий выбор источников питания таких ускорителей. Для многих применений важным является разработка компактных ускорительных установок. В статье представлена концепция компактного ЛУЭ, в котором ускоряющая ячейка совмещена с выходной ячейкой системы питания, будь то клистрон или клистрод. Рассмотрены различные способы совмещения, приведены преимущества и недостатки каждого. Создан макет, состоящий из комбинированной ячейки и группирователя на базе бипериодической ускоряющей структуры. Приведены результаты тестовых измерений на резонансном макете.

СЕЛЕЗНЕВ Д.Н.¹, КУЛЕВОЙ Т.В.^{1,2}, ПЛОТНИКОВ С.В.¹, КОЗЛОВ А.В.¹,
КРОПАЧЕВ Г.Н.¹

¹ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Исследование масс-зарядового спектра пучка искрового источника

В ИТЭФ начаты работы с генератором плазмы ИНГ с целью его изучения и поиска возможных способов повышения его ресурса. На базе генератора плазмы из ИНГ создан ионный источник, формирующий пучок из плазмы данного генератора для последующего анализа ее масс-зарядного состава и его зависимости от режимов работы генератора плазмы. Представлен масс-зарядовый спектр пучка, измеренный магнитным и времяпролетным методами. Исследована работа ионного источника, подключенного по разным схемам и изучены зависимости параметров ионного пучка и изменение его состава от величины энерговыклада в разряд.

ШАШКОВ Я.В.¹, ГУСАРОВА М.А.¹, СОБЕНИН Н.П.¹, БАЗЫЛЬ Д.С.¹,
ДОНЕЦКИЙ Р.В.¹, ЛАЛАЯН М.В.¹, ЗОБОВ М.М.², ЗАВАДЦЕВ А.А.³

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²LNF Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Frascati (RM), Italy

³ООО «Нано инвест», Москва, Россия

Экспериментальное исследование модели гармонического сверхпроводящего резонатора для проекта повышения светимости БАК

В рамках проекта повышения светимости Большого адронного коллайдера рассматривается вопрос применения сверхпроводящих гармонических резонаторов. Предложена цепочка из двух резонаторов с гофрированными трубками дрейфа с одной стороны и соединенные между собой трубкой дрейфа малого диаметра. В работе приведены результаты измерений электродинамических характеристик (шунтового сопротивления $R_{ш}$ и внешней добротности $Q_{вн}$) и распределений полей основной волны и волн высших типов (ВВТ). Измерения проведенных в режиме стоячей и бегущей волн на алюминиевом макете с рабочей частотой 2400 МГц. Проведено их сравнение с результатами численного моделирования. Исследовано расщепленных резонансов некоторых ВВТ, а так же влияние ввода мощности на параметры основной волны. Измерения проведены как для устройств с нагрузкой в трубке дрейфа, так и без него.

ШЕСТАК В.П.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Аналитический обзор деятельности американского вакуумного общества

Проведен анализ работы одной из самых представительных в мире междисциплинарных ассоциаций – AVS: Science and Technology of Materials, Interfaces, and Processing (бывшее American Vacuum Society). Ассоциация ведет интенсивную консолидацию разработки новых перспективных материалов и технологий на основе понимания на наноуровне природы физико-химических свойств материалов, в том числе био, а также комплексных процессов, происходящих на поверхностях веществ и границах раздела сред, в том числе граничащих со сверхвысоким вакуумом. На основе библиометрических данных профильных журналов представлен импакт-анализ направлений исследований.

ШЕСТАК В.П.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Бифуркации и аттракторы вакуумной техники и технологии

Рассмотрена 100-летняя история развития физики вакуума и вакуумной техники в виде цепочек бифуркаций, ведущих исследователей от одних аттракторов к другим. Точки бифуркации выбраны соответствующими доминирующим в экономике технологическим укладам и эпохам: механизации, пара, стали, нефти и электричества, компьютеров и клеточных биотехнологий. К современным аттракторам вакуумной техники и технологии отнесены низкоэнтропийная физика пучков ускоренных частиц и атомно-молекулярная 2D нанотехнология.