

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И НАУЧНО-
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЗА 2018 ГОД

Директор ИФТТ РАН
д.ф.-м.н.

Левченко А.А.

Ученый секретарь ИФТТ РАН
д.ф.-м.н.

Абросимова Г.Е.

Оглавление

Характеристика научной деятельности ИФТТ РАН в 2018 году.....	3
Научные результаты, полученные в рамках выполнения Госзадания.....	4
Научные и научно-технологические исследования и разработки, финансируемые за счет внебюджетных источников.....	35
Гранты молодых ученых.....	35
Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ.....	35
Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ.....	46
Результаты, полученные при выполнении хоз.договоров.....	75
Научно-организационная деятельность ИФТТ РАН.....	81
Научно-образовательная деятельность ИФТТ РАН.....	82
Инновационная и выставочная деятельность.....	84
Сведения по международной деятельности ИФТТ РАН за 2018 г.....	91
Справка по штатному состоянию на 31 декабря 2018 г.....	99
Финансовая справка на 25 декабря 2018 года в тыс. руб.....	100

Характеристика научной деятельности ИФТТ РАН в 2018 году

В течение 2018 года Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук проводил научные исследования по следующим, ранее утвержденным и отраженным в плане работ на 2018 г., основным направлениям в рамках Государственного задания.

Научно-исследовательские работы ИФТТ РАН финансировались в основном из госбюджета РАН (госзадание), а также из различных Государственных программ и Фондов.

- Программы РАН – 7 программ;
- Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) и региональные РФФИ – 62 проектов;
- стипендия Президента РФ - 1;
- стипендия Правительства Московской области в сфере науки, технологии, техники и инноваций - 1;
- грант Правительства Московской области в сфере науки, технологии, техники и инноваций - 4;
- РФФИ – 17 проектов;
- контракты и договоры на выполнение НИР - 15 проектов;
- международные контракты – 3.

По результатам исследований научными сотрудниками Института в 2018 году на заседаниях Ученого совета был сделан около 90 научных докладов. Всего в 2018 году сотрудники института опубликовали 6 монографий и 271 статью в реферируемых журналах (68 Российских и 213 зарубежных) - всего 377 публикаций, из них 133 на русском языке, остальные – на английском, а также сделали 442 доклада на конференциях (в том числе около 300 - на международных).

Продолжил работу Распределенный центр коллективного пользования (РЦКП), обеспечивающий доступ как сотрудников ИФТТ РАН, так и другие институты РАН, к имеющемуся в ИФТТ РАН уникальному оборудованию для проведения исследований.

В 2018 году дирекция Института провела 43 заседания, на которых было рассмотрено около 100 вопросов.

Научные результаты, полученные в рамках выполнения Госзадания.

Тема 0032-2016-0001 Новые функциональные материалы

Раздел II. "Физические науки», подраздел 9. "Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы (в области физики и технологии новых функциональных материалов для эффективного преобразования энергии)" Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы

Методом тока, наведенного лазерным излучением (LBIC) исследовано поведение атомов хрома в кремнии при наличии дислокаций и ростовых комплексов вакансия-азот. Экспериментально установлено, что межузельные атомы хрома взаимодействуют с дислокациями и азотно-вакансионными комплексами, в результате чего почти все атомы Cr собираются в нано-преципитаты силицида хрома даже в закаленных образцах. Показано, что преципитаты силицида хрома являются эффективными центрами электрон-дырочной рекомбинации и значительно, в 3-7 раз, снижают диффузионную длину неосновных носителей в кремнии. Рекомбинационная активность преципитатов значительно увеличивается с увеличением скорости охлаждения образца после диффузии хрома, что, видимо, связано с уменьшением размера преципитатов и увеличением их плотности.

Обнаружено, что скорость электрон-дырочной рекомбинации на дислокациях сильно увеличивается после диффузии хрома, что, по-видимому, связано с формированием на-преципитатов силицида хрома на дислокациях.

Руководитель – член-корр. РАН В.В. Кведер

Показано, что введение оксида церия в количестве 1 мол.% увеличивает проводимость кристаллов твердых растворов $(\text{ZrO}_2)_{1-x}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_x(\text{CeO}_2)_{0.01}$ ($x=0.08 - 0.1$) полученных методом направленной кристаллизации. Обнаружена зависимость величины проводимости от содержания Sc_2O_3 . Показано, что наибольшей проводимостью обладают кристаллы $(\text{ZrO}_2)_{0.89}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_{0.1}(\text{CeO}_2)_{0.01}$. Исследование оптических характеристик показало, что в исследуемом диапазоне составов не удалось получить полностью прозрачные однородные кристаллы.

Руководитель – д.ф.-м.н. С.И. Бредихин

Синтезированы новые ионные жидкости (ИЖ) – динонилнафталинсульфонаты тетраэтил-, триэтилбензоил-, тетрабутил- и триоктилметиламмония (NR_4^+A^-). Установлено, что в присутствии этих ИЖ эффективность извлечения ионов урана, тория и РЗЭ из азотнокислых растворов карбамоилметилфосфиноксидами (L) увеличивается на 2 -3 порядка. Эффективность извлечения ионов металлов возрастает со снижением гидрофобности катиона ИЖ. Определена стехиометрия извлекаемых комплексов ($\text{РЗЭ} : \text{А} : \text{L} = 1 : 3 : 3$). Показана возможность нековалентного закрепления смеси ИЖ и нейтрального фосфорорганического реагента на поверхности полимерной матрицы для получения сорбентов для извлечения ионов урана, тория и РЗЭ из азотнокислых растворов.

Руководитель – д.х.н. А.Н. Туранов

Исследованы особенности низкотемпературной фотолюминесценции кремния после имплантации ионами Zn и облучения быстрыми ионами Хе дозами 5×10^{12} и 1×10^{14} см⁻²

². Показано, что увеличение дозы облучения Хе приводит к сильному возрастанию интенсивности люминесценции с максимумом около 2.9 эВ. Установлено, что источником интенсивной люминесценции в видимой области спектра являются радиационные дефекты в кристаллической решетке Si, образованные в процессе имплантации. Имплантация ионов Zn в кремний приводит также к появлению характерной дислокационной люминесценции. В спектре дислокационной люминесценции исследуемых образцов присутствует только ее длинноволновая часть, что связано с особенностями морфологии образовавшихся дислокаций. Дополнительное облучение кремния ионами Хе приводит к увеличению интенсивности линий дислокационной люминесценции, что связано с ростом плотности дислокаций. Дальнейшее увеличение дозы облучения ионами Хе приводит к сильному гашению дислокационной люминесценции вследствие роста числа дополнительных каналов рекомбинации носителей заряда. Показано, что при повышении температуры образца происходит сдвиг длинноволновой части ДЛ в высокоэнергетическую сторону при уровне легирования Si висмутом $\geq 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Показано также, что величина наблюдаемого сдвига увеличивается с ростом концентрации примеси. Начало сдвига коррелирует с энергией ионизации донора.
Руководитель – к.ф.-м.н. А.Н. Терещенко

Разработан оригинальный способ выращивания Cd_3As_2 кристаллизацией капель во встречном потоке инертного газа. Предложен сталагмаинжектор для реализации процесса роста. Выбраны технологические параметры, оптимальные для получения тетрагональных монокристаллов $\alpha\text{-Cd}_3\text{As}_2$ диаметром до 5 мм в потоке аргона.

Выращенные кристаллы демонстрируют поверхностную сверхпроводимость в областях площадью $\approx 100 \text{ мкм}$ между сколотой по (112) поверхностью Cd_3As_2 и планарным золотым контактом толщиной 100 нм, нанесенным на диэлектрическую подложку. Критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние составляет $\approx 1 \text{ К}$. Параллельными измерениями установлено, что объемная сверхпроводимость в материале не наблюдается. Воспроизводимость результатов была подтверждена измерениями на образцах из четырех кристаллов.

Руководитель: к.т.н. Колесников Н.Н.

Разработан новый способ синтеза кубических нанокристаллов (НК) фазы C8. Данная структурная модификация углерода относится к алмазоподобным фазам, имеет самую высокую плотность среди всех углеродных материалов (4.1 г/см^3), превышающей плотность алмаза на 15 %. Показано, что при карбонизации паров антрацена происходит осаждение углеродной пленки на подложку с образованием в ней пластинчатых НК C8 размером 5-25 нм. Анализ электронограмм и электронно-микроскопических изображений прямого разрешения решетки подтвердил образование углеродных НК C8 объемноцентрированной кубической структуры с параметром элементарной ячейки $4.08 (0.02) \text{ \AA}$. Предложена гипотеза о возможности образования нанокристаллов C8 в паровой фазе, получившая подтверждение в эксперименте.

Руководитель: д.т.н., профессор Емельченко Г.А.

На основе разработанной в ИФТТ РАН технологии выращивания $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (BSCCO) монокристаллов и их последующей фрагментации и отжига, получены монокристаллы BSCCO, обеспечившие изготовление мезы диаметром 0.5 мм, способные излучать на частоте 0.8 ТГц. Работа выполнена совместно с группой А.Л.Панкратова ИМС РАН (г.Нижний Новгород), где были разработаны излучатели

терагерцового диапазона. На текущий момент ИФТТ РАН является единственным производителем BSCCO кристаллов в России.

Руководитель: к.т.н., Кулаков АБ.

Исследовано влияние термообработки опаловых матриц на их сорбционные свойства и эффективный показатель преломления. Установлено, что, несмотря на то, что анализ изотерм адсорбции азота для опаловых структур свидетельствует о низкой величине удельной поверхности (10–15 м²/г), опаловые структуры способны адсорбировать из воздуха до 0.13 г Н₂О на 1 г сухого SiO₂. Построены экспериментальные кинетические кривые адсорбции водяного пара из воздуха опаловыми структурами в диапазоне температур отжига 100–900°C. Получены зависимости значений показателя преломления сухих и заполненных адсорбированной водой опаловых структур от температуры отжига.

Синтезирован сверхпроводящий оксид $\text{Eu}_2\text{Ba}_3\text{Cu}_5\text{O}_{11+\delta}$ (Eu-235) – новый член гомологического ряда $\text{Eu}_n\text{Ba}_m\text{Cu}_m + n\text{O}_y$ ($n=2, m=3$). Найдены оптимальные условия синтеза однофазных по данным РФА керамических образцов оксида Eu-235 тетрагональной и ромбической структуры. Однако методом ЭА в ПЭМ показана неоднородность образцов Eu-235 по катионному составу. Обнаружено, что оксид способен диспропорционировать в соответствии с реакцией $3\text{Eu}_2\text{Ba}_3\text{Cu}_5\text{O}_y \rightarrow \text{Eu}_3\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_y + \text{Eu}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_y$, которая подтверждается измерениями температурной зависимости магнитной восприимчивости $\chi=f(T)$, а также методом ЭА в ПЭМ. Согласно изображениям ВРЭМ тетрагональный и ромбический образцы Eu-235 также как и Eu-123 наноструктурированы и состоят из когерентно сращенных доменов оксидов гомологического ряда $\text{Eu}_n\text{Ba}_m\text{Cu}_m + n\text{O}_y$.

Руководитель: д.т.н., профессор Емельченко Г.А.

Тема 0032-2016-0002 Коллективные явления в электронных и экситонных системах в полупроводниковых наноструктурах

Раздел II. "Физические науки», подраздел 8. "Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости". Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы

Явление индуцированных микроволновым излучением осцилляций магнетосопротивления было изучено в серии ZnO/MgZnO гетеропереходов, характеризующихся различной плотностью двумерных электронов. Было обнаружено, что эффективная масса электрона m , определенная по периоду индуцированных микроволновым излучением осцилляций магнетосопротивления, существенно зависит от электронной плотности. При больших значениях плотности электронная масса стремится к эффективной массе электрона в объемном ZnO, а при малых концентрациях масса значительно возрастает и становится существенно больше объемной циклотронной массы электрона. Полученные экспериментально результаты явно указывают на существенное влияние эффектов электрон-электронного взаимодействия на явление индуцированных микроволновым излучением осцилляций магнетосопротивления.

Экспериментально исследованы спектры микроволнового поглощения двумерной электронной системы на основе GaAs/AlGaAs гетероструктур в перпендикулярном

магнитном поле. Разработана уникальная неинвазивная методика возбуждения “темных” осесимметричных плазменных колебаний в одиночных дисках двумерных электронов. Детально исследованы условия возбуждения и физические свойства новых “темных” плазменных мод. Установлено отличное согласие полученных экспериментальных результатов с теоретическими предсказаниями.

Возбуждение долгоживущих триплетных магнитоэкситонов в холловском изоляторе (фактор заполнения $\nu = 2$) с высокой подвижностью электронов при низких температурах $T < 1$ К позволило открыть новое коллективное состояние - магнитофермионный конденсат, взаимодействующий когерентно с внешним электромагнитным полем. Установлено, что конденсат обладает сверхизлучающими свойствами и, благодаря своей низкой вязкости, распространяется по поверхности двумерной структуры на макроскопически большие расстояния.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

Исследовалась степень циркулярной поляризации и эффективность излучения электрически накачиваемых поляритонных лазеров на основе GaAs квантовых ям, помещенных в высокодобротные микрорезонаторы с легированными Брэгговскими зеркалами. На верхнем Брэгговском зеркале микрорезонаторов при травлении на часть его высоты изготавливались структуры, представляющие собой квадратные решетки фотонных кристаллов из периодически расположенных хиральных фигур. Установлено, что в таких структурах возможно создание электрически накачиваемых поляритонных лазеров с циркулярно-поляризованным излучением.

Исследовались спектры комбинационного рассеяния света в нанокристаллических образцах $Gd_2Zr(Hf)O_5$ с высокодефектной флюоритпроизводной структурой, синтезированных при температуре 1000–1600 °С. Установлено образование в процессе синтеза двух фаз одинакового состава: нанокристаллической разупорядоченной флюоритоподобной (F) ($Fm\bar{3}m$) и сопряженной с ней наноразмерной упорядоченной флюорит производной (C1) ($Ia\bar{3}$) и определены параметры их кристаллических решеток. В спектрах комбинационного рассеяния света в $Gd_2Zr(Hf)O_5$ присутствуют широкие полосы в низко- и высокочастотных областях: при ~ 118 (108), 362 (353) и 670 (665) cm^{-1} , характеризующие C1- и F-фазы соответственно.

Руководитель: член-корр. РАН В.Д. Кулаковский

В полевых транзисторах с высокой подвижностью носителей заряда (HEMT в англоязычной литературе), изготовленных на основе гетероструктур GaAs/AlGaAs, исследованы зависимости низкочастотного импеданса между затвором и проводящим каналом транзистора от измерительной частоты и напряжения смещения. Установлена немонотонная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от измерительной частоты с максимумом, разделяющим области низких и высоких частот, в которых величина тангенса мала и импеданс является емкостным. В области низких частот обнаружена сильная зависимость емкости от напряжения смещения. Наблюдающиеся эффекты объясняются наличием в гетероструктуре слоя легирования с конечной величиной проводимости. Установлено, что проводимость по слою легирования осуществляется электронами, несмотря на положительный полный заряд слоя. Напряжение смещения приводит к изменению плотности электронов в слое вплоть до нулевого значения при пороговом отрицательном значении.

Отработаны методики изготовления планарных джозефсоновских переходов, базирующиеся на методе электронной литографии, где в качестве слабой связи

используются выращенные электролитически нанопроволоки из меди, золота и гибридные из меди и никеля.

Руководитель: д.ф.-м.н. С.И. Дорожкин

При исследовании транспорта через многоконтактную структуру со сверхпроводящими контактами к топологическому полуметаллу показан перенос сверхтока двумерными поверхностными состояниями. Анализ температурных зависимостей продемонстрировал значительное увеличение длины когерентности в поверхностном состоянии по сравнению с объемными характеристиками полуметалла, что, по-видимому, обусловлено топологической защищенностью поверхностных состояний.

Исследованы свойства сильно коррелированных состояний при низких электронных плотностях в изолирующей фазе двумерных электронных систем в кремниевых МОП структурах при низких температурах. Обнаружен широкополосный шум в узкой области напряжений на образце, которая соответствует особенностям, наблюдаемым на пороговых вольт-амперных характеристиках. Полученные экспериментальные результаты находятся в согласии с модельными расчетами для запиннированного Вигнеровского кристалла.

Двухзондовый атомно-силовой микроскоп был существенным образом модернизирован, что позволило улучшить основные характеристики микроскопа и расширить область его применения, а именно:

1. Был существенно уменьшен шум в системе обратной связи, что привело к качественному улучшению топографических изображений итогового результата манипулирования.
2. Продемонстрированы устойчивые результаты сканирования проводящих металлических структур, демонстрирующие хороший омический контакт зонд-образец без подгорания контактов даже при большом измерительном токе (1мкА).
3. Продемонстрирована возможность реализации новой методики бесконтактного, т.е., идеально неразрушающего манипулирования нанопроволоками на подложке.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Шашкин

Синтезированы монокристаллы высокотемпературных сверхпроводников системы Bi - Sr - La - Cu - O с различным содержанием компонент Sr, La и кислорода. Измерены температурные зависимости глубины проникновения поля в кристаллах семейства Bi-Sr-La-Cu-O с разной температурой сверхпроводящего перехода.

Проведены измерения магнитосопротивления в квазидвумерном проводнике TbTe₃ с волной зарядовой плотности в широком интервале температур и в магнитных полях до 17 Тл. При температуре, значительно ниже температуры пайерлсовского перехода, и в больших магнитных полях магнитосопротивление демонстрирует линейную зависимость от магнитного поля, обусловленную рассеянием нормальных носителей на "горячих" точках поверхности Ферми. В режиме движущейся ВЗП в слабых магнитных полях наблюдается качественное изменение магнитосопротивления, связанное с сильным рассеянием носителей на скользящей ВЗП.

Были проведены измерения поверхностного импеданса в монокристаллах Sr₂RuO₄ в широком частотном диапазоне от 9 ГГц до 42 ГГц, которые демонстрируют необычные свойства этого материала в сверхпроводящем состоянии: малое изменение поглощения СВЧ-излучения при переходе из нормального в сверхпроводящее

состояние и необычная температурная зависимость мнимой части импеданса. Был разработан самосогласованный подход для расчета локального импеданса шероховатой поверхности хирального р-волнового сверхпроводника. Используя квазиклассический формализм Эйленбергера-Ларкина-Овчинникова, был численно найден парный потенциал, спаривающие функции и поверхностную плотность состояний с учетом диффузионного электронного рассеяния на поверхности. Качественно, особенности Sr_2RuO_4 объясняются в рамках хирального р-волнового спин-триплетного спаривания и возникновения нечетно-частотной сверхпроводимости на поверхности.
Руководитель: к.ф.-м.н. В.С. Храпай

Тема 0032-2016-0003 Когерентные состояния и фазовые превращения в жидких и твердых телах

Раздел II. "Физические науки», подраздел 8. "Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости", подраздел 9.

"Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы (в области физики и технологии новых функциональных материалов для эффективного преобразования энергии)", подраздел 12.

"Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений" Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы

Проведены эксперименты по определению характеристик вихревой системы при пропускании постоянного теплового потока в сверхтекучем гелии по длинному волноводу. Исследовано влияние длины пробега пробных импульсов в объеме со стационарной плотностью вихрей. Установлено, что амплитуда импульсов слабо зависела от длины пробега, в то время как площадь импульсов (суммарная тепловая энергия импульса) падала экспоненциально с длиной капилляра. Полученные экспериментальные зависимости падения энергии импульса с показали заметно меньшую плотность вихревой системы по сравнению с оценками из теоретических представлений. Сравнение формы импульсов, зарегистрированных экспериментально, с результатами компьютерного моделирования указывает на сложное взаимодействие встречного течения нормальной и сверхтекучей компонент в тепловом импульсе с хаотичными потоками сверхтекучей компоненты в объеме с квантовой турбулентностью. Это выражается в резком падении амплитуды пробного импульса после прихода его фронта и его уширении. Объяснением такого поведения может быть неравномерное распределение плотности вихрей, равно как противотока нормальной и сверхтекучей компонент, по сечению узкого волновода. Подтвердить это предположение смогут эксперименты с другими диаметрами волновода, что и планируется сделать в дальнейшем.

Руководитель – д.ф.-м.н. В.Б.Ефимов

Показано, что при возбуждении вихревой системы колеблющимися телами – кварцевыми камертонами – в качестве меры перекачки энергии колеблющихся ножек

камертона в турбулентное состояние может служить отклонение от линейной зависимости скорости движения ножек (J) от приложенной силы (U) в единицах мощности. Так было оценено, что для характерных скоростей движения ножек в 0.5 м/с в вихревой системе возникает 10^8 метров вихрей каждую секунду, которые в стационарных условиях уравниваются скоростью их распада, определяемой и взаимоуничтожением вихрей и их диффузией в окружающее пространство. Однако для оценки распределения плотности вихрей нужно провести исследование, совмещающее генерацию вихрей камертонами и их детектирование импульсами второго звука. Проведенные исследования затухания вихревых движений на поверхности сверхтекучего гелия при наличии тепловыделения в объеме гелия. Установлено, что тепловыделения в объеме сверхтекучего гелия приводят к разрушению устойчивой структуры вихрей ранее сформированной волновой накачкой на поверхности сверхтекучего гелия. Эффект связан с возникновением неустойчивости Кельвина -Гельмгольца на поверхности He-II, носящей пороговый характер. Было установлено, что тепловыделение в объеме сверхтекучего гелия влияет на времена затухания как гравитационных, так и капиллярных волн на поверхности сверхтекучего гелия. При отсутствии тепловыделения времена затухания гравитационных волн существенно больше (в 6-7 раз) чем капиллярных. Наличие тепловыделения уменьшает характерные времена затухания волн. В случае гравитационных волн времена уменьшаются в 5-6 раз. В случае капиллярных волн уменьшение времен менее значительное - в 1.5 – 2 раза.

Руководитель – д.ф.-м.н. А.А.Левченко

Для визуализации вихревых течений, возникающих на поверхности сверхтекучего He-II при взаимодействии неколлинеарных поверхностных волн, в объем жидкости вводили полые стеклянные микросферы диаметром ~ 60 мкм и плотностью меньшей и близкой к плотности жидкого гелия, которые под поверхностью He-II объединялись в агрегаты (трассеры) характерными размерами 0.2-0.3 мм. Теоретически обосновано, что легкие трассеры, покрытые слоем жидкого гелия, могут формировать на поверхности He-II за счет сил поверхностного натяжения макроскопические плоские структуры - «снежинки» из стеклянных трассеров, которые наблюдались в этих экспериментах.

Руководитель – д.ф.-м.н. А.А.Левченко

Разработана методика измерения температурной зависимости диэлектрической проницаемости сыпучих и массивных образцов с помощью плоского спирального конденсатора. Были проведены исследования влияния размеров частиц на температурную зависимость емкости конденсатора от азотных температур до комнатных. В качестве частиц воды разного размера нами были использованы массивные образцы льда из дистиллированной воды, снежинки с микронной структурой и образцы наночастиц воды, полученных распадом из примесь-гелиевых гелей. Обнаружено для всех образцов, что в области температур 260-270 К емкость конденсатора резко возрастает, а затем при приближении к температуре плавления льда резко падает и лишь затем, после плавления льда приближается к величинам, характерным для диэлектрической проницаемости воды. Величина горба в диэлектрической проницаемости твердой воды резко возрастает при уменьшении частоты измерения и для малых частот (20-30 Hz) рост может достигать нескольких десятков раз. Для однозначного утверждения о связи наблюдаемого эффекта с ферроэлектрическим переходом в льде необходимы более подробные измерения в том

числе рентгеновские исследования параметров решетки в вышеуказанной области температур.

Для образцов наночастиц воды и тяжелой воды были проведены исследования скорости фазового перехода из аморфного состояния в кубический кристалл и далее кубического в гексагональный. Установлено, что в отличие от массивных образцов льда наночастицы, полученные методом распада примесь-гелиевого геля образуют аморфное состояние. Кристаллизация нанообразцов льда для дистиллированной воды начинается при 100 К при отжиге в 0.5 часа и при 120 К все образцы за десятки минут кристаллизуются. Как показали проведенные исследования для образцов тяжелой воды такая же кристаллизация заканчивается при температуре в 140 К, что близко к литературным данным для массивных образцов нормальной воды. Переход из кубического в гексагональный кристалл для образцов и нормальной и тяжелой воды сопровождается ростом кристаллитов до размеров в 100 нм при росте температуры с характерными временами в десятков минут, что примерно в три раза быстрее чем для массивных образцов. При этом для нанообразцов льда в гексагональную фазу переходили все образцы, в то время как для массивных гексагональных образцов остатки кубической фазы могли сохраняться в течении многих часов при температурах существенно выше равновесной температурой перехода.

Руководитель – д.ф.-м.н. Л.П.Межов-Деглин

Экспериментально и теоретически исследована кинетика кристаллизации аморфного сплава Fe₄₀Ni₄₀P₁₄B₆. Для аналитического описания кинетики кристаллизации использован подход, объединяющий модель зарождения Кашчиева и уравнения Колмогорова. Был установлен Аррениусовский тип температурной зависимости и энергии активации зарождения (383 К) и роста (706 К). При повышении температуры отжига с 617 до 662 К в величина экспоненты (n) Аврами уменьшается с 6.79 до 4.36, а скорость стационарного зарождения увеличивается практически на порядок.

Методами рентгенографии и просвечивающей электронной микроскопии (в том числе высокоразрешающей) определены основные структурные различия нанокристаллов, образовавшихся при нагреве и при деформации. На примере сплава Al₉₀Y₁₀ установлено, что кристаллы, сформировавшиеся после термической обработки сплава, имеют сложную форму, а также содержат множественные дефекты. Размер нанокристаллов превосходит 20 нм и они крупнее, чем нанокристаллы, образовавшиеся при деформации. Структурные исследования сплава Al₉₀Y₁₀ после нагрева показали, что практически все кристаллы (размером 20 нм и более) содержат двойниковые границы, а также дефекты упаковки. Двойникование таких нанокристаллов, происходит по плоскостям (111). Дефекты в более дисперсных нанокристаллах не обнаружены. Выявленные особенности структуры кристаллитов позволяют обосновать наблюдавшиеся в эксперименте более высокие показатели механических характеристик в сплаве Al₉₀Y₁₀ после деформации, чем в том же сплаве, но после термообработки.

Изучены свойства гибридных органико – неорганических структур: наночастицы Ag, в органической матрице CuPc (фталоцианин меди) с широкой запрещенной зоной. Исследования проводились с помощью TEM, HR-TEM, LEED, CL-PES, а также NEXAFS в условиях сверхвысокого вакуума. В качестве источника фотонов использовалось перестраиваемое поляризованное синхротронное излучение. Обнаружена самоорганизация серебряных наночастиц. Наблюдались три стадии формирования гибридной структуры при осаждении серебра на органическую пленку. Размерные параметры и морфология наночастиц коррелируют с количеством нанесенного серебра. Для небольшого количества осажденного Ag (около 1-4 Å) наблюдается образование диполей. При дальнейшем осаждении (4-16 Å, > 16 Å)

происходит самоорганизация атомов серебра в сферические наночастицы и, на третьем этапе ($> 16 \text{ \AA}$), - коалесценция нескольких наночастиц в агломераты. Изученные характеристики этой гибридной системы можно использовать для разработки различных типов гибридных устройств на основе органических и неорганических веществ.

Руководитель д.ф.-м.н. проф. А.С.Аронин

Методами рентгенографии исследованы особенности образования фаз TbVO_3 при изотермических отжигах. Показано, что формирование TbVO_3 осуществляется через образование промежуточных переходных двухфазных состояний. Ватеритная модификации TbVO_3 (S.G. $P63/mmc$) остается единственной в температурном интервале $900\text{--}1250^\circ\text{C}$.

Обнаружено, что высокотемпературный отжиг полученных гидротермальным синтезом ортоборатов гадолиния и иттрия, активированных церием и тербием и твердых растворов ортоборатов на основе иттрия, гадолиния и лютеция $\text{RE}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Tb}_y\text{VO}_3$ ($\text{RE} = \text{Lu}_{0.5}\text{Gd}_{0.39}$; $\text{Lu}_{0.5}\text{Y}_{0.39}$; $\text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.39}$) увеличивает более чем на два порядка интенсивность свечения ионов Tb^{3+} при возбуждении образцов в полосе возбуждения ионов Ce^{3+} . Свечение ионов тербия при возбуждении в полосе поглощения ионы Ce^{3+} свидетельствует о том, что свечение ионов тербия происходит в результате переноса энергии электронного возбуждения от ионов Ce^{3+} к Tb^{3+} , который осуществляется по механизму кулоновского диполь – дипольного взаимодействия между церием и тербием. Определено, что максимальное («пороговое») расстояние, при котором может осуществляться процесс переноса возбуждения от церия к тербию, составляет $\sim 16 \text{ \AA}$. Образцы после отжига имеют моноклинную решетку с пространственной группой $C2/c$. Исследованные ортобораты могут рассматриваться в качестве эффективных зеленых люминофоров для светодиодных источников света.

Проведены структурные, мессбауэровские и магнитные исследования легированного кальцием манганита лантана $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Mn}_{0.98}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3+\delta}$ (где $x = 0.05, 0.10, 0.20$) как нестехиометрического (LCM-NS), так и стехиометрического (LCM-S) составов в широкой температурной области ($300 - 80 \text{ K}$). Показано, что ромбоэдрическая фаза исходных синтезированных образцов после вакуумного отжига имеет стехиометрический состав по кислороду и переходит в смесь трех ромбических фаз PnmaI , PnmaII и PnmaII^* . При низких температурах в образцах стехиометрического состава каждая ромбическая фаза переходит в соответствующее магнитное состояние: фазы PnmaII и PnmaII^* в антиферромагнитное, фаза PnmaI в ферромагнитное состояние. Выявлена корреляция структурных и магнитных свойств.

Руководитель: д.ф.-м.н. И.М.Шмытько

Методами секционной и проекционной рентгеновской топографии и методами численного моделирования исследованы механизмы образования изображения локальных деформаций в проекционной топографии. Установлено, что секционные изображения передают не полный вид розетки эффективных разориентаций, а только ее срез, ограниченный треугольником рассеяния. Обнаружено, что в формировании этого среза участвуют сразу несколько дифракционных механизмов – фокусировка и дефокусировка рентгеновских волновых полей; каналирование волн; образование новых волновых полей за счет межветвевое рассеяния в сильно искаженной области

локальных разориентаций. Показано, что проекционные изображения формируются в результате последовательного суммирования всех факторов, участвующих в дифракции. Для экспериментального исследования с максимально возможной количественной информацией о дефектах структуры кристаллов необходимо использование вторичного источника малого поперечного размера с необходимой угловой расходимостью. Показано, что вторичный источник с малым фокусом можно создать, используя составную преломляющую линзу, в отличие от щели, как это делалось ранее. При этом в качестве анализатора можно использовать один или два кристалла в геометрии Лауэ. Методом численного моделирования показано, что в одно и двух кристалльной схеме спектральное разрешение зависит от толщины кристаллов.

Руководитель д.ф.-м.н. проф. Э.В.Суворов

Исследованы магнитные, магнитотранспортные и магнитооптические свойства неколлинеарного антиферромагнетика Mn_3Sn . Установлена корреляция между аномальным эффектом Холла и эффектом Керра. Впервые удалось наблюдать в металлическом антиферромагнетике как полярный, так и экваториальный эффект Керра. Обнаружено, что неколлинеарный металлический антиферромагнетик Mn_3Sn демонстрирует большой угол (~ 20 мград) керровского вращения при комнатной температуре, сравнимый с углом в ферромагнитных металлах. С помощью моделирования показано, что большую величину эффекта Керра в полностью компенсированном антиферромагнитном состоянии Mn_3Sn обеспечивает ферромагнитное упорядочение их магнитных октуполей. Благодаря этому эффекту удалось визуализировать магнитные октупольные домены и их перемагничивание. Наличие большого Керр-эффекта открывает новые возможности изучения динамики доменов и использования металлических антиферромагнетиков в элементах спинтроники.

Исследован новый механизм переключения намагниченности спиновым током за счёт спин-орбитального крутящего момента (spin-orbit torque) в гетероструктурах с перпендикулярной анизотропией. Изучены ферромагнитные тонкие плёнки в $CoFeB$, обменно связанные с тяжёлыми металлами (Pt , W , Ta), обладающими большими значениями спин-орбитального взаимодействия. Обнаружено, что в структуре $Pt/W/CoFeB/MgO$ с двумя слоями тяжёлых металлов с разным спин-орбитальным взаимодействием и характеризующихся противоположной поляризуемостью спинов в них реализуется переключение намагниченности током без приложения внешнего магнитного поля. Визуализация доменной структуры в гетероструктуре с помощью эффекта Керра выявила асимметрию смещения доменных границ различной хиральности под действием тока, обеспечивая её перемагничивание. Обнаруженный эффект не описывается существующими теоретическими моделями и не реализуется без дополнительного приложения магнитного поля в структурах с одним слоем тяжёлых металлов. Это открытие не только перспективно для использования эффекта спин-орбитального вращения спинов в энергонезависимых технологиях, но также инициирует выяснение закономерностей механизма переключения намагниченности магнитных гетероструктур, вызванного спин-орбитальными крутящими моментами.

С помощью акустической эмиссии исследована эволюция пластической деформации в сплавах $AlMg$. Показано, что пластическая деформация имеет прерывистый характер, как во время скачков нагрузки, так и во время гладкого течения. Установлено, что возникновение глубоких скачков нагрузки при медленных скоростях деформации обусловлено синхронизацией в ансамбле дислокаций. С помощью статистического анализа различных подмножеств акустических событий изучен механизм синхронизации дислокаций. Важным результатом является обнаружение кроссовера в показателях степенных распределений для событий, возникающих во время глубоких

скачков нагрузки. Предполагается, что это связано с переходом от последовательного (цепного) запуска к одновременному (перекрывающемуся во времени) запуску лавин дислокаций.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.С. Горнаков

Исследованы процессы формирования композиционных микроволоконных сцинтилляторов центрифугированием. Обнаружена внутренняя наноструктурная самоорганизация микроволокон, приводящая к существенному улучшению чувствительности, пространственного и временного разрешения радиационных детекторов.

Исследованы процессы пластического деформирования кристаллов в зависимости от их структуры, типа межатомных связей и характера внешних воздействий. На основе сопоставительного анализа процессов деформирования и возникающих при этом систем структурных дефектов установлено возникновение взаимных динамических корреляций между периодическими системами дефектов, фоннными и электронными возбуждениями, позволяющее заданным образом управлять как процессами деформирования, так и результирующими сверхструктурами.

Руководитель к.ф.-м.н. Н.В. Классен

На основе прецизионных измерений высокочастотного модуля сдвига в нескольких типах металлических стекол установлено, что его изотермические изменения в предварительно глубоко отрелаксированных образцах заметно отличаются по характеру в зависимости от температуры испытаний. При температурах ниже некоторой T_{pc} вначале наблюдается быстрое понижение модуля, которое затем сменяется его очень медленным повышением. Достигаемое при этом минимальное значение модуля сдвига (квазиравновесное состояние) зависит от температуры и предварительной термообработки. При температурах выше T_{pc} наблюдается только понижение модуля с выходом на насыщение, которое является равновесным и не зависит от термической предыстории образца. Положение T_{pc} соответствует температурам на 20-30К ниже температур стеклования соответствующих стекол. По существу она представляет собой низкотемпературный предел линейной аппроксимации температурной зависимости модуля из области переохлажденной жидкости, что соответствует псевдокритической температуре Каузмана, ниже которой экстраполяция свойств переохлажденной жидкости не имеет физического смысла. Микроскопическая природа изменений модуля сдвига, приводящая к квазиравновесному (при $T < T_{pc}$) или метастабильному равновесному (при $T > T_{pc}$), объяснена на основе Междоузельной теории Гранато.

Руководитель: к. ф.-м. наук Н.П.Кобелев

Измерены спектры комбинационного рассеяния света (КРС) и определена барическая зависимость фоннных мод нейтральных металлофталочианинов $V^{IV}ORc$ и $Ti^{IV}ORc$ при давлениях до 10 ГПа. Определена барическая зависимость параметров элементарной ячейки $V^{IV}ORc$ методом рентгеноструктурного анализа при давлениях до 4.2 ГПа. Зависимость хорошо описывается уравнением Марнагана с параметрами $B_0 = 7.6 \pm 0.5$ ГПа и $B' = 6.1 \pm 0.6$. Такие значения параметров характерны для кристаллов из сложных органических молекул с Ван-дер-Ваальсовским межмолекулярным взаимодействием. На барических зависимостях фоннных мод в диапазоне давлений 2.3–3.4 ГПа наблюдается изменение наклона и расщепление некоторых мод. Эти

особенности могут быть связаны с изменением чередования слоев молекул, характерного для политипов в этих материалах.

Руководитель: д.ф.-м.н. К. П. Мелетов

Методом осаждения пара на поверхность сверхтекучего He-II получены конденсаты абсолютизированного спирта C_2H_5OH . Рентгеноструктурное исследование показало, что конденсаты аморфны и содержат нанокластерные частицы с характерными размерами 5-30 нм. Установлено, что кристаллизация этилового спирта из аморфного состояния в моноклинную структуру проходит через кубическую, пластически деформированную фазу (КПДФ). Согласно калориметрическим исследованиям, кристаллизация нанокластерных образцов в моноклинную фазу происходит при температуре ~ 110 К, в то время как в массивных образцах этот переход наблюдается при более высокой температуре ~ 125 К.

Руководитель: д.ф.-м.н. В. В. Сеницын

Разработана методика гидрирования металлов с последующей закалкой до температуры жидкого азота в квазигидростатических камерах высокого давления С10 типа «Тороид» производства ИФВД РАН, что расширило рабочий диапазон давлений синтеза массивных образцов гидридов с 9 до 11 ГПа. Получение давлений выше 9 ГПа подтверждено синтезом дидейтерида тантала. Изучено насыщение оксида магния водородом при давлении 7.5 ГПа и температуре 250 °С. По данным термодесорбционного анализа, содержание водорода в гидрированных образцах MgO достигало молярного отношения $H_2/MgO = 0.005$.

Руководитель: д.ф.-м.н. В. Е. Антонов

Исследованы кристаллы новых молекулярных проводников на основе BEDT-TTF: $(BEDT-TTF)_4K_{0.8}(H_2O)_{0.2}[M^{3+}(C_2O_4)_3]G$ (G – молекула моногалогенпиридина). В анионном слое кристаллов с $M^{3+} = Cr$ или Ga найден сильный беспорядок, наблюдаемый впервые в этом семействе. Данный беспорядок препятствует появлению сверхпроводимости и осцилляций Шубникова-де Гааза, а также приводит к квантовой локализации на температурной зависимости сопротивления.

Определена структура новых молекулярных кристаллов, сочетающих магнетизм катионов $[Fe(III)(3-OMesal_2-trien)]^{3+}$ с проводящими свойствами анионов $[Au(dmit)_2]^-$ (1) или $[Au(dddt)_2]^-$ (2). Спин-кроссовер переход в магнитной подсистеме зафиксирован только в кристаллах 2, в то время как в более жесткой структуре 1 он отсутствует. Предложен новый структурный критерий для определения спинового состояния железа в катионах $Fe(sal_2-trien)$ -типа.

Получены кристаллографические данные для изоструктурных кристаллов нового семейства моноионных молекулярных магнетиков $Ln(H_2dapsc)(H_2O)_4(NO_3)_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er$). Установлено, что девятикоординационные ионы Dy и Er обладают мономолекулярным магнетизмом, в то время как молекулы с Tb и Ho не имеют этих свойств. Данные экспериментальные результаты были теоретически объяснены в модели гамильтониана кристаллического поля [4].

Руководитель: д.ф.-м.н. В. Р.П. Шибеева.

Проведен общий анализ структур и свойств кристаллов анион-радикальных комплексов на основе фуллерена C_{60} , в которых имеет место фрустрация спиновых

антиферромагнитных взаимодействий. Обобщены результаты по определению температуры Кюри-Вейса. Установлено, что значимые спиновые фрустрации проявляются для структур с межфуллереновыми расстояниями менее 10.4Å.

Были впервые получены точные рентгеноструктурные данные по монокристаллам комплекса $\{Co^I(dppe)_2CO\}^+(C_{60}^{\bullet-}) \cdot 1.5C_6H_4Cl_2$ (dppe - бис(дифенилфосфино)этан) (I). Характерной особенностью кристаллов комплекса I является высокая степень упорядоченности остовов радикальной формы $C_{60}^{\bullet-}$. Это допускает использование его структуры для анализа внутренних искажений фуллеренового каркаса, вызванных изменением электронного состояния молекулы C_{60} при ее заряде (эффект Яна-Теллера) и частичной потери ароматичности в π -системе. На основе данных рентгеноструктурного анализа, показано что эллипсоидальные искажения $C_{60}^{\bullet-}$ крайне малы. В тоже время, расчёты электронной структуры моноанина Расширенным методом Хюккеля показывают расщепление нижней свободной молекулярной орбитали (НСМО) на три уровня с интервалами 589 и 887 cm^{-1} . По-видимому, Ян-Теллеровские искажения для $C_{60}^{\bullet-}$ все же присутствуют в данной соли, но имеют динамический характер, поэтому быстрый переход Ян-Теллеровских конфигураций из одной в другую, усредняет влияние эффект Яна-Теллера на геометрию $C_{60}^{\bullet-}$. Однако, они могут быть стабилизированы при более низких температурах, о чем свидетельствуют, полученные нами данные SQUID магнитометрии на порошках комплекса.

Руководитель: к.ф.-м.н. С.С. Хасанов

Проведен анализ фаз высокого давления в щелочных металлах на примере цезия в рамках модели взаимодействия сферы Ферми и зоны Бриллюэна. Рассмотрение сложных структур и изменение межатомных расстояний приводит к заключению о перекрытии атомных остовов при сильном сжатии и увеличении числа валентных электронов за счет перехода электронов остовов в валентную зону. Для Cs-V со структурой oC16 при давлении выше 12 ГПа следует принять число валентных электронов равным 4, как для аналогичных фаз высокого давления в Si и Ge (четырёхвалентных элементах).

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Ф. Дегтярева

Алюмоборат европия $EuAl_3(BO_3)_4$ с кристаллической структурой хантита (ромбоэдрическая решетка с пространственной группой $R\bar{3}2$) имеет широкий спектр возможных технологических применений в качестве эффективных люминофоров, в оптических квантовых генераторах, в качестве элементов нелинейных оптических систем. Оптические свойства кристаллов $EuAl_3(BO_3)_4$ напрямую связаны с его структурными характеристиками. В проведённом исследовании методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения нами впервые было показано присутствие в ромбоэдрических микрокристаллах алюмобората европия когерентных доменов моноклинной фазы $EuAl_3(BO_3)_4$ (пространственная группа $C2/c$). Изучались структура и магнитные свойства аэрогелей ZnO. Образцы аэрогелей были получены методом сверхкритической сушки в CO_2 . Существуют теоретические расчеты, которые показывают, что структурные дефекты, такие как кислородные вакансии, могут быть причиной ферромагнитных свойств ZnO оксида цинка. Для создания таких вакансий полученные образцы аэрогелей ZnO подвергались отжигу при температуре 400°C в токе H_2 . Измерения SQUID показали, что аэрогели после обработки в токе водорода обладают магнитным моментом ~ 0.006 emu/g.

Исследования методом просвечивающей электронной микроскопии показывают присутствие зерен ZnO со структурой вюрцита и размером около 15 нм. Исследования с использованием метода STEM EELS позволили обнаружить в структуре аэрогелей ZnO областей с двумя разными типами спектров характеристических потерь энергии электронов. Первая область – это зерна ZnO, вторая – материал, расположенный между зернами. Спектр края поглощения кислорода O K от зернограницной области шире края, полученного от объема зерна, т.е. область границы зерна содержит состояние кислорода, которое отсутствует в объеме материала. Для уточнения природы этого дополнительного состояния требуются дополнительные эксперименты и расчеты.

Руководитель: к.т.н. А.А. Мазилкин

Тема 0032-2016-0004 Физика и технологии новых материалов и структур
Раздел II. "Физические науки», подраздел 8. "Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости", подраздел 9.
"Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы (в области физики и технологии новых функциональных материалов для эффективного преобразования энергии)" Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы

Развита прецизионная методика для исследования ферромагнитного резонанса (ФМР) в отдельных (в том числе слабоферромагнитных) пленках микронных размеров. В основе методики лежит использование высокодобротных тонкопленочных (копланарных) сверхпроводящих резонаторов. Исследован микроволновой отклик прямоугольного образца пермаллоя микронных размеров, продемонстрировано отклонение от ФМР зависимости, предсказанной формулой Киттеля, которое связано с размагничиванием образца и резонансом магнетостатических поверхностных волн.

Развита современная трехслойная (самосовмещенная) технология для приготовления сверхпроводящих фазовых инверторов (π -контактов) на основе джозефсоновских переходов Nb–Cu_{0.47}Ni_{0.53}–Nb. Использование этой технологии позволило увеличить плотности критических токов в π -состоянии трехслойных контактов сверхпроводник-ферромагнетик-сверхпроводник в 10 раз до величины 20 кА/см². Полученные результаты обеспечивают новые возможности использования сверхпроводящих фазовых инверторов (предложенных и разработанных в ИФТТ РАН) в цифровой и квантовой джозефсоновской электронике.

Численно исследовано влияние сверхпроводящего слоя (S) на дисперсионное соотношение для спиновых волн в ферромагнетике (F), индуктивно связанном со сверхпроводником в SF бислое. Индуктивная связь моделировалась как магнетостатическое взаимодействие микромагнитных макро-спинов в ферромагнитном слое с их изображениями, создаваемыми экранирующими токами в

сверхпроводнике. Показано, что взаимодействие со сверхпроводником увеличивает фазовую скорость спиновых волн. Кроме того, была обнаружена сильная невязанность, объясняемая различным действием компонент магнитостатических полей для противоположных направлений распространения спиновых волн. Таким образом, взаимодействие со сверхпроводником обеспечивает эффективный механизм подстройки дисперсионного соотношения для спиновых волн в ферромагнетике.

Руководитель: д. ф.-м. н, проф. В.В. Рязанов

Процессом электроформинга сформированы мемрезистивные структуры на основе монокристаллов селенида висмута и эпитаксиальных пленок $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-y}$, демонстрирующих стабильный более чем 1000 циклов биполярный эффект резистивных переключений с отношением $R_{\text{off}}/R_{\text{on}} \sim 10-1000$. Обнаружено, что время переходных процессов из одного метастабильного состояния в другое имеет быструю компоненту порядка микросекунд и медленную (хвост Шаттла). Полученные результаты описаны в рамках модели критического электрического поля, проведены численные расчеты параметров изученных структур. Методом численного моделирования показано, что при распаде высокопроводящего метастабильного состояния в активной области гетеропереходов формируется (gap-type) структура распределения электрического поля. Это обеспечивает воспроизводимость переключений.

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.А.Тулина

Предложен прибор для накопления изотопа ^{15}N конденсацией центра струи при пропускании струи горячего аммиака через сопло. Прибор позволяет многократно проводить процесс без демонтажа установки. Полученный коэффициент разделения изотопов достаточно близок к теоретически возможному значению. Предложен метод очистки олова за счет различного поведения примесей в его металлической и полупроводниковой твердых фазах, т.е. в фазах белого и серого олова. Исследуются процессы в воде, находящейся в периодическом движении с частотой 1 Гц. Показано, что колебания воды увеличивают концентрацию протонов и продуктов с высоким потенциалом окисления, необходимых для жизни. Полученные результаты полезны для понимания процессов в кровяных капиллярах, связанных с обменом веществ.

Руководитель: к. ф.-м. н А.Д. Стыркас

Транспортные, магнитные и оптические исследования показали, что монокристалл $\text{EuRbFe}_4\text{As}_4$ является ферромагнитным сверхпроводником, с критической температурой 36K, в котором сверхпроводимость не подавляется ниже температуры ферромагнитного упорядочения ионов Er при 15K[1]. Поскольку магнитный момент лежит в базисной плоскости не наблюдалась доменная структура методом MCM и декорирования, как в монокристаллах ферромагнитного сверхпроводника ErFeAsP .

Руководитель: д.ф.-м.н. Л.Я. Винников

Проведено численное моделирование процесса силицирования пористых углеродных матриц различного типа: биоморфных матриц, полученных пиролизом древесины и искусственных пористых графитов, полученных смешением и компактированием углеродных порошков различных фракций с органическим связующим. Выведены уравнения для прогнозирования плотности материала после силицирования при условии достижения термодинамически равновесного двухфазного состава. Получены выражения, связывающие разницу между расчетной и экспериментальной плотностью со степенью протекания реакции образования карбида

кремния, что позволило разработать простой метод неразрушающего определения фазового состава материала, не требующий использования специального оборудования. Показано хорошее совпадение расчетных значений фазового состава SiC-Si-C керамик с экспериментальными результатами, определенными методом металлографического анализа микроструктуры

Руководитель: д.т.н. В.Н. Курлов

На основе профилированного сапфира разработаны и изготовлены макеты оптических имплантатов для лабораторных животных (мышей и крыс) для пролонгированных спектрофотометрических измерений интракраниальных моделей опухолей. Сапфир обладает механической прочностью, инертностью к биологическим тканям, в том числе, биосовместимостью с тканями мозга, в сочетании с оптической прозрачностью в широком диапазоне длин волн. Имплантаты с геометрией в виде сквозного или закрытого капилляра с расширением для фиксации в черепной коробке были получены методом Степанова с минимальной финишной механической обработкой. Данные имплантаты показали умеренную реакцию тканей мозга, хорошую остеоинтеграцию и будут использованы при разработке новых фотосенсибилизаторов и биомаркеров для фототераностики глиальных опухолей мозга. В частности, предложен и опробован нейро-комплекс, состоящий из оптического сапфирового имплантата и остеопластического биоматериала «Коллапан» в качестве депо фотосенсибилизатора фталоцианина алюминия в наноформе. Нейро-комплекс обеспечил прямой многократный доступ лазерного излучения вглубь мозговой ткани, а также доставку и локализацию фотосенсибилизатора непосредственно к патологической ткани (ложе удаленной опухоли), что позволило осуществить многократную локальную фототераностику данной глубокозалегающей области без повторного хирургического вмешательства.

Руководитель: к.ф.-м.н. И.А. Шикунова

Разработан способ контролировать количество и качество синтезированных графеновых слоев на подложке широко зонного полупроводника *in-situ* во время UHV синтеза. Для этого изучены и систематизированы XPS спектры с высоким разрешением глубоких уровней и валентной зоны; высокого энергетического разрешения фотоэлектронные спектры с угловым разрешением, уникальные изображения низко - энергетической электронной микроскопии и дифракции электронов низких энергий. Полученные экспериментальные данные являются по существу первым и единственным в мире руководством по выращиванию графена контролируемым способом в реальном времени. Все имеющиеся до настоящей работы методы позволяют оценить и характеризовать графен только после окончания некоторого длительного процесса, происходящего без участия оператора.

Изучена модификация графена методом его функционализации органическими молекулами с использованием реакции, индуцированной белым светом. Показано, что фотохимически генерируемые феназиновые радикалы реагируют с графеном, что приводит к ковалентной модификации его поверхности. Обнаружены: (i) саморегулируемый рост одного монослоя молекул феназина, (ii) эти молекулы стоят вертикально на поверхности графена, и (iii) имеет место ближний порядок (iv), молекулы образуют прямоугольную элементарную ячейку. Расчеты DFT показали, что молекулы ковалентно связаны с каждым восьмым атомом углерода графена. Измерения методом сканирующей туннельной спектроскопии показали, что гибридная структура феназин-графен имеет широкую запрещенной зоны. Показана применимость фотохимического метода для открытия запрещенной зоны

поверхностных слоев графена с помощью функционализации крупными органическими молекулам
Руководитель – д.ф.-м.н. В.Ю. Аристов.

Методами сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии исследованы атомная и электронная структуры поверхностей скола трехкомпонентных соединений $\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Se}_3$ с различными концентрациями атомов индия. С помощью данных СТМ высокого разрешения определены типичные дефекты кристаллической решетки, которые по-разному визуализируются при изменении параметров туннелирования. Наиболее часто в СТМ-экспериментах наблюдались дефекты, связанные с расположением атомов индия в подрешетке висмута и между узлами кристаллической решетки. Также в экспериментах наблюдались подвижные (даже при низких температурах) атомы индия, располагавшиеся до скалывания кристаллов между слоями атомов селена, связанных слабой ван-дер-Ваальсовой связью. Показано, что для соединений $\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Se}_3$ изменение концентрации атомов индия в кристаллической решетке приводит к увеличению кластеров с локальной стехиометрией In_2Se_3 и, как следствие, переходу от топологического к тривиальному состоянию.

Руководитель к.ф.-м.н. А.Н. Чайка

При помощи СТМ было проведено исследование динамики вращения молекул C60 в ультра тонкой, монослойной пленке вблизи вращательного фазового перехода в присутствии сильного электрического поля. Исследования проведены при температуре 256K. Телеграфный шум в туннельном токе/положении зонда СТМ расположенного над молекулой C60, обусловленный переключением молекулы между ближайшими по энергии по энергии ориентациями молекулы позволил определить разницу энергий между этими ориентациями и потенциальный барьер, который молекуле необходимо преодолеть при переключении. Показано, что величина потенциального барьера зависит от полярности напряжения на зонде СТМ. Величина потенциального барьера больше на 80мэВ в случае отрицательного потенциала на зонде. Это связано с двумя обстоятельствами: при протекании туннельного тока (при отрицательной полярности напряжения) создаются условия для реализации кулоновской блокады и, следовательно, на молекуле C60 аккумулируется отрицательный заряд, обусловленный протеканием тока; при изменении ориентации молекулы происходит разрыв координационной связи молекулы с атомом подложки W, что приводит к увеличению расстояния C60-подложка. Изменение электростатической энергии заряженной молекулы в Электрическом поле зонда СТМ и является причиной увеличения потенциального барьера.

Руководитель: к.ф.-м.н. С.И. Божко

Проведены исследования формирования дефектной структуры на поверхности (111) топологического полуметалла Bi методами дифракции медленных электронов (ДМЭ), рентгеновской и ультрафиолетовой электронной спектроскопии, сканирующей туннельной микроскопии/спектроскопии. Обнаружено, что в результате воздействия электронного пучка в широком диапазоне температур не происходит полной аморфизации поверхности, что подтверждается исследованиями ДМЭ. Методом ультрафиолетовой электронной спектроскопии обнаружено увеличение плотности состояний вблизи уровня Ферми, что, по-видимому, связано с нарушением пайерлсовского перехода на поверхности при нарушении кристаллической структуры поверхности при ионной бомбардировке.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.М. Ионов

Продолжены исследования структуры и механических свойств жаропрочных свойств легированных сплавов системы Nb-Nb₅Si₃. Основное внимание было уделено механизмам релаксации напряжений при испытании на высокотемпературную ползучесть. Определена энергия активации ползучести двух сплавов с различным содержанием упрочняющей фазы Nb₅Si₃ в температурном интервале 1200-1300°C. Из сравнения этих данных и значений показателя степени n сделан вывод о том, что контролирующим процесс релаксации напряжений является пластическая деформация интерметаллида. Высказано предположение о механизме этой деформации.

Получены первые образцы сложных многослойных композитов, дополнительно упрочненных волокнами монокристаллического сапфира. Образцы изготавливали методом диффузионной сварки и последующей термообработки. Испытания полученных образцов на изгиб при постоянной скорости нагружения показали, что их прочность при температурах до 1300°C может достигать 300 МПа.

Изучали особенности и изменения фазового состава при кристаллизации составов системы Mo-Si-C близких к фазе Новотного (ФН) Mo_{4,8}Si₃C_{0,6} которые удалось получить используя методы порошковой металлургии. Установлено, что расплавленный состав близкий к точной стехиометрии фазы Новотного при относительно быстром охлаждении (вместе с печью) приводит к образованию наряду с ФН значительного количества фазы Mo₅Si₃. Если этот же материал повторно расплавить и охладить медленно, то кристаллизуется ФН.

Руководитель: член-корр. РАН М.И. Карпов

Получена многослойная сверхпроводящая лента на основе сплава Nb-50 мас.%Ti с внутренней и наружной медной стабилизацией толщиной 0,1 мм. Значимое отличие предлагаемого способа от известной технологии изготовления сверхпроводящих композитов заключается в том, что на начальном этапе используется многослойный пакет из Nb- и Ti-лент. Сплав состава Nb50Ti образовывался в процессе двух циклов из диффузионной сварки и пакетной прокатки соответственно Nb/Ti- и Cu/Nb/NbTi-пакетов. Исследованы микроструктура и сверхпроводящие свойства полученных отрезков многослойной композиционной ленты Cu/Nb/(Nb/Nb50Ti). Обнаружено, что в окончательном варианте лента состояла из (1) медных наружных и внутренних слоев, выполнявших роль стабилизаторов сверхпроводящего состояния композита, (2) массивов из чередующихся слоев сплава Nb50Ti и Nb толщиной ~100 нм и (3) Nb-слоев толщиной ~15 мкм, как диффузионных барьеров от взаимодействия меди и титана. Измерениями критического тока I_c при параллельной \parallel и перпендикулярной \perp ориентации внешнего магнитного поля H и плоскости прокатки ленты (ab) выявили анизотропию критической плотности тока j_c , достигавшей очень больших значений. Это свидетельствовало о закреплении сверхпроводящих вихрей исключительно в (Nb)-слоях наноразмерной толщины, несверхпроводящих уже при $H \leq 0,1$ Тл. Показано, что многослойные композитные ленты из сплава Nb-50 мас.%Ti можно получать без (1) трудоемкой и энергозатратной гарнисажной плавки слитков сплавов ниобия-50% титана, (2) длительного передела их в тонкую ленту и (3) длительного по времени (280–320 ч) низкотемпературного отжига уже готового композита Cu/Nb/Nb50Ti «в бухтах» для выпадения в сплаве частиц α -фазы, на которых происходит закрепление сверхпроводящих вихрей.

Руководитель: к.т.н. В.П. Коржов

Дан систематический анализ диффузионно-контролируемой эволюции и коллапса двух одинаковых пространственно-разделенных d-мерных островов частиц A в море

частиц В при распространении резкого фронта реакции $A+B \rightarrow 0$. Показано, что при достаточно большом начальном расстоянии между центрами островов L по сравнению с их характерным начальным размером и сравнительно большим начальном отношении концентраций остров/море динамика эволюции системы остров-море-остров однозначно определяется безразмерным параметром $\Lambda = N_0/N_\Omega$ где N_0 начальное число частиц в острове и N_Ω начальное число частиц моря в объеме $\Omega = L^d$. Установлено, что а) существует зависящее от d критическое значение Λ_* , выше которого происходит коалесценция островов; б) независимо от d центры каждого из островов движутся навстречу друг другу вдоль универсальной траектории, сливаясь в единый центр при зависящем от d критическом значении $\Lambda_s \geq \Lambda_*$; в) в одномерных системах $\Lambda_s = \Lambda_*$ поэтому при $\Lambda < \Lambda_*$ каждый из островов гибнет индивидуально тогда как при $\Lambda > \Lambda_*$ коалесценция завершается коллапсом одно-центрального острова в центре системы; д) в двумерных и трехмерных системах в интервале $\Lambda_* < \Lambda < \Lambda_s$ коалесценция сопровождается последующей фрагментацией двух-центрального острова и завершается индивидуальным коллапсом каждого из островов. Выявлена детальная картина коалесценции, фрагментации и коллапса островов с акцентом на эволюцию их формы, числа частиц в них и поведения относительной ширины реакционного фронта на финальной стадии коллапса, и продемонстрировано что в широком диапазоне параметров фронт сохраняется резким вплоть до узкой окрестности точки коллапса.

Руководитель: к.ф.-м. н., Б.М. Шипилевский

Разработаны лабораторные технологические схемы получения и впервые получены оксидные волокна на основе сапфира, иттрий-алюминиевого граната и анизотропных оксидов гексаалюмината кальция и бария из различных смесей исходных оксидов алюминия, иттрия, кальция и бария. Проведены испытания волокон и получены зависимости прочности волокон от длины. Исследована структура волокон в зависимости от исходного состава оксидов и режимов получения. Проведены испытания полумодельных композитных образцов с указанными волокнами и хрупкой матрицей из рекристаллизованного молибдена, показавшие нехрупкое поведение композитов под нагрузкой. По жидкофазной технологии получены и испытаны пилотные образцы с матрицей на основе интерметаллида алюминиды титана, а по твердофазной технологии получены и испытаны опытные образцы с матрицами из интерметаллида никель-алюминия и оксида алюминия с волокнами на основе сапфира и гексаалюмината кальция. В результате испытаний получены зависимости прочности композитов от объемной доли волокон для композитов с титан-алюминиевой матрицей, а для композитов из никель-алюминиевой и оксида алюминия матрицами величины прочности и трещиностойкости. Проведены также исследования исходных структур композитов и поверхностей разрушения, обеспечивающие их квазипластическое поведение.

Руководитель: д.т.н. С.Т. Милейко

Обнаружено и изучено образование неустойчивости плоской границы раздела между двумя металлами в условиях кручения под высоким давлением. На исходно плоской границе раздела возникают своего рода вихри, которые постепенно захватывают всю площадь границы раздела. Затем происходит хаотизация вихрей и полное фрагментирование соседних слоев двух металлов. Обнаружено и изучено образование и залечивание пор в меди при кручении под высоким давлением. Обнаружено, что при кручении под высоким давлением малоуглеродистых сталей углерод сегрегирует на границах зерен феррита, что препятствует динамической рекристаллизации и позволяет добиться экстремально малого размера зерен около 20 нм. Это – в свою очередь – позволяет добиться высокой прочности нанокристаллических сталей. Обнаружены и проанализированы фазовые превращения на границах зерен в сплавах

меди и алюминия, которые происходят с образованием тонких прослоек зернограницных фаз в однофазной области фазовой диаграммы вдали от линий солидуса и сольвуса.

Руководитель: д.ф.-м.н. Б.Б. Страумал

**Результаты, полученные в рамках выполнения Госзадания
по Программам РАН**

**(Раздел II. Физические науки. Подраздел 8. Актуальные проблемы физики
конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии,
физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости Программы
фундаментальных научных исследований государственных академий наук на
2013-2020 годы)**

**"Электронный спиновый резонанс, спинзависящие электронные эффекты и
спиновые технологии"**

В гетероструктурах GaN/AlGaIn, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, обнаружен спиновый электронный резонанс, который детектируется в широком диапазоне магнитного поля и СВЧ-частот. Несмотря на то, что спин-орбитальное взаимодействие в этом типе гетероструктур является сильным при нулевом магнитном поле, установлено, что ширина обнаруженной линии спинового резонанса оказывается очень узкой - до 6,5 мТл при 13,3 Т. Время деполяризации спина, определенное из ширины резонансной линии, оказывается близким к 2 нс, что позволило измерить электронный g-фактор с высокой точностью. Установлено, что величина электронного g-фактора оказывается близкой к значению g-фактора свободного электрона. Измерена слабая зависимость электронного g-фактора от магнитного поля.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

Актуальные проблемы физики низких температур

В монокристаллах магнитного сверхпроводника $\text{EuFe}_2(\text{As}_{0.79}\text{P}_{0.21})_2$ впервые наблюдаются с помощью магнитосиловой микроскопии мейснеровские домены в узком интервале температур ($\sim 1\text{K}$) ниже температуры ферромагнитного перехода $T_{\text{FM}} \sim 18\text{K}$. Нанометровый масштаб доменной структуры и температурный интервал существования находятся в хорошем согласии с теоретическими оценками [1].

Обнаружена сверхпроводимость ($T_c = 40\text{ K}$) в образцах металлооксидной смеси Na/WO_3 , подверженной ударно-волновому сжатию (20 кбар) с последующей закалкой метастабильного продукта синтеза до температуры жидкого азота [1].

С помощью рентгеноструктурных исследований установлено, что ударно-волновое сжатие металлооксидной смеси Na/WO_3 приводит к механохимической реакции компонентов смеси, приводящей к частичному восстановлению металлического вольфрама натрием из WO_3 с образованием вольфраматов Na_2WO_4 и $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$.

С помощью магнитометрических измерений установлено, что сверхпроводимость возникает в межфазных интерфейсных областях, образованных фазами Na_2WO_4 , $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$, WO_3 и металлического W, возникающих в ходе механохимической реакции в металлооксидной смеси Na/WO_3 под действием ударно-волнового сжатия. Исследованные сверхпроводники являются нестабильными при нормальных условиях, в то время как хранение образцов при температуре жидкого азота (77 K) позволяет неограниченно долго сохранять их сверхпроводящие свойства.

Руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Пальниченко

В интервале температур 4 - 300 К выполнены исследования механизма влияния спин-поляризованного тока на магнитную структуру нанокристаллических пленок пермаллоя (Py) в гибридных структурах пермаллой-немагнитный металл: Fe₂₀Ni₈₀/Pt, Fe₂₀Ni₈₀/Cu и Fe₂₀Ni₈₀. Установлено, что переключение током имеет место во всех структурах. Скорость переключения током двуслойных структур выше, чем скорость переключения монослойных полосок Fe₂₀Ni₈₀. Однако близость материала с сильной спин-орбитальной связью не усиливает, а ослабляет эффект переноса спинового момента, т.е. в структурах Fe₂₀Ni₈₀/Cu переключения намагниченности происходят медленнее. На основании проведенных экспериментов делается вывод, что за наблюдаемый эффект переноса спинового момента может быть ответственен механизм спин-орбитального взаимодействия не типа Рашбы, а скорее Дрессельхауса.

С помощью развитой оптической методики изучалась динамика намагниченности в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах на основе ZnMnSe во внешних магнитных полях ~3Т. Исследовалось влияние мощности оптического возбуждения на времена релаксации намагниченности в образцах с относительно малой концентрацией магнитных ионов марганца (< 2%). Установлено, что уменьшение времени релаксации намагниченности с повышением мощности оптического возбуждения связано с насыщением кластеров магнитных ионов, которые обладают наиболее длинными временами спин-решеточной релаксации.

Руководитель - д.ф.-м.н. Винников Л. Я.

В топологических полуметаллах зона проводимости касается валентной зоны в особых точках зоны Бриллюэна (узлах). В вейлевском полуметалле каждый вейлевский узел характеризуется определённой киральностью. В *k*-пространстве на поверхности Вейлевского полуметалла ферми-контуры представляют собой незамкнутые дуги, соединяющие проекции вейлевских на поверхностную зону. Такие экзотические поверхностные состояния получили название «ферми-арок». Экспериментально исследован транспорт через интерфейс между вейлевским полуметаллом WTe₂ и сверхпроводящим ниобием. В спектрах дифференциального сопротивления dV/dI (V) на фоне стандартного Андреевского отражения были обнаружены неперриодические резонансы внутри сверхпроводящей щели Nb (см рисунок), которые возникают как Томашевские геометрические осцилляции для транспорта вдоль топологического поверхностного состояния с наведенной сверхпроводимостью вблизи интерфейса Nb-WTe₂. Наблюдение отчетливых геометрических резонансов предполагает наличие выделенного направления движения заряда в поверхностном состоянии, что было теоретически предсказано для ферми-арок в вейлевских полуметаллах. При помощи низкотемпературного сканирующего туннельного микроскопа проведены исследования манипулирования тонких пленок Pb на поверхности Sb(111). При малых толщинах пленки Pb СТМ изображение топографии обусловлено картиной муара решетки несовпадений кристаллической структуры поверхности Sb(111) и монослоя Pb(111). СТС показала, что электронная структура островков определяется взаимодействием с подложкой. Это приводит к подавлению сверхпроводимости пленки Pb. Проведены расчеты атомной и электронной структуры интерфейса Pb/Sb(111) в приближении теории функционала плотности

Руководитель - д.ф.-м.н. Девятков Э.В.

Проведены измерения магнитосопротивления в квазидвумерном проводнике TbTe₃ с волной зарядовой плотности (ВЗП) в широком интервале температур и в

магнитных полях до 17 Тл. При температуре, значительно ниже температуры пайерлсовского перехода, и в больших магнитных полях магнитосопротивление демонстрирует линейную зависимость от магнитного поля, обусловленную рассеянием нормальных носителей на "горячих" точках поверхности Ферми. В режиме движущейся ВЗП в слабых магнитных полях наблюдается качественное изменение магнитосопротивления, связанное с сильным рассеянием носителей на скользящей ВЗП.

Исследована температурная зависимость верхнего критического магнитного поля монокристаллов органического сверхпроводника κ -BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br в магнитном поле, приложенном как перпендикулярно, так и параллельно к проводящим слоям. Фазовая H-T диаграмма в этом соединении была получена из бесконтактных измерений с помощью туннельного генератора (ТДО) в импульсных магнитных полях до 56Т для направлений магнитного поля как перпендикулярного, плоскости (H \parallel b) так и параллельного (H \parallel ac) плоскости. образца. Показано, что температурная зависимость верхнего критического магнитного поля H $_c2$ (T) не описывается моделью Вертхамера-Хельфанда-Хоэнберга (WHH) в параллельном плоскости магнитном поле. Для межплоскостной ориентации наблюдается резкий скачок вверх при понижении температуры, вблизи к T $_c$, с последующим насыщением при более низких температурах. Показано, что этот скачок H $_c2$ (T) свидетельствует о плавлении решетки вихрей в сильном магнитном поле.

Для целей проекта были синтезированы аналоги кристаллов органического металла (MDABCO) $^+$ (C $_{60}$) $^-$ TPC за счет замены одного из апикальных атомов водорода на галоген в молекуле TPC. В исходном кристалле двухслойная структура сформирована из пакетов, состоящих из гексагональных слоев анион-радикалов фуллерена и катионов (MDABCO) $^+$ с молекулами TPC. При комнатной температуре один из фуллереновых слоев упорядочен и является металлическим, а в другом слое фуллерены вращаются и электроны в нем проявляют поведение локализованных спинов. Многотемпературный структурный анализ показал, что галоген Cl способствует образованию более упорядоченной структуры и делает менее выраженным известный структурный фазовый переход при 200K, а галоген Br приводит к упорядочению и во втором фуллереновом слое и переходу его в металлическое состояние.

Синтезирован сверхпроводящий оксид Eu $_2$ Ba $_5$ Cu $_7$ O $_{15+\delta}$ (Eu-257) – новый член гомологического ряда Eu $_n$ Ba $_m$ Cu $_{m+n}$ O $_y$ (n=2, m=5). Показано, что при отжиге на воздухе в интервале температур 915-1020°C в течение 1-70 ч с гомогенизацией и без таковой формируются несверхпроводящие образцы Eu-257 с тетрагональной структурой EuBa $_2$ Cu $_3$ O $_{6.5-\delta}$ (Eu-123) с примесью оксидов BaCuO $_{2-x}$ и Eu $_2$ BaCuO $_5$. Максимальный выход основного продукта (94 масс.%) получен при последовательном отжиге образца при 950 (24 ч) и 960°C (23 ч) с одной гомогенизацией. Дополнительный отжиг в атмосфере кислорода (P(O $_2$)=101 кПа, 450°C, 5 ч) переводит образцы Eu-257 в сверхпроводящее состояние с ромбической структурой Eu-123. Согласно данным элементного анализа в просвечивающем электронном микроскопе образцы Eu-257 неоднородны по катионному составу и включают оксиды матричного состава (Ba:Cu) 3:5, 5:8, 2:3, 5:7, 3:4, 7:9, 4:5 и 5:6. С повышением температуры первичного отжига на воздухе фаза Eu-257 диспропорционирует по реакции Eu-257 \rightarrow Eu-123 + Eu-134, что подтверждается появлением дополнительных диамагнитных откликов на кривых температурной зависимости магнитной восприимчивости $\chi=f(T)$ синтезированных образцов. Новый оксид Eu-257 переходит в сверхпроводящее состояние при T $_c$ 87K.

Руководитель - д.ф.-м.н. Зверев В. Н.

В рамках приближения среднего поля изучены процессы переноса возбуждений в двумерной системе экситонных поляритонов под действием резонансно-оптической

накачки. В частности, исследована ситуация, когда плоская световая волна с постоянной амплитудой возбуждает конденсатное состояние, которое затем возмущается латерально ограниченным акустическим или оптическим импульсом, длительность которого сопоставима со временем жизни поляритона. Выяснилось, что несмотря на малую длительность возмущения, оно способно приводить к долговременным эффектам: 1) переходу бистабильного конденсата между ветвями устойчивости и 2) появлению в нем солитонов, распространяющихся без диссипации на фоне невозмущенного конденсата. Основным результатом состоит в том, что акустическое возмущение, действие которого состоит только в том, что оно обратимо изменяет частоту экситонного перехода, может приводить к необратимым переключениям и солитонным эффектам, о которых ранее сообщалось только в контексте прямого оптического возбуждения поляритонов. Таким образом, быстрые акустические импульсы могут служить управляемым источником сигналов, распространяющихся в активном слое полупроводникового микрорезонатора. В продолжение этого направления исследований мы предполагаем изучить распространение акусто-индуцированных возбуждений в анизотропной структуре, в которой, согласно предварительным расчетам, ожидается нетривиальная зависимость спинового состояния поляритонов от амплитуды акустического импульса.

Руководитель - чл.-корр. РАН Кулаковский В.Д.

С помощью развитой оптической методики изучалась динамика намагниченности в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах на основе ZnMnSe во внешних магнитных полях $\sim 3\text{Т}$. Исследовалось влияние мощности оптического возбуждения на времена релаксации намагниченности в образцах с относительно малой концентрацией магнитных ионов марганца ($< 2\%$). Установлено, что уменьшение времени релаксации намагниченности с повышением мощности оптического возбуждения связано с насыщением кластеров магнитных ионов, которые обладают наиболее длинными временами спин-решеточной релаксации.

Руководитель - к.ф.-м.н. А.А. Максимов.

Были изучены транспортные свойства перколяционных каналов мемристорных структур на основе эпитаксиальных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Был использован инструментальный молекулярной электроники, спектроскопии Андреевского отражения, влияния сверхпроводящего состояния электродов на эффекты резистивных переключений в таких структурах. На основе анализа механизмов проводимости в полученных гетероструктурах показано, что перколяционные каналы образуются через цепочку неупорядоченных по кислороду доменов диаметром порядка 10 нм с максимальной T_c -60К. Нулевые аномалии динамического сопротивления изученных структур демонстрируют температурную зависимость критического тока типичной слабой связи в SnS по типу теории Кулика-Омельянука в грязном пределе. Методом численного расчета были определены физические параметры исследованных гетероструктур.

Руководитель - к.ф.-м.н. Тулина Н.А.

Исследования с помощью новой “in-situ” методики комбинационного рассеяния света показали, что ток, текущий через твердооксидный топливный элемент, сопровождается изменением зарядового состояния катионов церия от Ce^{+3} до Ce^{+4} , что является прямым доказательством переноса заряда в композиционном аноде через перенос анионов кислорода из мембраны анионного проводника в композиционный катод. Установлено, что увеличение плотности тока, текущего через ТОТЭ, приводит к росту интенсивности линии, отвечающей симметричным колебаниям группы CeO_2 ,

что является прямым доказательством переноса заряда в композиционном аноде через перенос анионов кислорода “oxygen spillover”.

Руководитель - д.ф.-м.н. Бредихин С. И.

Исследовано образование смешаннолигандных комплексов РЗЭ в системе 1-фенил-3-метил-4-бензоил-5-пиразолон (ФМБП) – новые триподальные лиганды $(R_2NC(O)CH_2OC_6H_4)_3PO$ (R = бутил, циклогексил) с тремя амидными группами на С3-симметричной трифенилфосфиноксидной платформе (L). Установлена стехиометрия образуемых комплексов РЗЭ : ФМБП : L = 1 : 3 : 1 и определены константы равновесия при их экстракции. Установлено, что устойчивость таких комплексов повышается на 4-5 порядков по сравнению с комплексами РЗЭ, образуемыми в системе с ФМБП. Это приводит к резкому повышению эффективности экстракции ионов РЗЭ из водных растворов смесями ФМБП и триподальных лигандов.

Руководитель - д.х.н. Туранов А.Н.

Изменение поляризации смектических нанопленок вызывает трансформацию, в частности, распад топологических дефектов с целочисленными топологическими зарядами на поверхности включений, находящихся в плёнках, что приводит к трансформации поля молекулярного упорядочения плёнок. Исследованы электрооптические эффекты, связанные с переориентацией молекул в электрическом поле с участием стенок и топологических дефектов в свободно подвешенных наноплёнках полярных жидких кристаллов. В смектических плёнках реализована управляемая электрическим полем и температурой самоорганизация включений с топологическими дефектами, связанными с включениями, или находящимися на поверхности включений и приводящая как к распаду, так и к образованию упорядоченных структур.

Руководитель – д.ф.-м.н. Долганов В.К.

Разработана методика получения совершенных монокристаллов *n*-допированного селенида висмута Bi_2Se_3 с концентрацией носителей до $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Эксфолиацией кристаллов приготовлены (0001)-ориентированные фольги толщиной 0.1-1,0 мм и большой, до 150 мм^2 , площади. Исследовано структурное качество фольг (совместно с LLB, Франция) и показано, что методика позволяет получать кристаллы, в которых протяженные дефекты, в первую очередь, двойниковые границы, отсутствуют на площади фольг до 75 кв. мм, что важно для изучения транспортных свойств кристаллов.

Для бездефектного Bi_2Se_3 экспериментально определены: коэффициент радиальной температуропроводности на плоскости (0001) $(2,5 \pm 0,25) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициент температуропроводности в направлении $\langle 0001 \rangle$ $(6,7 \pm 1,5) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, теплопроводность в направлении $\langle 0001 \rangle$ $0,85 \pm 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и перпендикулярно ему $3,5 \pm 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Руководитель – д.т.н. Колесников Н.Н.

Изучены структура и магнитные свойства микропроводов Fe-Pt and Fe-Pt-M ($M = \text{V, Si}$) в стеклянной оболочке в исходном и отожженном состоянии. Показано, что магнитные свойства зависят от фазового состояния. В исходном состоянии структура аморфно-нанокристаллическая с нанокристаллами $Fe_{50}Pt_{50}$, Fe_2Si , $Pt_{12}Si_5$ и Fe_2V . В результате отжига коэрцитивная сила в образцах Fe-Pt достигла 800 Ое. Предположено, что существенное магнитное твердение связано с внутренними напряжениями при магнитном упорядочении атомов железа.

Создана установка для измерения гистерезисных свойств микропроводов при приложении растягивающих напряжений (in-situ) во внешних полях напряженностью

до 100 Ое. Величина механических напряжений вдоль оси провода типичного размера (диаметр сердцевины около 20 мкм) может достигать до 2 ГПа. Для аморфного сплава с положительной магнитострикцией состава $\text{Fe}_{74}\text{Si}_{13}\text{B}_9\text{Cu}_1\text{Nb}_3$ получены предварительные данные о росте коэрцитивной силы в зависимости от уровня прикладываемых механических напряжений.

Руководитель – д.ф.-м.н. проф. Аронин А.С.

Терагерцовая оптоэлектроника и спинтроника

Разработана новая полупроводниковая технология изготовления многопиксельных матриц детекторов ТГц излучения, имеющих высокую чувствительность в широком диапазоне частот 50–700 ГГц, которая может быть использована для построения изображения объектов в ТГц-диапазоне. Многопиксельные матрицы детекторов изготавливаются на базе гетероструктур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs с высокой двумерной электронной проводимостью. Принцип детектирования основан на возбуждении так называемых релятивистских плазменных волн в системе двумерных электронов, проводимость которых значительно превышает скорость света, и последующим выпрямлением переменного плазмонного потенциала на нелинейных контактах. Этот принцип обеспечивает при комнатной температуре сигнал постоянного тока на выходе детектора с эквивалентной мощностью шума (NEP) 0,5 нВт / Гц^(1/2) и сверхбыстрое время отклика - менее 100 пс. Разработанные матрицы детекторов имеют число пикселей несколько десятков тысяч. Технология производства матриц ТГц-детекторов полностью совместима с обычными линиями изготовления полупроводниковых микроструктур, что делает их сравнительно недорогими, а также позволяет изготавливать матрицы детекторов в промышленном масштабе и с воспроизводимыми свойствами.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

Методом резонансного СВЧ-поглощения двумерных электронов исследовано затухание магнитоплазменных возбуждений в дисках разного диаметра. Обнаружено неожиданное резкое уменьшение затухания плазменных колебаний в режиме сильного запаздывания. Это открытие предполагает большую делокализацию запаздывающего плазмонного поля из плоскости двумерной электронной системы. Установлена универсальная взаимосвязь между затуханием плазменных поляритонных волн и параметром запаздывания.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

В 2D электронном газе в GaAs квантовой яме с концентрацией $n_s = 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ и подвижностью $\mu > 6 \cdot 10^6 \text{ см}^2/(\text{Vsec})$ исследована зависимость времени спиновой дефазировки от фактора заполнения ν в области ν от 1 до 0.5 с помощью метода время-разрешенного спинового эффекта Керра. Найдено, что в магнитном поле 4.1 Т, когда реализуется состояние с фактором заполнения $\nu = 1$ (Холловский ферромагнетик), время сбоя фазы когерентной спиновой прецессии электронов, τ , превышает 30 нс в широком интервале температур от 0.5 до 5 К. При увеличении магнитного поля, ведущем к уменьшению ν , время спиновой дефазировки быстро уменьшается, так что при $\nu = 0.5$ оно оказывается примерно столь же коротким (~0.6 нс), как и в отсутствие магнитного поля. Наблюдаемое уменьшение τ может быть связано со сбоем фазы спиновой прецессии электронов при дробных ν (коллективные корреляционные эффекты) и вызвано разбросом g-фактора электронов (одночастичный эффект). Для определения

доминирующего механизма нами начаты исследования τ при наклонном магнитном поле 60 градусов.

Отработана методика получения структур hBN/WSe₂/hBN с однослойными WSe₂, которая позволяет уменьшить ширину экситонного перехода в монослое WSe₂ до 5.5 мэВ.

Руководитель – член-корр. РАН В. Д. Кулаковский

Спиновые явления в твердотельных наноструктурах и спинтроника

В квантовой яме AlAs шириной 16 нм в режиме дробного квантового эффекта Холла с фактором заполнения $2/3$ исследован электронный спиновый резонанс двумерных электронов. Интенсивность спинового резонанса вблизи дробного заполнения $\nu = 2/3$ была огромной, что указывает на то, что дробное состояние $\nu = 2/3$ является хотя бы частично поляризованным по спину. Установлено, что скорость ядерной спин-решеточной релаксации, извлеченная из временной зависимости сдвига Оверхаузера, демонстрировала сильную немонотонную зависимость от фактора заполнения электронов с минимумом вблизи $\nu = 2/3$. Это наблюдение означает, что энергетическая щель в спектре коллективных спиновых возбуждений двумерных электронов в дробном состоянии $\nu = 2/3$ претерпевает значительное усиление, подобное усилению щели в спектре зарядовых возбуждений лафлиновской жидкости.

Руководитель: член-корр. РАН В.Д. Кулаковский

Исследована температурная зависимость верхнего критического магнитного поля монокристаллов органического сверхпроводника κ - (BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br в магнитном поле, приложенном как перпендикулярно, так и параллельно к проводящим слоям. Фазовая H-T диаграмма в этом соединении была получена из бесконтактных измерений с помощью туннельного генератора (ТДО) в импульсных магнитных полях до 56Т для направлений магнитного поля как перпендикулярного, плоскости (H || b) так и параллельного (H // ac) плоскости. образца. Сообщается также о температурной зависимости глубины проникновения магнитного поля в постоянных магнитных полях. Показано, что температурная зависимость верхнего критического магнитного поля H_{c2}(T) не описывается моделью Вертхамера-Хельфанда-Хоэнберга (WHH) в параллельном плоскости магнитном поле. Для межплоскостной ориентации наблюдается резкий скачок вверх при понижении температуры, вблизи к T_c, с последующим насыщением при более низких температурах. Показано, что этот скачок H_{c2}(T) свидетельствует о плавлении решетки вихрей в сильном магнитном поле. Руководитель: д.ф.-м н., В.А.Гаспаров

Раздел II. Физические науки. Подраздел 9. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы

Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий

В двумерных электронных системах в AlAs квантовых ямах различной ширины исследованы спектры магнитоплазменных возбуждений. Было обнаружено, что спектр магнитоплазменных возбуждений сильно изменяется когда ширина квантовой ямы становится меньше, чем 5.5 нм, что указывает на резкое изменение энергетического спектра электронов проводимости. Обнаруженное преобразование плазменных возбуждений можно интерпретировать в терминах перехода от случая сильно анизотропных электронных долин, лежащих в 2Д-плоскости, к случаю изотропной долины, перпендикулярной плоскости квантовой ямы. В узких квантовых ямах AlAs обнаружено значительное увеличение эффективной циклотронной массы двумерных электронов по сравнению с массой, общепринятой в объемном материале.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

Теоретически исследована возможность реализации хиральной волноводной Ga_{0.51}In_{0.49}P структуры с монослоем WSe₂, обеспечивающей интенсивный хиральный резонанс на энергии экситона 1.74 эВ в монослое WSe₂ с высокой степенью циркулярной поляризации ρ в нулевом магнитном поле благодаря модификации симметрии и плотности электромагнитных мод в окружающей среде. Найдена структура, обеспечивающая $\rho=0.86$.

В двумерной электронной системе в высококачественных квантовых ямах SiGe/Si/SiGe определены величины произведений $-g$ -фактора и эффективных массы электронов на уровне Ферми, $g_F m_F$, из анализа шубниковских осцилляций и всей двумерной системы, $g_F m_F$, из равенства Зеемановского расщепления и Фермиевской энергии спин-поляризованной электронной системы. Найдено, что при уменьшении электронной плотности (росте взаимодействия) произведение $g_F m_F$ на Ферми уровне монотонно растет во всем диапазоне, а среднее по энергии произведение $g_F m_F$ насыщается при низких плотностях. Поскольку обменные эффекты в двумерной электронной системе в кремнии, малы, эта разница обусловлена разным поведением m_F и m и свидетельствует об уплощении одночастичного спектра на Ферми уровне из-за межчастичного взаимодействия в электронной системе. Экспериментальные результаты интерпретированы в концепции фермионной конденсации, которая происходит на Ферми уровне в диапазоне импульсов, в отличие от конденсации бозонов

Руководитель: член-корр. РАН В.Д. Кулаковский

Продолжены исследования структуры и механических свойств сплавов системы Nb-C и Nb-Mo-C. Сплавы были выплавлены методом двукратной электронно-лучевой плавки в режиме направленной кристаллизации. Структуру образцов исследовали методами оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурным и рентгеноспектральным микроанализом. Обнаружено, что в сплаве Nb-20at%С (заэвтектический состав) присутствуют первичные выделения гексагонального карбида NbC и эвтектика Nb – NbC. Это не соответствует равновесной диаграмме состояния Nb-C, в которой первичные выделения должны быть гексагональным карбидом Nb₂C. Предполагается, что причиной этого является относительно высокая скорость – 4мм/мин,

перемещения зоны вдоль слитка при плавке. В сплаве Nb40-Mo40-C20 (ат%) (также заэвтектический состав) первичные карбиды имеют состав близкий к кубическому $(\text{Nb}_{80}\text{Mo}_{20})\text{C}_{0.6}$. Эвтектика состоит из твердого раствора примерного состава $(\text{Nb}_{20}\text{Mo}_{80})$ и карбида $(\text{Nb}_{80}\text{Mo}_{20})\text{C}_{0.6}$. Исследованы слоистые композиты, полученные диффузионной сваркой многослойных пакетов под давлением, составленных Nb-фольгами с покрытием из многокомпонентных порошковых смесей. Слоистая структура композитов из матрицы многокомпонентного сплава и упрочняющих соединений формировалась при твердофазном взаимодействии металлических элементов с кремнием и СО-атмосферой камеры. Проведены механические испытания в режиме 3-х точечного изгиба, при 1300°C предел прочности σ_b находился в пределах 200–320, при 1100°C – 260–420 МПа. Этот уровень значений прочности при температурах 1100–1300°C сочетался с относительно небольшими ее значениями для этих же композитов при комнатной температуре, которые находились в пределах 320–550 МПа.

Руководитель: член-корр. РАН Карпов М.И.

С использованием разработанного комплексного метода магнитооптических индикаторных плёнок и акустической эмиссии изучены доменная структура и микромеханизмы перемагничивания в квазидвумерных обменно-смещённых поликристаллических наномангнетиках NiFe/FeMn и NiFe/NiO. Установлено, что наличие дисперсии осей однонаправленной анизотропии в зёрнах антиферромагнитного слоя определяет статистическое распределение и хиральность спиновых пружин вблизи интерфейса. Обнаружены сигналы акустической эмиссии, обусловленные возбуждением упругих волн Лэмба при перемагничивании NiFe/NiO гетероструктур. Показано, что коэрцитивность таких гетероструктур связана с необратимыми процессами преодоления потенциальных барьеров, вызванных формированием разнохиральных спиновых пружин, локализованных в антиферромагнетике, непосредственно вблизи интерфейса «ферромагнетик – антиферромагнетик». Выявлен вклад переключения магнитных моментов антиферромагнетика в магнитную релаксацию доменной структуры ферромагнитного слоя гетероструктуры.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.С. Горнаков

Физика конденсированных сред и материалы нового поколения

Проведены исследования поведения атомов хрома в кремнии, содержащем дислокации и ростовые комплексы вакансия-азот. В спектрах DLTS, измеренных после диффузии хрома при температуре 850°C, наблюдалась необычная широкая линия от 250K до температуры ниже 75K, обусловленная глубокими донорными состояниями в запрещенной зоне кремния. Мы предполагаем, что сигнал DLTS, наблюдаемый в образцах после диффузии хрома, обусловлен преципитатами силицида хрома CrSi_x . Амплитуда сигнала DLTS сильно зависит от скорости охлаждения образцов после диффузии хрома. Мы предполагаем, что в закаленных образцах размер преципитатов меньше, а их плотность больше, в результате наблюдаемый сигнал DLTS больше, чем в образцах, охлажденных медленно.

Отжиг образцов, содержащих нано-преципитаты силицида хрома, сформировавшихся после диффузии хрома при 850°C, при температуре 320°C в течение всего 10 минут приводит к значительному изменению спектра DLTS – спектр становится более узким и демонстрирует поведение, характерное для так-называемых

«локализованных состояний». Подобное поведение наблюдалось ранее для преципитатов NiSi_2 и связывалось с трансформацией формы преципитата.

Руководитель: член-корр. В.В. Кведер

Исследовалось состояние кислорода в ферромагнитных пленках ZnO , полученных методом жидкой керамики. Исследования проводились методами XPS и STEM EELS. Микроструктура характеризовалась с помощью TEM. Перед проведением измерений образцы проверялись на наличие магнитного момента с помощью SQUID измерений. Структурные исследования показывают присутствие зерен ZnO со структурой вюрцита, окруженных слоем аморфной фазы. Размер зерна составляет 20 нм; толщина аморфной фазы - 5-10 нм. Прослойки занимают значительный объем материала (~35%). На основании данных XPS было установлено, что линия кислорода содержит три состояния: O_I с энергией связи 530 эВ, интенсивность составляет 53% от общей интенсивности линии $\text{O}1s$; O_{II} (531.6 эВ и 35% соответственно); O_{III} (532.1 эВ и 12% соответственно). Измерения с использованием STEM EELS позволили связать найденные состояния линии $\text{O}1s$ с соответствующими элементами структуры. Край поглощения кислорода O K от межзеренных прослоек более широкий, содержит две линии, отвечающие двум энергиям O_I и O_{II} на спектрах XPS. Край поглощения от зерен ZnO более узкий и отвечает энергии O_I . Самая высокая энергия в линии $\text{O}1s$, O_{III} , соответствует поверхностным дсорбатам.

Руководитель: к.т.н. А.А. Мазилкин

Определена барическая зависимость фононных мод и параметров элементарной ячейки молекулярного комплекса фуллерена $[\{\text{Zn}(\text{Et}_2\text{dte})\}_2 \cdot \text{DABCO}] \cdot \text{C}_{60} \cdot (\text{DABCO})_2$ при высоком давлении методами рентгеноструктурного анализа и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Показано, что объем ячейки и наименьшее расстояние между молекулами в слоях фуллерена хорошо описываются уравнением Марнагана, а значение объемного модуля и его производной близки к таковым для кристаллов фуллерена. Установлено, что при давлении до 3 ГПа ковалентные связи между молекулами фуллерена не образуются. Спектры КРС, измеренные с использованием видимого лазера 514.5 нм, имеют особенность в барической зависимости фононных мод вблизи 2 ГПа. Эта особенность не наблюдается при возбуждении спектров КРС инфракрасным лазером с длиной волны излучения 785 нм. Измерена временная зависимость интенсивности $\text{Ag}(2)$ моды при давлениях >2 ГПа и подтверждена эволюция полос в спектрах КРС комплекса, характерная для фотополимеризации фуллерена при использовании видимого излучения. В отличие от видимого света, инфракрасный свет не вызывает фотополимеризации фуллерена, а наблюдаемые особенности вызваны стимулированной высоким давлением фотополимеризацией молекул C_{60} в слоях фуллерена.

Руководитель подпроекта: д.ф.-м.н. К. П. Мелетов.

Поскольку при давлениях выше 4.5 ГПа межатомные расстояния в цезии становятся меньше ионного радиуса, это должно приводить к перекрытию атомных остовов и увеличению числа валентных электронов за счет перехода электронов остова в валентную зону. В рамках модели взаимодействия сферы Ферми и зоны Бриллюэна показано, что для фазы Cs-V со структурой oC16 при давлениях выше 12 ГПа следует принять число валентных электронов равным 4, что соответствует заполнению зоны Бриллюэна на ~93%, как это типично для фаз Юм-Розери.

Руководитель подпроекта: д.ф.-м.н. В. Ф. Дегтярева.

Изучено влияние обработки давлением 5 ГПа при комнатной температуре в среде гексагонального нитрида бора на структуру исходно аморфных сплавов $\text{Al}_{88}\text{Ni}_6\text{Y}_6$, $\text{Al}_{88}\text{Ni}_{10}\text{Y}_2$, $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{La}_5$ и, для сравнения, сплавов на основе железа и кобальта. В результате обработки все сплавы алюминия перешли в неоднородное по составу аморфное состояние (наностекло), а в сплаве с 2 ат.% Y началось также образование нанокристаллов. Электронно-микроскопическое исследование выявило во всех алюминиевых сплавах наличие полос деформации, что свидетельствует о негидростатичности прилагавшихся механических напряжений. Предложены объяснения наблюдавшихся эффектов. Аналогичная обработка аморфных сплавов на основе железа и кобальта не привела к каким-либо изменениям их структуры, по-видимому, из-за более высоких значений упругих модулей этих сплавов по сравнению с алюминиевыми сплавами.

Руководитель проекта: д.ф.-м.н. Г. Е. Абросимова.

Согласно работе [Ammar et al., Solid State Sci. 6 (2004) 393], обработкой клатрата $\text{Na}_x\text{Si}_{136}$ в парах йода можно уменьшить содержание натрия от до $x = 0.1-0.006$. Мы детально воспроизвели процедуру, описанную в этой работе, но содержание натрия в нашем образце с исходным значением $x = 1.48$ уменьшилось только до $x = 1$ и сопровождалось уменьшением массы образца примерно в три раза. Ранее при исследовании в установке типа Сиверта мы обнаружили, что при комнатной температуре и давлении 100 атм клатрат $\text{Na}_9\text{Si}_{136}$ поглощает аномально большое количество водорода $\text{H}/\text{Si} \approx 1$. Поскольку такое количество водорода не может разместиться в клатрате из кристаллохимических соображений, мы решили проверить, не образуется ли в процессе гидрирования силан SiH_4 , что могло бы понизить давление в автоклаве, приписываемое поглощению водорода образцом. Проверка методом масс-спектрологии состава газа, оставшегося в автоклаве после дейтерирования образца клатрата кремния, однако, не выявило в нем SiD_4 . Таким образом, необычно высокая емкость клатрата кремния по водороду пока остается загадкой.

Руководитель проекта: к.ф.-м.н. В. С. Ефимченко.

Для создания новых структур, а именно полевых транзисторов на основе core-shell нанопроволок InAs/GaAs был существенно переработан и улучшен наноманипулятор. Также существенным образом были расширены его возможности. Удалось на порядок уменьшить шум в вертикальном направлении при сканировании, что позволит проводить проверку результатов перемещения нанопроволок с латеральной точностью заметно лучше 100 нм без применения сканирующего электронного микроскопа. Удалось освоить новый бесконтактный метод перемещения нанопроволок по поверхности подложки. В этой технике перемещение нанопроволоки осуществляется потоком тяжелых, слаболетучих фракций углеводородов, которые после перемещения нанопроволоки можно легко убрать с поверхности образца.

Руководитель - д.ф.-м.н. Шашкин А.А.

Было исследовано влияние магнитного поля на проводимость двумерных квантовых спин-холловских изоляторов в квантовых ямах кадмий-ртуть-теллур. Показано, что в режиме краевого транспорта в таких структурах наблюдается сильнейший эффект положительного магнитосопротивления, приводящий к экспоненциальному росту сопротивления краев при низких температурах. В отличие от случая нулевого магнитного поля, качественное объяснение этого поведения согласуется со сценарием локализации носителей вследствие разрешенного в магнитном поле когерентного рассеяния назад.

Руководитель - к.ф.-м.н. Храпай В.С.

Арктика – научная основа технологий освоения, сохранения и развития

Образцы сплавов двух составов: сплав 1: Mo-0,19Ta-0,04C и сплав 2: Mo-0,37Ta-0,11Hf-0,16Zr-0,4Ti-0,16C (ат%) в виде слитков диаметром 100 мм были выплавлены методом последовательного проведения вакуумной электронно-лучевой и вакуумной дуговой плавки. Далее методами горячей экструзии и последующей горячей и холодной прокатки и термообработки были изготовлены листы толщиной 0,98 мм (оба сплава) и 0,55 мм (второй сплав). Структура обоих сплавов была двухфазной, состоящей из крупных (50-100 мкм) зерен твердого раствора на основе молибдена и выделений карбида на основе Mo₂C.

По данным испытаний на 3-х точечный изгиб в интервале температур от 20 до -60°C были определены температурные интервалы вязко-хрупкого перехода для образцов обоих сплавов. У образцов 1-го сплава этот интервал составил 0 - -30°C, у образцов 2-го сплава из листа толщиной 1 мм: -40 - 70°C (нижний порог определен по экстраполяции). Образцы 2-го сплава из листа толщиной 0,55 мм оставались пластичными при температуре -60°C. Это означает, что вязко-хрупкий переход находится ниже -60°C.

Руководитель - член-корреспондент РАН М.И. Карпов

Представлены первые результаты по разработке твердофазного способа получения жаростойких покрытий из соединений молибдена и вольфрама для жаропрочных слоистых композитов на основе ниобия, упрочненных его же соединениями с кремнием и бором. Исследована микроструктура покрытия. В его составе были обнаружены: карбидо-силицид молибдена и вольфрама (Mo,W)(Si,C), соединение, которое на данном этапе исследований может быть идентифицировано, как силицид (Mo,Me)(Si,C)₂ или карбид молибдена (Mo,Me)(C,Si), где Me – W и Nb и неиспользованный вольфрам. Установлено, что при диффузионной сварке, 1400°C в течение 1 часа, ни одна из ожидаемых фаз Новотного стехиометрических составов (Mo,W)₅Si₃C или (Mo,W)₅Si₂ ещё не сформировались вероятнее всего вследствие низкой температуры сварки. Однако эксперимент показал, что взаимодействие между тугоплавкими элементами Mo и W с углеродом и кремнием даже в этих условиях протекал достаточно активно. Настоящий эксперимент показал возможность разрабатываемой нами твердофазной технологии получать на поверхности композита Nb/(Si-B) жаростойкие покрытия в одном процессе с формированием его жаропрочной слоистой структуры.

Руководитель: к.т.н. В.П. Коржов

Раздел II. Физические науки. Подраздел 12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений **Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы**

Нелинейная динамика в математических и физических науках

Экспериментально было исследовано влияние количества вихрей в пространстве волновода, было получены зависимости затухания коротких единичных пробных импульсов в зависимости от длины пробега импульса по волноводу. Было показано, что при рассеянии на вихрях сильно удлиняется пробный импульс второго звука и для определения рассеяния тепловых импульсов на вихрях необходимо учитывать общее

количество тепла в импульсе, а не только его амплитуду в максимуме. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами показало более слабую зависимость от расстояния пробега, что может указывать на меньшую плотность вихрей, возбуждаемую стационарным тепловым потоком по сравнению с величиной по современным теоретическим оценкам.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Б. Ефимов

Научные и научно-технологические исследования и разработки, финансируемые за счет внебюджетных источников

I. Гранты молодых ученых

При температуре 0.5 К в AlAs квантовых ямах различной ширины были исследованы электронный и ядерный парамагнитный резонанс, а также спиновая динамика ядер. Проведено сравнение полученных результатов с результатами ЭПР спектроскопии, выполненной на уникальных GaN/AlGaN гетеропереходах. По изменению положения спинового резонанса было обнаружено, что при изменении ширины AlAs квантовых ям изменяются заполнения электронных долин, так в узких ямах заполнена внеплоскостная долина, а в широких ямах электроны заселяют плоскостные долины. Было обнаружено, что ЭПР наблюдается и вблизи номинально немагнитных четных факторов заполнения.

Произведен анализ изменения амплитуды и ширины пиков спинового резонанса при изменении фактора заполнения двумерной системы. Было изучено влияние спин-орбитального взаимодействия на физику квантового эффекта Холла в таких структурах

Гр. Президента МК-6705

Руководитель – к.ф.-м.н. Щепитильников А.В.

II. Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ

На образцах гетероструктур GaAs/AlGaAs выполнены исследования динамической доменной структуры спонтанного электрического поля, возникающей в индуцированном микроволновым излучением бездиссипативном состоянии двумерной электронной системы. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие идею о том, что причиной переверотов спонтанного электрического поля в доменах является динамическое экранирование этого поля зарядами слоя легирования, поставляющего электроны в двумерную систему. Обнаружено “замораживание” динамики спонтанного электрического поля при понижении температуры, выражающееся в исчезновении эффекта переверотов и приводящее к статической конфигурации микроволновой фото-ЭДС в образце. Тем самым получено свидетельство в пользу существования при низких температурах статической доменной структуры, первоначально предсказанной теоретически для бездиссипативного состояния.

Установлено влияние электрон-электронного рассеяния на немарковскую динамику двумерных электронов в магнитном поле, проявляющуюся в корреляции последовательных актов упругого рассеяния на статических дефектах. Эффект проявляется в температурной зависимости минимумов поглощения микроволнового излучения высокой частоты (более 100 ГГц), наблюдаемых на гармониках циклотронного резонанса, начиная со второй.

Обнаружен и объяснен эффект интерференции квантовых магнето-осцилляций емкости полевых транзисторов с индуцированным микроволновым излучением

магнето-осцилляциями проводимости двумерной электронной системы, образующей проводящий канал транзистора.

РНФ 14-12-00599

Руководитель – д.ф.-м.н.Дорожкин С.И.

Впервые было исследовано затухание плазменных возбуждений в режиме сильного запаздывания. Обнаружено, что в этом режиме затухание плазменных волн оказывается аномально подавлено, вопреки тому, что ранее считалось, что плазменный резонанс наоборот будет существенно уширяться за счет радиационного вклада в затухание плазмонов. Установлено, что зависимость нормированной ширины плазменного резонанса $\Delta\omega t$ от параметра запаздывания A носит универсальный характер. Этот закон был проверен на трёх различных структурах с концентрациями 0.8×10^{11} , 3.9×10^{11} и 6×10^{11} см⁻², и обратными транспортными временами рассеяния 9.5×10^9 , 3.4×10^{10} и 5.6×10^{10} с⁻¹. Показано, что в режиме сильного запаздывания плазменные волны оказываются слабо затухающими вплоть до комнатной температуры, что открывает большие перспективы для создания эффективных детекторов терагерцового излучения, работающих при комнатной температуре.

Исследовано влияние кулоновских корреляций на спектр коллективных возбуждений с низкой энергией в двумерных электронных системах в режиме квантового эффекта Холла при факторе заполнения $\nu = 2$. Коллективные возбуждения исследованы методом неупругого света рассеяния в гетероструктурах MgZnO / ZnO с двумерными электронами высокой подвижности. Измерения сфокусированы на изучении свойств коллективных возбуждений с наименьшей энергией в парамагнитном состоянии $\nu = 2$, которые отвечают циклотронный спин-флип моде магнитоэкситонов (CSFM) и связаны с переходами между уровнями Ландау с одновременным переворотом спина. Кулоновский вклад в энергию CSFM моды измерялся независимо от зеемановского члена и было измерено его изменение в зависимости от электронной плотности. Установлено, что в диапазоне концентраций электронов, соответствующих параметру Вигнер-Зейтцу $rs \sim 5-7$, комбинация кулоновского и зеемановского вкладов приводит к смягчению CSFM моды. Это смягчение сопровождается спонтанным переключением спиновой конфигурации в квантовом состоянии $\nu = 2$ от парамагнитного до ферромагнитного. Приведены теоретические оценки для корреляционных энергетических членов CSFM моды, ответственные за смягчение CSFM моды и сопутствующий ферромагнитный переход.

В двумерных электронных системах в AlAs квантовых ямах различной ширины исследованы спектры магнитоплазменных возбуждений. Было обнаружено, что спектр магнитоплазменных возбуждений сильно изменяется когда ширина квантовой ямы становится меньше, чем 5.5 нм, что указывает на резкое изменение энергетического спектра электронов проводимости. Обнаруженное преобразование плазменных возбуждений можно интерпретировать в терминах перехода от случая сильно анизотропных электронных долин, лежащих в 2Д-плоскости, к случаю изотропной долины, перпендикулярной плоскости квантовой ямы. В узких квантовых ямах AlAs обнаружено значительное увеличение эффективной циклотронной массы двумерных электронов по сравнению с массой, общепринятой в объемном материале.

Явление спинового резонанса двумерных электронов, заключенных в 16 нм AlAs квантовую яму, было изучено в режиме квантового эффекта Холла вблизи единичного фактора заполнения. При температуре $T = 0.5$ К спиновый резонанс не наблюдался непосредственно в факторе заполнения 1, однако был обнаружен уже при небольшом отходе от него, а также при увеличении температуры образца. Измеренная зависимость амплитуды резонанса от фактора заполнения имела два максимума вблизи факторов заполнения, симметрично отстоящих от единичного 0.9 и 1.1. Были исследованы температурные зависимости амплитуды спинового резонанса вблизи

различных факторов заполнения. Оказалось, что непосредственно в единичном факторе заполнения амплитуда резонанса падает с уменьшением температуры T . При отходе от него характер температурной зависимости изменяется. Так, при факторах заполнения 0.9 и 1.1 амплитуда электронного парамагнитного резонанса растет с понижением T . Вблизи единичного фактора заполнения зависимость амплитуды от T с хорошей точностью пропорциональна производной продольного магнитосопротивления по T , измеренной при том же факторе заполнения. Количественное же согласие, однако, нарушается при отходе от заполнения 1. Данные экспериментальные наблюдения указывают на то, что непосредственно в единичном факторе заполнения детектирование спинового резонанса основывается на чувствительности продольного магнетосопротивления к разогреву, обусловленному резонансным поглощением микроволнового излучения, однако данный механизм перестает работать при отходе от фактора заполнения 1.

РНФ 14-12-00693

Руководитель – академик Кукушкин И.В

Динамика чистой экситон-поляритонной (ЭП) системы, создаваемой резонансным широкополосным возбуждением в широком диапазоне волновых векторов, была исследована в микрорезонаторе (МР) на основе GaAs с высокой добротностью. Показано, что ЭП-система наследует высокую пространственную когерентность от лазерного импульса и не теряет ее при затухании. В результате ее динамика хорошо контролируется пространственным (r) и импульсным (k) распределением фотонов в возбуждающем импульсе и описывается уравнениями Гросса-Питаевского. В частности, чисто динамическое формирование плотного когерентного состояния ЭП было реализовано на дне нижней поляритонной ветви в МР, возбуждаемом в большой области сходящимися пикосекундными гауссовыми лазерными импульсами, когда активная область МР находится перед его фокусом. Обнаружено, что сформированное состояние сохраняется в течение нескольких пс, пока ЭП-ЭП отталкивание не становится преобладающим. При этом вместо монотонного распылывания конденсата в координатном пространстве с соответствующим ему монотонным сужением распределения в импульсном пространстве наблюдается разлет поляритонов из конденсата с большими скоростями. Этот эффект объяснен в рамках закона сохранения полной (потенциальной+кинетической) энергии в расширяющемся конденсате с отталкивательным взаимодействием.

2. В приближении среднего поля исследовано динамическое сжатие экситон-поляритонной системы в планарном микрорезонаторе, резонансно возбуждаемом эллиптически поляризованными когерентными гауссовыми импульсами. Установлено, что поляритонная система наследует эллиптическую поляризацию возбуждающего импульса, но в отличие от линейно-поляризованной жидкости не сохраняет ее после окончания импульса. Обнаружено, что динамическое сжатие слабо взаимодействующих компонентов с поляризацией σ^+ и σ^- происходит практически независимо. Меньшая из двух компонент сжимается гораздо сильнее, чем доминирующая. Более сильное сжатие меньшей компоненты приводит к нарушению пространственной однородности эллиптической поляризации как в реальном, так и в импульсном пространствах: степень круговой поляризации уменьшается в центре и увеличивается на краях сжатого состояния

РНФ 14-12-01372

Руководитель – д.ф.-м.н. член-корр. РАН Кулаковский В.Д.

Проведены измерения время-разрешенного керровского вращения для холловского изолятора (фактор заполнения 2) в неравновесном состоянии, возникающем под действием импульсной оптической накачки. Время сбоя фазы спиновой прецессии

одиночных надконденсатных спиновых возбуждений («темных» спин-триплетных магнитоэкситонов) составило ~ 8 нс, в то время как в магнетофермионном конденсате это время оказалось столь длинным, что превысило возможности используемой измерительной системы: оно много больше периода следования импульсов накачки – 12 нс. В этой связи возникает необходимость расширения имеющихся экспериментальных возможностей. Для определения точного времени сбоя фазы спиновой прецессии в магнетофермионном конденсате нужно использовать "прореживатель" импульсов накачки Ti-сапфирового лазера. Объяснение причин появления столь длинных времен требует построения соответствующей теории.

С помощью специально разработанной экспериментальной методики, использующей импульсно-периодическую оптическую накачку с возможностью варьирования амплитуды, длительности и периода следования импульсов излучения полупроводникового лазера, измерена зависимость от длительности импульса накачки суммарного времени релаксации магнитоэкситонов в основное состояние и их пространственного растекания из области фотовозбуждения. В результате анализа полученной зависимости обнаружены различные области релаксации и распределения магнитоэкситонов по состояниям, определяемые количеством неравновесных магнитоэкситонов, накачанных внешним возбуждением в холловский изолятор.

Проведены поисковые эксперименты по обнаружению взаимодействия между двумя пространственно разделенными областями магнетофермионного конденсата, возникающими в окрестности двух пятен фотовозбуждения. Обнаружен эффект перетекания магнитоэкситонов из одного пятна в другое.

РНФ 16-12-10075.

Руководитель – академик Тимофеев В.Б.

Наиболее важным результатом, полученным в течение третьего года работы по проекту, является показанная возможность легирования молибденовой матрицы, используемой в методе внутренней кристаллизации для получения оксид-молибденовых композитов, кремнием и бором и, соответственно, - получения матрицы, состоящей из молибдена и частиц силицида молибдена Mo_3Si и фазы $\text{T2} - \text{Mo}_5\text{SiB}_2$. Такого типа композитные образцы получены впервые. В действительности это означает, что реальностью стало объединение лучших характеристик разрабатываемых в настоящее время молибденовых сплавов и оксид-молибденовых композитов, получаемых методом внутренней кристаллизации, которым владеет исследовательская группа проекта.

2. Установлено, что трещиностойкость, высокотемпературная прочность и крипостойкость композитов с модифицированной молибденовой матрицей и оксидными волокнами превышает характеристики разрабатываемых в США, Германии, Японии и Китае сплавов $\text{Mo}-\text{Mo}_5\text{SiB}_2-\text{Mo}_3\text{Si}$. Дальнейшее повышение механических характеристик композитов возможно, но для этого требуется оптимизировать структуру и технологию композитов.

3. Улучшены два ранее использованных метода нанесения покрытий. Ионно-плазменный метод используется в настоящее время для нанесения градиентных покрытий, что необходимо для сопряжения по коэффициентам линейного расширения композита и защитного слоя. Таким методом нанесены градиентные покрытия молибдатов иттрия на композиты с эвтектическими сапфир-гранат (YAG) волокнами. Электро-искровым легированием слоем силицида молибдена покрыты образцы с волокнами муллит- ZrO_2 .

4. Показана достаточно высокая жаростойкость образцов указанных выше композитов с покрытиями при температуре 1400°C , приближенных к реальным условиям эксплуатации.

5. Были получены и исследованы композиты с двумя типами новых волокон – близких к эвтектическому составу YAM-YAP и монокристаллическим YAM. Показано, что высокотемпературная прочность YAM-YAP волокон достаточно высока.

РНФ 16-19-10624

Руководитель – д.т.н. Милейко С.Т.

Теоретически исследована плотность состояний в тонкопленочном бислое S/F при наличии доменной стенки в ферромагнетике вблизи края пленки. Математически рассматриваемая система эквивалентна чистой низкоразмерной (1D или 2D) сверхпроводящей системе в присутствии зеемановского расщепления и сильной неоднородной спин-орбиты. Таким образом, решенная задача в перспективе может иметь отношение к ультрачистым ППН с наведенным эффектом близости. Находятся и обсуждаются спин-поляризованные Андреевские резонансы, расположенные вблизи края пленки. Сверхпроводник рассматривается в чистом пределе, граница с ферромагнетиком предполагается туннельной. Появляющиеся в таких условиях Андреевские псевдо-связанные состояния могут служить спектроскопическим индикатором наличия/движения неоднородности обменного поля или спин-орбиты.

Продемонстрирован простой новый подход к характеристике интерфейса сверхпроводник-ППН при помощи измерения фактора Фано в нормальном состоянии, и, параллельно, кондактанса в сверхпроводящем состоянии. При высоком качестве интерфейса наблюдаются ярко выраженные щелевые особенности и конечный сверхток, что сопровождается фактором Фано дробового шума в нормальном состоянии близким к универсальному значению $F \sim 1/3$ для диффузионного проводника. Напротив, транспортные особенности при низком качестве интерфейса оказываются замкнуты, вероятно из-за конечной длины перетекания в контакте, а $F > 0.5$ в нормальном состоянии, что близко к случаю доминирования одного из интерфейсов в двухтерминальном сопротивлении отрезка ППН.

Проведен расчет авто- и кросс- корреляций дробового шума в четырехтерминальной геометрии диффузионного проводника с внутренней областью размера масштаба длины свободного пробега. В рамках ланжевеновского подхода, дополненного специально разработанной моделью ланжевеновского гибридного проводника получены выражения для токового автокоррелятора и кросс-коррелятора в геометрии креста.

Исследованы локальная функция распределения, локальная и средняя шумовые температуры в металлических нанополосках бислоев Au/Ni, служащих одновременно контактами к одиночным InAs ППН. Нам удалось связать быструю релаксацию функции распределения к локальному равновесию с наличием магнитного упорядочения, что подтверждается прямыми измерениями особенности Кондо в дифференциальном сопротивлении металлической полоски. Кроме того, сравнив поведение локальной температуры в двух образцах с различной толщиной подводящих токовых полосок, мы предложили простой метод калибровки теплового градиента наноструктур при низких температурах, не требующий дополнительных шумовых измерений

Теоретически показана возможность парного e-e рассеяния в чистом квази-одномерном квантовом проводе со спин-орбитальной связью. Показано, что снятие спинового вырождения и прецессия спина частицы в зависимости от импульса обеспечивают уникально богатый набор возможностей для парных e-e столкновений в нижней подзоне, что не было известно ранее. В пределе короткого провода рассчитаны соответствующие столкновения, приводящие в резонансным вкладам в кондактанс в зависимости от химпотенциала электронов. Эти вклады имеют степенные зависимости от температуры, что намного сильнее, чем для трехчастичных

столкновений в вырожденном по спине случае. Вдобавок, некоторые вклады, включая самый сильный линейный по температуре отрицательный, обращаются в ноль в случае симметричного потенциала ограничения провода, что допускает прямую проверку наших предсказаний в эксперименте.

Рассмотрена релевантная для эксперимента модель баллистического геликального канала в квантовом спин-холловском изоляторе, в которой учтена прямая и не прямая релаксация спина в контактной области. Показано, что настоящее квантованное значение геликального кондактанса не может наблюдаться в измерениях, поскольку близость к этому значению обусловлена всегда конечной эффективностью спиновой релаксации. Таким образом, учет спиновой релаксации позволяет объяснить давно известный экспериментальный результат, что измеренный кондактанс баллистического геликального канала часто оказывается меньше квантованного значения, что невозможно объяснить в одноканальном случае

РНФ 16-42-01050

Руководитель – к.ф.-м.н. Храпай В.С.

Выполнены измерения зависимости от времени средней амплитуды завихренности решетки вихрей на поверхности растворов вода-глицерин после включения возбуждения на поверхности двух перпендикулярных волн частотой 3 Гц. Отмечено, что для достижения наилучшего согласия экспериментальных данных с теоретическими расчетами необходимо предположить наличие упругой пленки на поверхности жидкости. С учетом влияния пленки показано, что завихренность, генерируемая перпендикулярными нелинейными волнами, практически не изменяется при увеличении объемной вязкости раствора более чем в 10 раз.

Изготовлена экспериментальная ячейка для изучения процессов формирования вихревых движений в сверхтекучем гелии с помощью инжектированных зарядов. Установлено, что возбуждение волн на поверхности гелия приводит к изменению тока отрицательных зарядов на составном коллекторе, что может быть связано с проникновением вихрей в объем жидкости.

Приведены результаты экспериментальных исследований волновой турбулентности в системе капиллярных волн, формирующихся на поверхности жидкого водорода при температуре 15K в цилиндрической ячейке при монохроматической радиально-симметричной накачке. Впервые наблюдается формирование локального максимума с понижением амплитуды накачки в высокочастотной области инерционного интервала стационарного турбулентного спектра, на краю прямого каскада. Возникновение локального максимума может быть связано с существенным проявлением вязкого затухания в высокочастотной области спектра.

Экспериментально наблюдается развитие распадной неустойчивости гравитационно - капиллярных волн на поверхности воды, возбуждаемой двумя перпендикулярными плунжерами. Волны на частоте 8 Гц в результате четырех волнового процесса распадается попарно на волны частотами 3.92 Гц и 4.08 Гц, а также 11.98 Гц и 12.02 Гц. Амплитуды низкочастотных волн возрастает со временем экспоненциально с характерным временем около 90 с, которое почти на порядок превосходит время вязкого затухания волны. Наряду с основной модой накачки, возникшие низкочастотные гармоники, распространяющиеся на поверхности воды под углом около 15 градусов друг к другу, формируют на поверхности воды крупномасштабные вихревые течения. Энергия волн из области накачки непосредственно передается в вихри размером сравнимым с длиной стороны ванны. В вихревой системе из области малых волновых векторов устанавливается прямой каскад энергии с распределением энергии близким к $E(k) \sim k^{-5/3}$.

РНФ 17-12-01525

Руководитель – д.ф.-м.н. Левченко А.А.

Проводились исследования кристаллической структуры поверхности Sb(111), Pb/Sb(111) с использованием следующих методов: сканирующая туннельная микроскопия, сканирующая туннельная спектроскопия, дифракция медленных электронов и атомно-силовая микроскопия. Также были проведены теоретические расчёты следующих моделей: плёнки с идеальной кристаллической структурой Sb(111), с наличием дефектов в приповерхностных слоях, а также тонкие плёнки Pb(111) на поверхности Sb(111). Все расчёты проводились в рамках теории функционала плотности.

Было установлено, что в результате разрыва по ковалентной связи у приповерхностного бислоя Sb(111) происходит локальное нарушение пайерлсовского перехода, глубина которого составляет порядка 7-8 атомных слоёв. Также было обнаружено подавление сверхпроводимости в плёнках свинца (вплоть до 1.5 К перехода в сверхпроводящее состояние не выявлено), что может быть объяснено сильным взаимодействием между Pb электронными подсистемами Pb и Sb.

Российский науч. фонд 17-42-10206 РФФ Левченко Е.А.

В рамках работ по гранту РФФ 17-73-10401 в 2018 году проводились исследования зависимости удельной поверхности трещин в жаростойких покрытиях на углерод-углеродных композиционных материалах (УУКМ) в зависимости от состава и структуры покрытий. Установлено, что применение предварительной механической обработки поверхности УУКМ, а также введение в состав покрытия углеткани способствует снижению количества трещин в покрытии более чем на 85%. Таким образом, гипотеза о положительном влиянии создания аккомодационных структур в покрытии на показатели его стойкости к растрескиванию подтверждена экспериментально.

Помимо этого была отработана методика формирования всесторонне защищенных образцов УУКМ для проведения испытаний покрытий на жаростойкость и термоциклирование. Установлено, что двухэтапная обработка расплавами силицидов позволяет получить сплошное покрытие с необходимой микроструктурой по всей поверхности защищаемого образца УУКМ.

Дальнейшие работы были направлены на изучение возможности формирования жаропрочного и жаростойкого функционального слоя покрытия, а также на продолжение поисков оптимальных состава и структуры аккомодационных функциональных слоев покрытия. Проведено исследование особенностей взаимодействия сплавов системы Mo-Si-C, богатых молибденом с УУКМ. Установлено, что они позволяют сформировать в толще покрытия структуры, богатые относительно пластичной фазой - твердым раствором кремния в молибдене. Это могло бы значительно повысить устойчивости покрытия к растрескиванию, однако обнаруженный слой карбида молибдена, всегда возникающий вдоль границы раздела материала-основы и покрытия, проявляет повышенную хрупкость и пока не позволяет оценить адгезию подобных функциональных слоев как удовлетворительную. В результате большого объема экспериментальной работы установлено, что для формирования внутренних функциональных слоев защитного покрытия предпочтительно использовать сплавы системы Mo-Si-C относительно богатые кремнием. Лишь в данном случае удастся добиться формирования внутреннего слоя с достаточным уровнем адгезии к композиту.

РФФ 17-73-10401

Руководитель – к.т.н. Гнесин И.Б.

Оксиды $\text{Ca}_y\text{Sr}_{1-y}\text{Fe}_{0.75}\text{Mo}_{0.25}\text{O}_{3-\delta}$ ($y = 0.25, 0.5$) синтезированы методом пиролиза глицин-нитратных прекурсоров. С целью корректировки функциональных

характеристик оксидных анодов ТОТЭ на основе $\text{SrFe}_{0.75}\text{Mo}_{0.25}\text{O}_{3-\delta}$ изучено влияние изовалентного замещения стронция кальцием на структурные, термодинамические, термомеханические и транспортные свойства оксида. Показано, что частичное замещение стронция на кальций приводит к значительному уменьшению константы равновесия реакции окисления, соответствующему уменьшению концентрации электронных носителей р-типа и увеличению концентрации электронных носителей n-типа. Установлено, что введение кальция приводит к увеличению подвижности носителей р-типа при неизменной энергии активации и увеличивает энергию активации подвижности носителей n-типа.

Рассмотрено три варианта конверсии метана для снабжения батареи синтез-газом: парциальное окисление, паровая конверсия и рецикл-конверсия. В каждом варианте получены выражения для коэффициента использования топлива (КИТ) в системе в зависимости от энергоёмкости топлива, напряжения на ТОТЭ, входной и выходной доли окисленных газов в батарее ТОТЭ, на их основе — выражения для КПД системы в зависимости от энергоёмкости топлива, напряжения на ТОТЭ и КИТ.

Получены зависимости КПД горячей зоны в целом от рабочих параметров во всех рассмотренных схемах реализации. Рассчитаны предельные КПД как в случае идеальной, так и в случае неидеальной батареи. Рассчитаны значения коэффициента использования топлива и напряжения, при которых могут быть достигнуты максимальные значения КПД. Изучено влияние токовой нагрузки на микроструктуру и состав электродов ТОТЭ, полученных методом совместного спекания при температурах 1180°C и 1300°C.

Показано, что после восстановления оксида никеля в атмосфере топливной камеры низкая плотность слоев анодов, спеченных при 1180°C, не позволяет получить устойчивый электропроводящий кластер. Токовая нагрузка, в свою очередь, приводит к разрыву контакта между отдельными зёрнами металла, что вызывает не только рост сопротивления электронному транспорту за счет ухудшения перколяции, но и к снижению каталитических свойств электрода за счет появления областей, не имеющих доступа к электронам внешней цепи, необходимым для протекания реакции окисления топлива.

Российский науч. фонд 17-79-30071 РНФ В.В.Хартон

В свободно подвешенных плёнках полярного жидкого кристалла наноразмерной толщины изучена зависимость структуры и полярных характеристик плёнок от температуры и толщины (числа молекулярных слоёв N) плёнки. В плёнках толщиной 5 и 6 молекулярных слоёв наблюдались структуры, отсутствующие в объёмных образцах. В толстых плёнках ($N > 4$) при высокой температуре обнаружены переходы в электрическом поле из состояния с продольной поляризацией в состояние с поперечной поляризацией. Проведенные эксперименты позволили получить фазовую диаграмму температура — число молекулярных слоёв в плёнке. В рамках теории Ландау фазовых переходов рассчитаны структуры в тонких плёнках и фазовые переходы, происходящие при изменении температуры, рассчитана фазовая диаграмма температура — число молекулярных слоёв в плёнках. Из сопоставления экспериментальных результатов с расчётом определены величины межслоевых взаимодействий, отвечающих за образование структур с многослойным упорядочением.

Проведены экспериментальные исследования огрубления (коалесценции) островов в двумерных плёнках. Коалесценция начинается с образования и роста перешейка между островами. На начальном этапе наблюдается линейный со временем рост перешейка. Он характеризуется наиболее быстрым временем трансформации структуры. Сопоставление экспериментально определенной скорости роста перешейка с расчётной указывает на влияние конечной вязкости внешней среды, в частности,

воздуха и конечной толщины плёнки на процесс коалесценции (проявляющейся в уменьшении скорости роста перешейка). Наблюдается увеличение времени релаксации с увеличением размера островов.

Исследованы особенности структуры гексатических жидких кристаллов с фазовым переходом первого рода HexB-SmA . Изучены причины редкой коалесценции капель изотропной фазы в перегретых свободно подвешенных смектических пленках ортогональных смектиков. Рассчитана вероятность начала коалесценции капель изотропной фазы в перегретых плёнках, получено выражение для критической работы этого процесса как функции величины сближения смектических оболочек капель. Показано, что основной вклад в величину критической работы начала коалесценции дают уменьшение поверхностной энергии, обусловленное началом слияния смектических оболочек включений, и работа, затрачиваемая на преодоление сил гидродинамического сопротивления при указанном движении.

РНФ 18-12-00108

Руководитель – д.ф.-м.н. Долганов П.В.

1) С помощью время-разрешенного резонансного отражения исследованы возбуждения Лафлиновской жидкости $1/3$ и при других дробных факторах заполнения.

Обнаружены особенности в спектрах отражения Лафлиновской жидкости $1/3$, связанные с формированием основного и возбужденного состояния с переворотом спина.

2) Исследованы спектры отражения двумерной электронной системы при других дробных факторах заполнения на нулевом уровне Ландау (в окрестности Лафлиновского состояния $1/3$ и композитных фермионов $1/2$ и $3/2$).

Обнаружены особенности в спектрах стационарного и время-разрешенного резонансного отражения при дробном факторе заполнения с четным знаменателем $3/2$. Показано, что

- для электронной системы в окрестности фактора $3/2$ нарушается фундаментальная электрон-дырочная симметрия, что существенно ограничивает класс возможных волновых функций, описывающих дробное состояние $3/2$;

- вблизи фактора заполнения $3/2$ под воздействием фотовозбуждения формируется неравновесная пространственно-неоднородная фаза многочастичных комплексов, разделенных пустыми местами.

3) Измерено время релаксации спиновых возбуждений при факторе заполнения $3/2$, которое составило 10 мкс. Это гигантское время по сравнению с временами релаксации во всех других известных релаксационных процессах, за исключением тех, что наблюдаются при факторе заполнения 2.

4) Рассмотрены теоретические основы формирования неравновесных магнитоэкситонных ансамблей в неполяризованных по спину состояниях квантового эффекта Холла в рамках формализма теории возмущений для экситонного представления. Теория включает в себя все основные аспекты кулоновского взаимодействия в электронной системе, учитывает бозевскую статистику магнитоэкситонов и допускает расширение на дробные, неполяризованные по спину, Лафлиновские состояния типа $3/2$. Рассмотрена возможность конденсации магнитоэкситонов в когерентные кластеры и вычислен оптический отклик (резонансное отражение) ансамбля магнитоэкситонов в когерентном и некогерентном состояниях.

5) Обнаружен новый эффект передачи импульса от неравновесных магнитоэкситонов к плазмаронам. Измерение энергетического спектра плазмаронов дает информацию о распределении "темных" магнитоэкситонов в импульсном пространстве.

6) Показано, что из спектра плазмаронов можно экспериментально определить число особых точек на дисперсионной зависимости магнитоэкситонов. Обнаружено, что в дисперсии магнитоэкситонов в Лафлиновском состоянии $3/2$ имеются три особые точки в отличие от дисперсии экситонов при целочисленном факторе заполнения 2, где имеется ровно одна особая точка. Аналогичные особенности в дисперсии магнитоэкситонов наблюдаются на факторе заполнения $1/3$.

РНФ 18-12-00246

Руководитель – д.ф.-м.н. Кулик Л.В.

«Микроструктурные изменения в сплавах системы Mg-Zn при фазовом переходе смачивания и интенсивной пластической деформации»

Проект «Микроструктурные изменения в сплавах системы Mg-Zn при фазовом переходе смачивания и интенсивной пластической деформации» направлен на исследование микроструктурных превращений в магниевых сплавах в рамках теории о фазовом переходе смачивания на границах зерен. Магниевые сплавы используются при литье деталей в авиакосмической и военной промышленности. Они обладают хорошими литейными характеристиками, а также сопротивлением к ползучести при температурах ниже 250°C . Однако, они плохо деформируются при повышенных температурах, что ограничивает их область применения. Исследование микроструктурных превращений может привести к улучшению их свойств и расширению области применения данных сплавов.

За отчетный период в 2018 году были проведены следующие работы по гранту:

1. Определение температур зернограницного фазового перехода «смачивания» жидкой фазой в сплаве EZ33A. С этой целью были изготовлены образцы сплава EZ33A, запаянные в вакуумированные кварцевые ампулы. Образцы были подвергнуты длительному изотермическому отжигу при температурах двухфазной области фазовой диаграммы твердое-жидкое (примерно от 340°C до 600°C). Была исследована микроструктура сплавов методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. Для каждой температуры отжига были определены: (а) доля границ α -Mg, полностью смоченных фазой эвтектоида с интерметаллидом Mg_{12}RE ; (б) контактный угол смачивания границ зерен.
2. Уточнение температур эвтектического превращения и температур полного плавления (ликвидуса) в сплаве EZ33A. Для этого были проведены серии последовательных отжигов с приближением к искомому температурам. Температуры были определены по структурным характеристикам сплава, таким как форма частиц на границах зерен, а, так же, по внешнему виду образца.
3. Исследование фазового состава отожженных образцов сплава EZ33A после отжигов для жидкофазного смачивания методом дифракции рентгеновских лучей. Определение структуры фаз, размера кристаллитов, и объемной доли занимаемой конкретной фазой.
4. Измерение твердости образцов сплава EZ33A после отжигов для жидкофазного смачивания, для определения изменений в механических свойствах.

Начаты работы по:

1. Определению температур зернограницного фазового перехода «смачивания» твердой фазой интерметаллида Mg_{12}RE (где RE – редкоземельные элементы) в сплаве EZ33A. С этой целью были изготовлены образцы сплава EZ33A, запаянные в вакуумированные кварцевые ампулы. Образцы были подвергнуты длительному изотермическому отжигу при температурах в двухфазной области «твердое-твердое» (примерно от 100°C до 340°C). Будет исследована микроструктура таких сплавов методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. Для каждой температуры отжига будут определены: (а) доля границ α -Mg, полностью смоченных фазой интерметаллида Mg_{12}RE ; (б) контактный угол смачивания границ зерен.

2. Испытания лабораторных микро-образцов сплава EZ33A с исходной структурой и после отжига для жидкофазного смачивания на разрыв на лабораторном стенде для исследования изменений в механических свойствах.

Установлено, что:

1. Фазовый переход жидкофазное смачивания границ зерен α -Mg фазой интерметаллида Mg12RE начинается при температуре $529 \pm 0,5$ °C. При этом сразу наблюдается 12% смоченных границ зерен, что означает, что энергия межфазной границы раздела твердое/жидкое при данной температуре уже выше чем энергии 12% границ зерен.

2. Температура $529 \pm 0,5$ °C так же соответствует температуре эвтектического превращения в данном сплаве.

3. По результатам измерения дифракции рентгеновских лучей в образцах наблюдаются две фазы: Твердый раствор на основе α -(Mg) с гексагональной решеткой и концентрацией около 94% и фаза Mg12RE (где RE – редкоземельные элементы) с тетрагональной решеткой и концентрацией около 6%. Концентрации зависят от температуры отжига образцов.

4. Измерения твердости подтверждают гипотезу о том, что низкая пластичность материала связана с наличием прослоек интерметаллида на границах зерен. Микротвердость прослоек интерметаллида составляет 200 – 400 HV, тогда как твердость фазы твердого раствора α -Mg составляет 60HV.

РНФ 18-72-00243

Руководитель – к.ф.-м.н. Страумал А.Б.

В результате работ над проектом 2018 года было исследовано взаимодействие циклотронного резонанса Азбеля-Канера в ДЭС с фотонными модами планарных СВЧ-микрорезонаторов. Мы пронаблюдали резонанс Азбеля-Канера в образцах в виде копланарного микрорезонатора, литографически сформированного поверх сплошной ДЭС, а также в образцах с ДЭС, сформированной в виде полосок, размещенных в щелях копланарного микрорезонатора. Было исследовано явление гибридизации фотонной и циклотронной мод, изучена магнитодисперсия гибридных циклотрон-поляритонных мод, измерена величина взаимодействия мод («частота Раби»), и изучена зависимость величины взаимодействия мод от электронной плотности.

РНФ 18-72-10072

Руководитель – к.ф.-м.н. Муравьев В.М.

В ходе выполнения проекта в 2018 году была собрана установка для измерения эффекта Керра и проведены первичные измерения времени спиновой релаксации в различных образцах для определения оптимальных параметров, таких как магнитное поле и длина волны лазера. Кроме того начата модернизация установки для измерения времени затухания превышающего 12 наносекунд.

РНФ 18-72-00126

Руководитель – к.ф.-м.н. Журавлев А.С.

Исследован магнитоконтактанс краев различной длины в HgTe квантовых ямах шириной 8 нм при температуре 0.6 К и в магнитном поле 0.1 Т.

Установлено подавление проводимости края в 2–4 раза при включении магнитного поля. Данное наблюдение явно указывает на присутствие андерсоновской локализации в краевых состояниях, что является результатом упругого рассеяния, разрешенного при сломанной симметрии по отношению к обращению времени.

РНФ 18-72-10135

Руководитель – к.ф.-м.н. Тихонов Е.С.

III. Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ

Разработана экспериментальная методика для измерения времен затухания сигнала резонансного оптического отражения после окончания импульса накачки от полупроводникового лазера. С помощью варьирования амплитуды, длительности и периода следования лазерных импульсов исследована динамика распространения магнетофермионного конденсата в высокоподвижной двумерной электронной системе в режиме холловского диэлектрика (фактор заполнения 2) в условиях пространственного растекания конденсатной области за пределы области фотовозбуждения. Измерена скорость распространения спиновых магнитоэкситонов в конденсированном состоянии. Она может достигать ~ 30 м/с. Столь высокая скорость распространения спиновых возбуждений в квантующих магнитных полях – это совершенно неожиданный результат. Он делает магнетофермионный конденсат практически единственным каналом получения информации об электронных состояниях в объеме холловского изолятора: степени пространственной неоднородности электронной концентрации, наличии потенциальных барьеров и каналов для протекания в объеме и т.д.

Продолжено исследование особенностей транспорта спиновых возбуждений в магнетофермионном конденсате с помощью визуализации пространственного распределения фотоиндуцированного резонансного отражения электроном либо ферми-дыркой, образующими магнитоэкситон, света, отвечающего оптическому переходу с уровня Ландау валентной зоны тяжелых дырок на соответствующий электронный уровень Ландау зоны проводимости. Обнаружены области, в которых магнетофермионный конденсат не формируется из-за искусственных потенциальных барьеров. Показано, что конденсат обтекает препятствия и может формировать вокруг них замкнутые траектории.

При проведении экспериментов по изучению взаимодействия между пространственно разделенными областями магнетофермионного конденсата обнаружен эффект перетекания магнитоэкситонов из одного пятна фотовозбуждения в другое, отстоящее от него на сотни микрон. Перетекание всегда происходит из области более интенсивной оптической накачки в область более слабого фотовозбуждения. Времена установления равновесного пространственного распределения конденсата после изменения плотности мощности накачки составляют секунды, что заставляет предположить электростатический механизм взаимодействия, связанный с перераспределением зарядов в барьерном слое.

Проект РФФИ 16-02-00137

Руководитель – д.ф.-м.н. Горбунов А.В.

Рассмотрен процесс рекомбинации двумерных электронов низкой плотности в гетеропереходе MgZnO/ZnO с локализованными дырками валентной зоны. Квазидырки, возникающие при фотолюминесценции сильно взаимодействующих двумерных электронов, предложено рассматривать как квазичастицы в квантовом Вигнеровском кристалле - вакансии. Вакансии, образующиеся при удалении электрона из кристалла, вследствие эффекта туннелирования не локализованы. Энергии вакансионных $E(k)$ образуют зону шириной D , зависящую от вероятности туннелирования вакансии. Величина D соответствует ширине зоны фотолюминесценции двумерной электронной системы. Получена форма полосы фотолюминесценции Вигнеровского кристалла в приближении сильной связи для закона дисперсии вакансионных $E(k)$, проведено сравнение с экспериментальными результатами.

Проект РФФИ 16-02-00225

Руководитель – к.ф.-м.н. Бисти В.Е.

В работе исследованы микроструктура, кратковременная прочность и характеристики ползучести при испытаниях на трехточечный изгиб сплавов с различным соотношением доля твердого раствора на основе ниобия (Nb,Me)тв.р-р. - доля твердого раствора на основе силицида (Nb,Me)5Si3 (где Me – легирующие элементы, имеющиеся в фазе) и легированной матрицы на основе ниобия (Nb,Me)тв.р-р. в температурном интервале 1100-1300°C. В первом случае методом индукционной плавки в режиме направленной кристаллизации выплавлены образцы сплава с составом (1-x)(Nb-9Mo-13Ti-4Hf-4Zr-4Al-4Cr)-xSi, где x =5, 10, 15 и 20 ат. % Si. Во втором случае образцы матрицы с составом Nb-2Si-18Ti-15Mo-2Hf-0Zr-4Al-4Cr ат. % были выплавлены методом индукционной бестигельной (левитационной) плавки без направленной кристаллизации.

Основными фазами сплавов с различным содержанием кремния являются твердый раствор на основе ниобия с ОЦК решеткой и тетрагональный силицид α -Nb5Si3. Основными фазами матричного сплава являются твердый раствор на основе ниобия с ОЦК решеткой и тетрагональный силицид Nb3Si.

Наиболее высокую прочность при кратковременных испытаниях на изгиб имеют образцы сплава с 15 ат. % кремния. Она составляет 457 МПа при комнатной температуре и 822 МПа при 1300°C. Значения предела прочности матричного сплава следующие: 390 МПа при комнатной температуре и 417 МПа при 1300°C.

Образец сплава с 15 ат. % Si продемонстрировал наиболее высокие значения 100-часового предела ползучести 174 МПа при 1200°C и 105 МПа при 1300°C. Образец матричного сплава имел значения 100-часового предела ползучести 30 и 14 МПа при 1200 и 1300°C, соответственно.

Определены параметры n уравнения ползучести для образцов всех сплавов при температурах 1200 и 1300°C и Q для образцов сплавов с 10 и 20 ат. % кремния и матричного сплава.

На основании анализа полученных результатов сделано предположение о том, что деформация образцов всех сплавов в температурном диапазоне 1200 – 1300°C осуществляется по дислокационному механизму за счет термически активируемого перемещения дислокаций в твердорастворной матрице и консервативного скольжения дислокаций в силициде.

Проект РФФИ 16-02-00384

Руководитель – член-корр. РАН Карпов М.И.

Проект направлен на исследование влияния электрон-электронного взаимодействия и корреляционных эффектов на основное состояние и перенос заряда при низких температурах в электронных системах пониженной размерности.

Проведено исследование влияния корреляционных эффектов на перенос заряда и на основное состояние в двумерных электронных структурах на основе кремния с сильным межэлектронным взаимодействием. Один из самых интересных результатов найден при измерениях термоэлектрического напряжения в МОП структурах кремния. Обнаружено, что постоянная термоэлектрического напряжения демонстрирует расхожимость с понижением концентрации электронов при конечной электронной плотности. Такое поведение является типичным в окрестности фазового перехода, индуцированного взаимодействием.

Выполнены подробные измерения и анализ осцилляций Шубникова-де Гааза при сверхнизких температурах в высокосоввершенных двумерных электронных системах в квантовых ямах Si/SiGe при различных концентрациях электронов. Наблюдаемые осцилляции магнетосопротивления удастся описать с помощью формулы Лифшица-Косевича и определить эффективную электронную массу и g -фактор. Обнаружено, что эффективная масса оказывается увеличенной при низких

концентрациях электронов и ее поведение при изменении электронной концентрации, обусловленное эффектами межэлектронного взаимодействия, согласуется с данными, полученными по затуханию квантовых осцилляций с температурой.

Экспериментально обнаружено, что поведение средней по энергии эффективной массы и эффективной массы на уровне Ферми в высокосовершенных квантовых ямах Si/SiGe является качественно различным. С уменьшением электронной плотности, или увеличением силы взаимодействия, масса на уровне Ферми монотонно растет во всем диапазоне электронных плотностей, в то время как средняя по энергии масса насыщается при низких плотностях. Качественно различное поведение двух масс является предшественником индуцированного взаимодействием уплощения одночастичного спектра на уровне Ферми в этой электронной системе. Полученные экспериментальные результаты дают указание на то, что в этой системе переход из Ферми жидкости при высоких плотностях в ожидаемый при низких плотностях Вигнеровский кристалл происходит через промежуточную фазу плоских зон.

Выполнено теоретическое рассмотрение кристаллизации электронов в двумерных электронных системах при низких плотностях и температурах. Проведено сравнение теоретических предсказаний и экспериментов на двумерных системах, которые указывают на то, что происхождение состояния при низких электронных плотностях находится за рамками одночастичной локализации. Обсуждены методы экспериментального детектирования перехода в состояние при низких плотностях.

Исследовано изолирующее состояние двумерной электронной системы в кремнии и обнаружены двухпороговые вольт-амперные характеристики с сильным ростом шума между двумя пороговыми напряжениями. Это поведение не может быть описано в рамках существующих традиционных моделей. С другой стороны, оно удивительно похоже на поведение, наблюдаемое для коллективного депиннинга вихревой решетки в сверхпроводниках второго рода. Адаптация модели, используемой для вихрей, на случай электронного твердого тела, дает хорошее согласие с нашими экспериментальными результатами, что свидетельствует в пользу квантового электронного твердого тела в качестве происхождения состояния при низких плотностях.

Проект РФФИ 16-02-00404



Руководитель – д.ф.-м.н. Шашкин А.А.

Мы экспериментально исследовали перенос заряда между двумя сверхпроводящими индиевыми контактами к поверхности трёхмерного монокристалла WTe₂, который является Вейлевским полуметаллом. Мы продемонстрировали наличие Джозефсоновского тока в длинных (5 мкм) SNS структурах, что доказывается как эволюцией вольт-амперных характеристик с изменением магнитного поля и температуры, так и наблюдением ступеней Шапиро под микроволновым излучением. Мы обнаружили, что характер подавления криточного магнитным полем качественно различается для разных ориентаций поля по отношению к плоскости SNS перехода, в частности, продемонстрирована картина осцилляций, известная для джозефсоновского интерферометра. Этот факт, как и наблюдение дробных ступеней Шапиро под микроволновым облучением (т.е. сложного характера ток-фазного соотношения), указывает на существование и интерференцию нескольких каналов переноса джозефсоновского тока. Анализ показывает, что джозефсоновский ток переносится поверхностными состояниями на противоположных гранях образца.

Проект РФФИ 16-02-00405

Руководитель – д.ф.-м.н. Девятков Э.В.

1. Экспериментально и теоретически продемонстрирован новый тип гибридизации сверхпроводящего и ферромагнитного параметров порядка, перспективный для использования в магнонике. В магнестатически связанных бислоях ферромагнетик/сверхпроводник (пермаллой/ниобий) измерены спектры ферромагнитного и спин-волнового резонансов при различных температурах. Обнаружен новый спин-волновой резонанс с необычным дисперсионным соотношением. Микромагнитное моделирование с учетом мейсснеровского экранирования переменных магнестатических полей (полей рассеяния) вблизи границы раздела сверхпроводник/ферромагнетик подтвердило предполагаемый механизм модификации дисперсионного соотношения.

2. В джозефсоновских SFS контактах с ферромагнитным (F) барьером в точке перехода в состояние с инверсной разностью сверхпроводящих фаз (-состояние) в четырех различных экспериментах наблюдалось аномальное «-периодическое» соотношение между сверхпроводящим током и разностью фаз на джозефсоновском контакте. Обнаруженное состояние соответствует парному ($4e$) переносу сверхпроводящих (куперовских) электронных пар через джозефсоновский барьер. Это фундаментально новое топологически защищенное сверхпроводящее состояние может быть использовано, например, в топологически защищенных квантовых вычислительных системах.

Проект РФФИ 16-02-00418

Руководитель – д.ф.-м.н. Рязанов В.В.

Предложен метод использования спин-зависимых реакций в кремнии в квантовых вычислениях и их реализации с помощью магнитного изотопного эффекта, управляемого спинами ядер ^{29}Si и контролируемого по окислению кремния. Неравновесная электронная пара $\text{Si}\dots\text{O}$ с тремя спинами рассмотрена как прототип простейшего логического устройства. Переориентации ядерных спинов соответствуют элементарным преобразованиям информации. Реальный расчет вероятности различных состояний в трех спиновых системах ($S_A = \frac{1}{2}$ спин кислорода, $S_B = \frac{1}{2}$ электронный спин Si, $I = \frac{1}{2}$ спин ядра Si) осуществлен с помощью спинового композитора IBM. Расчет вероятностей произведен в пространстве восьми собственных состояний в системе трех спинов, $|000\rangle$, $|001\rangle$, $|010\rangle$, $|011\rangle$, $|100\rangle$, $|101\rangle$, $|110\rangle$, $|111\rangle$. Малая примесь состояния $|100\rangle$ указывает на незначительную роль декогерентности, как это и происходит в кристаллической решетке Si. Переход двухэлектронной спиновой системы из синглетного состояния к триплетному состоянию является операцией CNOT. Считывание результата вычислений соответствует образованию стабильного комплекса SiO (логическая единица), или не сформировавшегося комплекса (логический ноль). Окисленные участки поверхности регистрировались с помощью атомного силового микроскопа после магнитоиндуцированного окисления поверхности. Были обнаружены макроскопические ансамбли окисленного кремния, в которых произошел синглет-триплетный переход.

Установлена зависимость величины влияния магнитного поля на интенсивность дислокационной люминесценции кристаллов Si, обогащенных изотопом ^{29}Si от плотности и морфологии введенных дислокаций. Методом нестационарной спектроскопии глубоких уровней в таких образцах выявлена большая концентрация глубоких центров, захватывающих свободные дырки. Показана их связь с дислокациями или дефектами, введенными при деформации. Обнаружено, что данные центры равномерно распределены по глубине, но неоднородно по длине кристалла, обогащенного изотопом ^{29}Si .

Проект РФФИ 16-02-00420

Руководитель – к.ф.-м.н. Терещенко А.Н.

Оптические свойства и циркулярно-поляризованные моды хиральных фотонных наноструктур на основе GaAs.

На третьем этапе Проекта РФФИ - 16-02-00631 основное внимание было уделено регистрации и анализу степени циркулярной поляризации излучения, выходящего из фотонной наноструктуры с планарным GaAs волноводом для одиночных InAs квантовых точек.

1) Разработана методика регистрации фотолюминесценции для одиночных InAs квантовых точек (КТ) с концентрацией $\sim 10 - 20$ КТ/мкм², внедренных в планарный GaAs волновод, на верхнем слое которого была сформирована квадратная решетка фотонного кристалла с хиральной симметрией, состоящая из сравнительно простых элементарных ячеек в виде 4-х вытянутых прямоугольников GaAs, повернутых на 90° относительно друг друга.

2) Впервые проведено исследование поляризационных особенностей излучения одиночных InAs квантовых точек в планарных GaAs волноводных наноструктурах хирального фотонного кристалла.

Показано, что фотолюминесценции одиночных КТ демонстрируют достаточно высокую степень циркулярной поляризации, знак которой согласуется с хиральностью фотонного кристалла.

Проект РФФИ 16-02-00631

Руководитель – д.ф.-м.н. Тартаковский И.И.

На основе выполненных экспериментов по термобарическому воздействию на опаловые образцы уточнен наклон фазовой границы перехода коэсит – стишовит на РТ диаграмме. Особенность этого перехода, по сравнению с образованием стишовита из кристаллического кремнезёма, в том, что область существования стишовита расширяется, а не сужается с ростом температуры, так, что при понижении температуры возникает смесь коэсита и стишовита. Это связано, по-видимому, с различием во внутренней энергии аморфного и кристаллического кремнезёма. Показано, что стишовит, сформировавшийся при давлении ≈ 11 ГПа, имеет больший параметр решетки, чем при 8.0 ГПа. Коэсит кристаллизуется при очень низких температурах 200-300 °С. Кинетика фазовых переходов зависит от температуры и размера коллоидных частиц SiO₂ в опаловой матрице. С целью изучения возможности создания систем безопасного хранения огнеопасных жидкостей проведено исследование сорбционных свойств синтетических фотонных кристаллов представляющих собой упорядоченные упаковки сферических частиц аморфного диоксида кремния (SiO₂), образующие пористые структуры. Методом капиллярного поднятия образцы заполнялись хлороформом CHCl₃ (т.кип- 61,2°С), тетрахлорметаном CCl₄ (т.кип- 76,75°С), тетрахлорэтиленом - C₂Cl₄ (т.кип- 121 °С), ароматическими компонентами современных высокооктановых бензинов – бензолом- C₆H₆ (т.кип- 80,1 °С), толуолом (т.кип- 110,6°С), а также авиационным керосином КО-25. Обнаружено, что все жидкости, кроме керосина, быстро десорбируются при комнатной температуре из пор сорбента, и только авиационный керосин КО-2 (т.кип- около 200°С) образует устойчивую систему с сорбентом с содержанием керосина 16%(масс.)

Проект РФФИ 16-02-00755

Руководитель – д.т.н. Емельченко Г.А.

В рамках приближения среднего поля теоретически исследована динамика резонансно возбуждаемой системы квазидвумерных экситонных поляритонов в резонаторных микростолбиках на основе GaAs с латеральным размером около 50 мкм. Непосредственным предметом исследования были нестационарные состояния поляритонной системы, возникающие в строго постоянных внешних условиях.

Мотивация этого исследования связана с перспективой создания источников когерентного оптического излучения со свойствами динамического хаоса и более быстрым, чем в известных лазерных устройствах, средним периодом изменения амплитуды и фазы.

Получены следующие основные результаты.

1. Установлены условия формирования автоколебательных состояний в пространственно ограниченных поляритонных системах под действием плоской световой волны в зависимости от ее амплитуды и структуры (симметрии) резонаторного микростолбика, а также условия переходов между стационарным, автоколебательным и хаотическим режимами эволюции системы при изменении параметров падающей световой волны.

Найдено, в частности, что регулярно изменяющиеся со временем (автоколебательные) поляритонные состояния могут возникать в микростолбиках, имеющих форму правильных многоугольников с числом вершин по крайней мере до 5. Переходы между стационарным, автоколебательным и хаотическим режимами эволюции осуществляются в них при изменении амплитуды внешнего поля, при условии что частота внешнего поля отстроена от невозмущенного резонансного уровня в фиолетовую область на несколько величин спектральной ширины резонанса. Если же микростолбик имеет круговую форму и, следовательно, система обладает вращательной симметрией, в ней возможны только стационарные или хаотические состояния.

2. Исследование эволюции пространственно ограниченных поляритонных систем в режиме динамического хаоса показало, что двухточечная пространственная корреляционная функция конденсата резко уменьшается с расстоянием между выбранными точками на масштабе, который заметно меньше, чем размер самого микростолбика (около 5 мкм). В сочетании с высокой скоростью хаотических переключений (около 10 пс) это открывает перспективу создания источников хаотического излучения с более высокой сложностью сигнала (информационной энтропией), чем в устройствах на основе лазерных диодов или кольцевых резонаторов.

Проект РФФИ 16-02-01172

Руководитель – к.ф.-м.н. Гаврилов С.С.

Работа посвящена экспериментальному изучению кинетических и термодинамических дефектов в поликристаллах – зернограничных рёбер. Эксперимент проводился на специально изготовленных по разработанной нами методике бикристаллах различной формы с индивидуальными границами зёрен, для которых заранее была выбрана кристаллогеометрия.

Экспериментально определены значения кинетических и термодинамических свойств зернограничных систем из границы наклона [11-20] с углами разориентации $35^\circ \div 85^\circ$ с фасеткой и рёбрами и на специальных границах наклона [10-10] с углами разориентации $30^\circ \div 53^\circ$.

1. Температура фазового перехода огрубления зернограничного ребра для границы наклона с углом разориентации 35° выше 410С, с углом разориентации 57° выше 410С, с углом разориентации 85° выше 400С

2.Энтальпии активации движения зернограничных ребер на границах наклона с углом разориентации 35° составляет 0.5 эВ, с углом разориентации 57° составляет 1 эВ, с углом разориентации 85° составляет 1.7 эВ

3.Параметры торможения зернограничных ребер на границах наклона с углом разориентации 35° составляет 1.35, с углом разориентации 57° составляет 1.53, с углом разориентации 85° составляет 1.89.

4. Температура фазового перехода огрубления зернограничного ребра для границы наклона с углом разориентации 30° составляет 400°C , а для границ наклона с углом разориентации 31° – 53° выше 400°C .

5. Энтальпии активации движения зернограничных ребер на границах наклона с углами разориентации 30° – 53° лежат в интервале 1 – 1.38эВ .

6. Параметры торможения зернограничных ребер на границах наклона с углами разориентации 30° – 53° не превышают значение 2.09

Отжиги поликристаллических материалов при температурах выше температуры фазового перехода огрубления зернограничных ребер должны приводить к скруглению границ, что в свою очередь делает материал изотропным.

Проект РФФИ 16-03-00248

Руководитель – к.ф.-м.н. Сурсаева В.Г.

Была исследована микроструктура сплава ВТ6 после длительных отжигов в температурной области 660 – 860°C и последующей закалки в воде. Показано, что доля границ зерен ($\bar{\alpha}\text{Ti}$), полностью покрытых ($\bar{\alpha}\text{Ti}$) фазой, растет с температурой отжига. Ниже температуры приблизительно 650°C все границы зерен в (αTi) свободны от сплошного слоя ($\bar{\alpha}\text{Ti}$). С увеличением температуры отжига значительно меняется соотношение долей границ зерен в (αTi) и межфазных границ (αTi)/($\bar{\alpha}\text{Ti}$), поэтому можно ожидать, что эти изменения будут влиять на прочность и пластичность отожженного сплава ВТ6. Была измерена нано- и микротвердость элементов микроструктуры сплава ВТ6. Показано, что нанотвердость двухфазных зерен (αTi)+($\bar{\alpha}\text{Ti}$) уменьшается с увеличением доли ($\bar{\alpha}\text{Ti}$) в них. Показано, что нанотвердость зерен (αTi) и (αTi)+($\bar{\alpha}\text{Ti}$) в пределах ошибки измерений не зависит от температуры отжига и составляет $4,2 \pm 1,1$ и $3,5 \pm 0,7$ ГПа, соответственно. В сплаве ВТ6 в широком интервале температур в двухфазной области (αTi)+(βTi) определены температурные зависимости средних отношений поверхностных натяжений ГЗ в (αTi) и в (βTi) к поверхностному натяжению МФГ (βTi)/(βTi). Из этих данных и экстраполированной в область (αTi)+(βTi) зависимости $\gamma/\sigma(T)$, определены температурные зависимости среднего поверхностного натяжения ГЗ в (αTi), а также среднего поверхностного натяжения МФГ (βTi)/(βTi).

Применяемая деформация кручением под высоким давлением (КВД) сильно влияет как на микроструктуру, так и на свойства исследуемых сплавов на основе титана. Сравнительный анализ Ti – 4 мас.% V, Ti – 4 мас.% V – 6 мас.% Al, Ti – 4 мас.% V – 3 мас.% Al и Ti – 5 мас.% V – 6 мас. % Al сплавов, подвергнутых КВД с предварительной термической обработкой, показали сильное влияние третьего компонента, а именно алюминия. Добавление алюминия приводит к подавлению образования фаз (βTi), а также (ωTi); и изменению параметров решетки a и c в (αTi). Микротвердость для всех исследованных сплавов увеличивается с ростом температуры отжига (возрастает примерно на 10 %). Сильная пластическая деформация не только приводит к измельчению зерна, но также приводит к фазовым превращениям в материалах. Были изучены сплавы Ti – 4 мас.% Fe и Ti – 4 мас. % Co при кручении под высоким давлением для двух начальных состояний: смесь фаз α и β и смесь фаз α и интерметаллидов TiFe, TiFe₂ или Ti₂Co. КВД приводит к мартенситным $\beta \leftrightarrow \alpha$ и $\alpha \leftrightarrow \beta$ превращениям. Мартенситное $\beta \rightarrow \alpha$ превращение происходит легче, чем $\alpha \rightarrow \beta$. Таким образом, наблюдалось, что количество β -фазы было выше, когда в исходных образцах содержалась смесь $\alpha + \beta$, чем в случае смеси α и α -(TiFe, TiFe₂) или α -Ti₂Co. Количество β -фазы в сплавах Ti-Fe было выше, чем в сплавах Ti-Co.

Проект РФФИ 16-03-00285

Руководитель – к.ф.-м.н. Горнакова А.С.

Установлено, что в результате деформации аморфная структура меняется как в области полос сдвига, так и по глубине. Изменение структуры аморфной матрицы может простирается на расстояния до нескольких десятков микронов от поверхности. На этом расстоянии возможно образование нанокристаллов за счет изменения диффузионных характеристик. Вследствие этого количество нанокристаллов в приповерхностной области больше, чем вдали от нее. При исследовании механических свойств сплавов установлено, что микротвердость гомогенных и гетерогенных аморфных сплавов в пределах точности не отличается, однако заметно возрастает при образовании нанокристаллов и падает на следующих стадиях кристаллизации при образовании интерметаллидных фаз. Таким образом, для получения образцов с наибольшими значениями микротвердости и прочности необходимо, чтобы в образцах исследованных систем была частично-кристаллическая структура, состоящая из аморфной фазы и нанокристаллов алюминия.

Проект РФФИ 16-03-00505

Руководитель – д.ф.-м.н. Абросимова Г.Е.

Обнаружено, что в слоистых структурах с двумя металлическими слоями, разделенными слоем диэлектрика определенной толщины, помимо основного плазмон-поляритонного резонанса гигантского усиления рамановского рассеяния (SERS), находящегося в области 480 - 530 нм, имеется дополнительный SERS-резонанс, который сдвинут в сторону больших длин волн и имеет сравнимую амплитуду. Установлено, что положение этого дополнительного SERS-резонанса определяется толщиной диэлектрической прослойки, разделяющей металлические слои, что позволяет изменять спектральное положение дополнительного резонанса в довольно широких пределах. Показано, что обнаруженный SERS-резонанс связан с дополнительной плазмон-поляритонной модой, возникающей в структурах с несколькими металлическими слоями.

Исследованы спектры флуоресценции в растворе и спектры поверхностно-усиленного комбинационного рассеяния света (SERS), а также спектры поверхностно усиленной флуоресценции (SEF) хлорина еб и водорастворимых ковалентных фуллерен-хлориновые диад. Было продемонстрировано, что хлорины еб и ковалентные фуллерен-хлориновые диады имеют схожие характерные спектры SERS. Диады фуллерен-хлорин показывают ярко выраженный сигнал SEF, тогда как нативный хлор еб не имеет флуоресценции на поверхности, что согласуется с теорией, предсказывающей обратную зависимость интенсивности SEF от квантового выхода свободной флуоресценции. Концентрационная зависимость интенсивности SEF является линейной для диад в диапазоне 0,1-2,0 мкмоль/л. Эти эффекты позволяют с высокой чувствительностью определять содержание дифторонов фуллерен-хлорин с низким квантовым выходом свободной флуоресценции в растворах, что открывает широкие возможности для изучения биологических свойств фуллерен-хлориновых диад и их применения в медицине.

Проект РФФИ 16-29-03151 офи

Руководитель – академик Кукушкин И.В.

Выполнены эксперименты по спектроскопическим исследованиям широкозонных гетеропереходов GaN/AlGaIn рекордного качества, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Уникальное качество полупроводникового материала подтверждается чрезвычайно узкими линиями фотолюминесценции экситонов, связанных на донорах в объеме GaN (ширина менее 0.1 мэВ – мировой рекорд), а также практически полным отсутствием линий экситонов, связанных на акцепторах. Обнаружены 1/В-периодические осцилляции интенсивности в спектрах фотолюминесценции, позволившие установить концентрацию двумерных электронов.

Зарегистрирована фотолюминесценция с уровней Ландау двумерных электронов на гетеропереходах GaN/AlGaIn. Энергетическое расщепление между уровнями Ландау соответствует электронной массе $0.25m_e$. Выполнены первые в истории эксперименты по спиновому резонансу в двумерной электронной системе в гетероструктурах GaN/AlGaIn, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Ширина линии спинового резонанса оказалась очень узкой, до 6,5 мТл в магнитном поле 13,3 Т. Время схода фазы спиновой прецессии, полученное из ширины линии спинового резонанса оценивается в 2 нс. Измерен электронный g-фактор двумерных электронов. Его величина оказалась близкой к значению g-фактора свободного электрона. Измерена зависимость g-фактора от величины магнитного поля. Проведены эксперименты по транспорту экситонов на макроскопические расстояния в тестовых гетероструктурах GaAs/AlGaAs и проведена работа по адаптации гетероструктур ZnO/MgZnO под параметры (подвижность и энергетический спектр) тестовых гетероструктур на основе GaAs/AlGaAs.

Проект РФФИ 16-29-03168 офи

Руководитель – д.ф.-м.н. Кулик Л.В.

Нелинейные эффекты в микрорезонаторных экситон-поляритонных системах со спин-анизотропным межчастичным взаимодействием

Теоретически исследованы микрорезонаторные диполяритоны, которые образуются в высокочастотных полупроводниковых микрорезонаторах, когда связанные ямы расположены в пучности резонаторной моды. Предложенный подход является общим и может быть применен к различным планарным твердотельным гетероструктурам внутри оптических резонаторов. Он предлагает подробное описание свойств экситонов и поляритонов, которые важны для моделирования их состояний. В частности, в рамках предложенного подхода вычислены радиус экситона Бора, энергия связи, время жизни и индуцированное магнитным полем увеличение эффективной массы и рассмотрены возможности управления величиной экситонного и поляритонного дипольного момента с помощью электрического и магнитного полей. J. Wilkes, E.A. Muljarov Excitons and polaritons in planar heterostructures in external electric and magnetic fields: A multi-sub-level approach Superlattices and Microstructures 108, 32 (2017)

Проект РФФИ 16-29-03333 офи

Руководитель – член-корр. РАН Кулаковский В.Д.

Показано, что в процессе карбонизации антрацена на подложках образуется пленка графитоподобного наноуглерода и нанокристаллы кубической фазы углерода C8 (C8 NCs), редкой аллотропной модификации углерода высокой плотности (на 15% выше алмаза). Морфологически наночастицы C8 NCs представляют собой пластины с размерами от 5 нм до 25 нм. Параметр элементарной ячейки в рамках ОЦК решетки, рассчитанный по экспериментальным значениям межплоскостных расстояний, равен $a = 4.08 (0.02) \text{ \AA}$. Предложена гипотеза о возможности образования нанокристаллов C8 в паровой фазе, получившая подтверждение в эксперименте. Синтезированы образцы углеродных инвертированных опалов и выполнены сопоставительные исследования электрохимических свойств литий – серных ячеек с серными электродами на основе углеродных инвертированных опалов, углеродной сажи и графена (в лаборатории электрохимии г. Уфа). Показано, что скорость и глубина электрохимического окисления полисульфидов лития в литий-серных ячейках с серными электродами на основе углеродных инвертированных опалов меньше, чем с серными электродами на основе углеродной сажи, но больше, чем с серными электродами на основе графена. Были выполнены эксперименты по выявлению новых перспективных углеродных прекурсоров и темплат для синтеза материалов с большой удельной площадью

поверхности. Синтезированы тестовые образцы на основе окисленного графена GO в качестве темплаты. Синтезированы композиты GO – целлюлоза с удельной площадью поверхности 706 м²/г. и объемом пор 1.12 см³/г. Аэрогельная матрица из коллоидных частиц SiO₂ диаметром около 20 нм использована для синтеза образцов C-IOP с углеродным прекурсором полимер ЕД-20. Получены тестовые образцы с удельной поверхностью 1436 м²/г и объемом пор 1,1 см³/г.

Проект РФФИ 16-29-06164 офи

Руководитель – д.т.н. Емельченко Г.А.

Путём диспергирования жидких и твёрдых частиц получены самоорганизующиеся включения в тонких свободно подвешенных плёнках сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических жидких кристаллов. Исследовано поведение отдельных частиц и перестройка самоорганизующихся структур из частиц в полярных жидких кристаллах в электрическом поле. Обнаружено несколько механизмов переориентации цепочек из частиц при изменении направления электрического поля на противоположное: (1) самоорганизующиеся цепочки переориентируются, поворачиваясь как целое; (2) цепочки в процессе переориентации трансформируются, из-за чего в конечном состоянии порядок частиц в цепочках другой по сравнению с первоначальным; (3) переориентация каждой из частиц происходит индивидуально с сохранением последовательности частиц в цепочках.

Получены и исследованы фотонные кристаллы, образованные пластинчатыми ансамблями мезопористых упорядоченных частиц диоксида кремния размерами от 160 нм до 312 нм. С целью расширения потенциальных областей применения опалоподобных структур исследованы сорбционные свойства порошков в форме микросфер диаметром 20–50 мкм, упакованных коллоидными частицами диоксида кремния размером 280 нм. Показано, что структуры могут служить эффективными сорбентами.

Проект РФФИ 16-29-11702 офи

Руководитель – д.ф.-м.н. Долганов П.В.

Были изготовлены и термически обработаны образцы для КВД из сплавов титана с β -стабилизаторами (кобальтом и железом). Концентрации второго компонента (2-4 для каждого сплава) при этом были таковы, чтобы исследовать всю область растворимости (в случае кобальта и железа – до точки эвтектоидного превращения. Литые сплавы титана были отожжены при разных температурах и затем закалены, чтобы получить разные исходные состояния (разные объемные доли α - и β -фаз, их разное распределение в объеме и по границам зерен, разную текстуру). Было проведено исследование микроструктуры сплавов титана с кобальтом и железом до термической обработки и после отжига в однофазной β -области и последующей закалки. Была закончена характеристика морфологии и взаимного расположения структурных составляющих. Было закончено определение фазового состава сплавов до и после КВД методами СЭМ, ПЭМ, ВПЭМ, рентгеновской дифракции (РД) и РМА (совместно с германскими партнерами). Было закончено исследование микроструктуры сплавов титана с кобальтом и железом после отжига ниже температуры эвтектоидного превращения и последующей закалки.

Было изучено поведение сплавов Ti-4 вес. % Fe и Ti-4 вес. % Co при кручении под высоким давлением (КВД). До КВД образцы отжигались выше (1) и ниже (2) температуры эвтектоидного превращения. После закалки образцы (1) содержали смесь α - и β -фаз. Образцы (2) содержали смесь α -Ti, насыщенного Fe или Co и соответствующей интерметаллической фазы TiFe или Ti₂Co. Во время КВД во всех образцах формировалась ω -фаза высокого давления. Количество ω -фазы было выше, когда исходные образцы содержали смесь $\alpha + \beta$, чем в случае исходной смеси $\alpha + \text{TiFe}$

или $\alpha + \text{Ti}_2\text{Co}$. По всей видимости, мартенситное $\beta \rightarrow \omega$ -преобразование происходит легче, чем $\alpha \rightarrow \omega$. Количество ω -фазы в сплаве Ti-Fe было выше, чем в сплаве Ti-Co для обоих начальных состояний. По всей видимости, добавки кобальта неблагоприятно изменяют параметры решетки в Ti для мартенситных $\beta \rightarrow \omega$ и $\alpha \rightarrow \omega$ преобразований. Фазовые превращения с массопереносом (диффузионные) также происходят при КВД сплавов Ti-Fe и Ti-Co. Оба твердых раствора на основе α частично разлагались после КВД. После КВД параметры решетки α -фазы, содержащей кобальт или железо, изменялись по сравнению с параметрами чистого α -Ti. Впервые было отмечено, что состав фазы TiFe также изменяется после КВД.

Проект РФФИ 16-53-12007

Руководитель – д.ф.-м.н. Страумал Б.Б.

Проведены эксперименты по когерентному контролю полносимметричных фононных мод в сильных топологических изоляторах Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 . Эксперименты базировались на контроле решеточной когерентности (контроль огибающей) и показали, что в этом случае когерентный контроль играет роль фильтра, позволяющего селективно подавлять или усиливать возбуждение данной фононной моды. При этом время когерентности выбранной фононной моды остается неизменным. Кроме этого проведены эксперименты по когерентному контролю электронных возбуждений в GaAs при помощи пары сфазированных импульсов возбуждения (контроль несущей частоты импульсов). Установлена зависимость амплитуды решеточных возбуждений от относительной фазы импульсов возбуждения и показано, что при аттосекундном контроле возможен контроль электрон-фононного взаимодействия, позволяющий усиливать или ослаблять установление многочастичных корреляций (связанных фонон-плазмонных мод).

Проведен анализ зависимости когерентной амплитуды от угла между данной кристаллографической осью и вектором электрического поля при различных температурах в монокристаллах Bi_2Te_3 и GaAs (n- и p- типа). Установлено, что фононы низкой симметрии зависят от температуры сильнее, чем полносимметричные моды.

Проведен анализ динамического и кинематического вкладов в генерацию полносимметричных когерентных фононов сильных топологических изоляторов и показано, что кинематический вклад доминирует.

Исследован короткоживущий отрицательный чирп частоты полносимметричных когерентных фононов топологического изолятора Bi_2Te_3 и выдвинута гипотеза о связи этого чирпа с интерференцией Фано между дискретным фононным уровнем и плазмоном Дирака. Проведена оценка времени жизни плазмона Дирака, которая составила 300-400 фемтосекунд.

Опубликованы 3 статьи в высокоимпактных журналах, сделан один приглашенный доклад на международной конференции, написана и послана в ЖЭТФ статья о оптическом контроле времени когерентности решеточных мод, готовится к публикации 1 статья, посвященная зависимости когерентной амплитуды и степени когерентности от относительной фазы несущей частоты двух сфазированных импульсов накачки.

Проект РФФИ 17-02-00002

Руководитель – д.ф.-м.н. Мисочко О.В.

В сильно взаимодействующих двумерных электронных системах в гетероструктурах MgZnO/ZnO изучено термодинамическое поведение изинговых квантово-холловских ферромагнетиков при факторе заполнения 2. Спиновая поляризация холловских ферромагнетиков детектировалась по сигналу неупругого рассеяния света на внутриволновом спиновом экситоне. Наблюдался скачок спиновой поляризации при

фазовом переходе на факторах заполнения 2, 3 и 4 для гетероструктур с различной электронной плотностью. Была исследована термодинамическая устойчивость фаз холловских ферромагнетиков при факторе заполнения 2 и оценена температура Кюри. Показано, что температура Кюри определяется энергией образования доменных стенок изинговых квантово-холловских ферромагнетиков.

Проект РФФИ 17-02-00122

Руководитель – академик Кукушкин И.В.

Экспериментально обнаружено, что в спектре фотолюминесценции электрон-дырочных комплексов в магнитном поле, состоящих из двух фермиевских дырок на нулевом уровне Ландау электронов и возбужденного электрона на первом уровне Ландау, появляются новые линии. Их энергия лежит в области, запрещенной для одночастичных оптических переходов. Были выполнены расчеты энергий оптических переходов из возбужденных состояний магнитотриона, с помощью формализма недавно опубликованных теоретических работ. Разница в энергиях связанных состояний с одинаковыми главными квантовыми числами магнитотриона и возбужденных состояний попадает с хорошей точностью в диапазон энергий, разделяющий основные дипольно-разрешенные переходы магнитотриона и новые линии фотолюминесценции. Таким образом, можно считать установленным, что новые линии в спектрах фотолюминесценции двумерных электронных систем в присутствии ансамбля неравновесных долгоживущих магнитоэкситонов связаны со сложным спектром внутреннего движения магнитотриона, состоящего из электрона на первом уровне Ландау и двух тождественных дырок на нулевом уровне Ландау.

Показано, как в GaAs/AlGaAs квантовой яме с помощью методик фотовозбуждения и детектирования фотолюминесценции трехчастичных комплексов можно создавать плотные ансамбли спиновых экситонов, переносить их на макроскопические расстояния порядка сотен микрон и регистрировать появление этих экситонов в области, пространственно удаленной от точки возбуждения.

Проект РФФИ 17-02-00128

Руководитель – д.ф.-м.н. Кулик Л.В.

В свободно подвешенных смектических плёнках на основе самоорганизации частиц получены фотонно-кристаллические структуры с двумерным упорядочением и различным межчастичным расстоянием. Измерены параметры полученных структур. С помощью измерения спектров люминесценции в поляризованном свете определена плотность фотонных состояний холестерического фотонного кристалла. В исследованиях использованы люминесцирующие красители с различным направлением дипольного момента перехода относительно длинной оси молекул. Определена трансформация плотности фотонных состояний при изменении температуры и при переходе из холестерической фазы в фотонно-кристаллические структуры с трехмерным упорядочением (кристаллические жидкости).

Проведен расчет структуры полярных жидкокристаллических фотонных кристаллов с использованием теории Ландау фазовых переходов с двухкомпонентным параметром порядка. Получены многослойные сегнетоэлектрические и антисегнетоэлектрические структуры, наблюдавшиеся в эксперименте. Из результатов расчёта определены факторы, ответственные за образование различных полярных смектических фаз с многослойным упорядочением.

Проект РФФИ 17-02-00246

Руководитель – д.ф.-м.н. Долганов П.В.

Были проведены подробные исследования магнитотранспорта нанопроводов InAs в присутствии заряженного зонда атомно-силового микроскопа при температуре 4.2K

На нанопроводах InAs были получены следующие основные результаты:

1. При характерных размерах системы порядка длины свободного пробега для полупроводниковых проволок геометрия контактов, их ширина и константа связи между контактом и проволокой имеет существенное влияние на измеренную зависимость магнитотранспорта.
2. Проведена визуализация нетермолизованных электронов.
3. Было продемонстрировано, что для нетермолизованных электронов величина критического поля подавления слабой локализации оказывается в 3 меньше характерного поля подавления для всей электронной системы.
4. Демонстрирован метод определения критических размеров системы (двухконтактная схема измерений, постоянная концентрация носителей, магнитное поле не прикладывается), при котором геометрия и форма контактов не будут оказывать влияние на измеряемый магнитотранспорт.
5. Демонстрировано влияние обедняющих зон вблизи интерфейса металл-полупроводник на константу связи между полупроводниковым нанопроводом и металлическим контактом.

Кроме того, были проведены работы по усовершенствованию двухзондового микроскопа, позволившего расширить его функционал.

Была также отработана и откалибрована методика получения сигнала, пропорционального локальной ёмкости углеродных нанотрубок при измерении их топографии в высоком вакууме.

Проект РФФИ 17-02-00454

Руководитель – к.ф.-м.н. Жуков А.А.

В 2018 году проводилось исследование правил льда и структуры воды в каналах пористых материалов. Было показано, что правила льда выполняются не только в кубической модификации, но и наиболее распространенной гексагональной модификации, в произвольной тетраэдрической структуре, и частично в воде. Была предложена модель быстрого протонного транспорта в воде, ограниченной в каналах с диаметром в несколько нанометров, результаты модели согласуются с экспериментальными измерениями. Были получены и исследованы полимерные мембраны на основе Inion, российского аналога Aquivion, с протонной проводимостью около 0.1 S/cm (на шесть порядков выше проводимости объемной воды, исследована их структура).

Проект РФФИ 17-02-00512

Руководитель – к.ф.-м.н. Рыжкин И.А.

В течение 2018 года был исследован спектр внутриволновых коллективных возбуждений (магнитоэкситонов) в состояниях целочисленного КЭХ (при $\nu=2$ и $\nu=1$) в сильновзаимодействующих двумерных электронных системах (ДЭС) на основе $\text{Mg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}/\text{ZnO}$. Основное внимание было уделено кулоновскому вкладу в энергию циклотронных спин-флип магнитоэкситонов (ЦСФМ). Главный интерес исследования состоял в характере кулоновских корреляций при высоких значениях параметра Вигнера-Зейтца, который в данных структурах находился в диапазоне $12 < r_s < 4.7$. Энергии магнитоэкситонов зондировались методом резонансного неупругого рассеяния света (НРС) при переменных параметрах – электронная концентрация, фактор заполнения, угол наклона магнитного поля к нормали двумерного канала, передаваемый двумерный импульс, температура. Возбуждения типа ЦСФМ являются простейшими по структуре магнитоэкситонами, содержащими ненулевой Кулоновский вклад в энергии во всем диапазоне импульсов. Их исследования при $\nu=2$ позволили выявить отрицательный корреляционный сдвиг в

энергии возбуждений, сопоставимый с величиной одночастичных энергетических вкладов. Роль этого кулоновского вклада возрастает при понижении концентрации электронов и становится доминирующей при $n_s \sim 2 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Это проявляется в смягчении одной из спиновых компонент триплетного возбуждения ЦСФМ при $n_s=2$ и сопутствующем фазовом переходе парамагнетик-ферромагнетик. Измерена эволюция кулоновского корреляционного вклада с понижением концентрации, отдельно измеряя одночастичный вклад от Зеемановского расщепления спиновых подуровней Ландау, измеряя дисперсия ЦСФМ при малых импульсах передачи. Проведены расчеты энергии данных коллективных возбуждений в одномодовом приближении, а также методом точной диагонализации для 12 электронов при $n_s=2$. В расчетах учтено смешивание уровней Ландау и ослабление кулоновского взаимодействия за счет нелокальности волновых функций электронов в направлении перпендикулярном двумерному слою. Эксперимент и расчет качественно согласуются в том, что смягчение нижней спин-флип компоненты приводит к самопроизвольному и лавинообразному спин-флип процессу между 0-м и 1-м уровнями Ландау и ферромагнитному переходу. В состоянии холловского ферромагнетика $n_s=1$ аналогичное возбуждение имеет единственную спиновую компоненту, а кулоновский вклад положителен и превосходит циклотронную энергию. Он обусловлен изменением обменной энергии электрона при формировании спин-флип магнитоэкситона, потому этот вклад является мерой обменной энергии холловского ферромагнетика. Измеряна зависимость обменно-кулоновского вклада от концентрации электронов. Она возрастающая, и имеет степень выше корневой, характерной для межчастичного взаимодействия. Дисперсия возбуждения ЦСФМ отрицательная, но при значениях импульса $q < 0.25/L_F$ весьма невелика (на уровне 4% от кулоновского вклада). Модифицированный характер роста обменной энергии от концентрации, по-видимому, связан с кулоновским смешиванием уровней Ландау. Численные расчеты в процессе подготовки.

Проект РФФИ 17-02-00751

Руководитель – к.ф.-м.н. Ваньков А.Б.

В рамках проекта в 2018 году были проведены исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости воды вблизи температуры плавления льда. Было выяснено, что емкость конденсатора, измеренная на низких частотах 20 Гц и выше) с образцами льда при температурах 260-270 К имеет явный максимум, что может быть объяснено изменением проводимости протонной системы и проводимости по дефектам связи в предплавленной области температур.

Вторым направлением исследований было изучение влияния размеров на динамику фазовых переходов для массивных образцов и образцов нанокластеров. Было показано, на примере этанола, что для нанокластерных образцов, в отличие от массивных, меняются не только температурные режимы кристаллизации аморфной фазы (для нанообразцов температуры переходов существенно ниже), но и механизмы роста новой фазы.

Проект РФФИ 17-02-00754

Руководитель – д.ф.-м.н. Межов-Деглин Л.П.

Выполнены сравнительные исследования сжимаемости двухслойных электронных систем в квантовых ямах GaAs различной ширины, а также разделенных потенциальным барьером шириной 10 нм. Обнаружено, что при уменьшении ширины квантовой ямы происходит расширение области магнитных полей, в которых реализуется индуцированное полем однослойное состояние системы. Если в яме шириной 60 нм такое состояние наблюдается только в режиме целочисленного квантового эффекта Холла на факторах заполнения спиновых подуровней Ландау,

равных 2 и 1, а также в состоянии дробного квантового эффекта Холла на факторе заполнения $2/3$, то в квантовой яме шириной 50 нм однослойное состояние обнаружено при всех малых факторах заполнения, начиная с двух. Обнаружено пространственное перераспределение электронов в направлении, перпендикулярном плоскости квантовой ямы, сопровождающее переходы между двухслойным и однослойным состояниями системы. В исследованных двухслойных электронных системах с потенциальным барьером индуцированное магнитным полем однослойное состояние не наблюдалось.

Проект РФФИ 17-02-00769

Руководитель – д.ф.-м.н. Дорожкин С.И.

Экспериментально исследованы транспортные характеристики субмикронных планарных джозефсоновских переходов Al-Cu/Fe-Al : критический ток и дифференциальное сопротивление при низких температурах в условиях спиновой инжекции в область слабой связи перехода. Обнаружена немонотонная зависимость критического тока от тока инжекции, которая объясняется переходами между 0- и π -состояниями в джозефсоновских структурах, возникающими вследствие наведенного эффективного обменного поля в слое нормального металла за счет эффекта близости с ферромагнетиком и инжекции спин-поляризованного тока. Исследованы особенности в дифференциальной проводимости джозефсоновских переходов, возникающие в присутствии спиновой инжекции. Обнаружена двойная особенность на зависимости дифференциального сопротивления от тянущего напряжения в исследуемых структурах при больших значениях инжекционного тока, что может быть связано с двойным эффектом близости [Phys. Rev. B 86, 064416 (2012)]. При внешнем магнитном поле, равном коэрцитивному полю ферромагнетика, двойная особенность переходит в одинарную.

Проведены исследования электронного транспорта в управляемых эффектом поля планарных гибридных структурах сверхпроводник/ полупроводниковая нанопроволока/ сверхпроводник на основе InAs-нанопроволок и сверхпроводящих алюминиевых (ниобиевых) электродов. В структурах Al/InAs-нанопроволока/Al изучены зависимости дифференциальных вольт-амперных характеристик структур от затворного напряжения и обнаружено уменьшение индуцированной в InAs сверхпроводящей щели с уменьшением концентрации носителей в InAs-нанопроволоке. Исследованы магнитополевые зависимости дифференциальных вольт-амперных характеристик структур Nb/InAs-нанопроволока/ Nb в области низких температур. Обнаружен пик в дифференциальной проводимости исследуемых структур при нулевом напряжении смещения и осциллирующая зависимость расщепления пика проводимости в сильных магнитных полях.

Проект РФФИ 17-02-00933

Руководитель – к.ф.-м.н. Батов И.Е.

Экспериментально исследовались спектры излучения люминесценции в полумагнитных полупроводниковых сверхрешетках второго типа (Zn_{0.99}Mn_{0.01})Se/(Be_{0.93}Mn_{0.07})Te с ширинами слоев 10 нм/5 нм, соответственно, с высоким временным разрешением в области пространственно прямого оптического перехода ~ 2.8 эВ. Измерения проводились при низких температурах в различных магнитных полях от 0 до 3.5 Т и при различных уровнях оптического возбуждения. Было установлено, что при повышении уровня оптического возбуждения время жизни фотовозбужденных дырок в метастабильном надбарьерном состоянии слоя (Zn,Mn)Se исследованных гетероструктур увеличивается от величины < 1 пс до значений ~ 40 пс. Это время превысило время возбуждения спиновой подсистемы магнитных ионов

марганца за счет обменного взаимодействия с фотовозбужденными дырками, определенное в экспериментах как ~ 17 пс.

Проект РФФИ 17-02-00959

Руководитель – к.ф.-м.н. Максимов А.А.

1. Подробно исследован процесс затухания развитого вихревого движения, сформированного поверхностными волнами в результате длительной и интенсивной накачки перпендикулярными плунжерами для случая гравитационных волн или в результате вертикальных колебаний сосуда (Фарадеевские волны) для случая капиллярных волн. Изучено затухание развитого каскада энергии вихревой системы, показано, что затухание начинается со стороны больших волновых векторов и распространяется в сторону малых векторов (больших масштабов). По-видимому, затухание будет происходить в квазистационарном режиме: нелинейное время взаимодействия вихрей мало по сравнению с вязким временем затухания.

2. Время затухания энергии вихревого движения определяется как вязкостью жидкостью, так и особенностями структуры, сформировавшейся на поверхности.

Характерное время затухания модуля завихренности при возбуждении поверхностных волн вертикальными колебаниями с амплитудой меньше критического значения оказывается близко к половине времени вязкого затухания волны накачки и значительно больше времени распространения волны по поверхности воды т.о. динамика формирования завихренности определяется временем вязкого затухания волн частотой накачки. При этом энергия вихревого движения сосредоточена, в основном, в решетке вихрей, а не в крупномасштабных течениях. В экспериментах с возбуждением волн плунжерами, наоборот, процесс формирования определяется временем пробега волны от стенки до стенки, которое много меньше времени вязкого затухания волны накачки.

При возбуждении поверхностных волн вертикальными колебаниями с амплитудой больше критического значения энергия вихревого движения с течением времени перераспределяется из области накачки в крупномасштабные вихри. Распределение энергии вихревого движения по волновому вектору определяется взаимодействием волн, распространяющихся на поверхности воды. Наблюдается распад нелинейных волн частотой 30 Гц, на волны частотами 23, 15 и 7 Гц, которые вносят существенный вклад в распределение энергии вихревого движения по волновому вектору, наряду с процессом слияния вихрей. На поверхности воды в системе вихрей формируется прямой каскад энергии $E(k) \sim k^{-5/3}$.

Проект РФФИ 17-02-01090

Руководитель – д.ф.-м.н. Левченко А.А.

Проведено исследование механизмов роста *in situ* нескольких графеновых слоев на технологически значимых подложках SiC/Si (001) в сверхвысоком вакууме (UHV) методами: XPS с высоким разрешением глубоких уровней и валентной зоны; фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением, низкоэнергетической электронной микроскопии и дифракцией электронов низких энергий. При этом количество синтезированных графеновых слоев на подложке из карбида кремния *in situ* определялось непосредственно в процессе роста изучаемого покрытия в условиях сверх высокого вакуума UHV. Обнаружена роль поверхностной атомной структуры для формирования наноструктурированного многослойного графена на поверхности SiC (001).

Проект РФФИ 17-02-01139

Руководитель – д.ф.-м.н. Аристов В.Ю.

В рамках выполнения проекта нами были исследованы спектры магнитоплазменных возбуждений в двумерной электронно-системе в квантовых ямах AlAs различной ширины. Было обнаружено, что спектры магнитоплазменных возбуждений резко меняются при уменьшении ширины квантовой ямы уже чем 5.5 нм. Это указывает на кардинальное изменение энергетического спектра электронов проводимости в исследованной системе. Наблюдаемую трансформацию можно интерпретировать в терминах перехода от заполнения электронами сильно анизотропной долины $X_{\{x\}}$ – $X_{\{y\}}$ в плоскости квантовой ямы к заполнению изотропной долины $X_{\{z\}}$. Нами было также обнаружено сильное увеличение эффективной циклотронной массы двумерных электронов по сравнению со значением зонны в узких КЯ AlAs.

Была исследована терагерцовая фотопроводимость Холловских полосок размерами 100 мкм и 20 мкм изготовленных на AlAs квантовых ямах различной ширины. Было показано, что фотоотклик исследованных образцов обусловлен главным образом магнито-плазменными возбуждениями внутри холловской структуры. Нами наблюдалось радикальное изменение спектра магнитоплазменных возбуждений при изменении ширины AlAs квантовой ямы от 4 нм до 15 нм. Было показано, что наблюдаемое поведение обусловлено трансформацией, возникающей в двумерной электронно-системе AlAs. Было обнаружено, что фотоотклик квантовых ям с шириной 6 нм указывает на существование двух резонансов, отвечающих одновременному заполнению как анизотропных $X_{\{x-y\}}$ долин, так и изотропной $X_{\{z\}}$ долины.

Проект РФФИ 17-02-01140

Руководитель – д.ф.-м.н. Губарев С.И.

Построена изобара растворимости дейтерия в железе при давлении дейтерия 6.3 ГПа и температурах от 100 до 800 °С. Подтвержден вывод работы [A. Machida et al., Nature Commun. 5 (2014) 5063] о частичном заполнении дейтерием как окта-, так и тетраэдрических междоузлий в ГЦК дейтериде железа при $P = 6.3$ ГПа и $T = 715$ °С. Подтверждена оценка $dV/dx = 2.21(4)$ Å³/атом D для парциального объема дейтерия в ГЦК модификации железа. Показано, что при давлении 6.3 ГПа превращение между низкотемпературной ДГПУ (ϵ') и высокотемпературной ГЦК (γ) фазами в системе Fe-D происходит при $T \approx 260$ °С, что примерно на 100 °С ниже, чем в системе Fe-H.

Проект РФФИ 17-02-01142

Руководитель – д.ф.-м.н. Антонов В.Е.

Выполнены исследования по разработке комбинированной технологии изготовления элементов цифровой сверхпроводниковой логики, содержащих туннельные джозефсоновские контакты на основе туннельного барьера из оксида алюминия и магнитные джозефсоновские контакты Nb-CuNi-Nb. Опробованы методы передачи магнитного потока внутри чипа, пригодные для реализации адиабатических вычислений с использованием сверхпроводниковых логических элементов. Проведены исследования кинетики перемагничивания двухслойных гетероструктур ферромагнетик – антиферромагнетик (FeNi/FeMn), применяющихся в составе мостиковых элементов сверхпроводниковой памяти. Обнаружено изменение кинетики перемагничивания при понижении температуры, связанное с возникновением специфического пиннинга доменных границ, вызванного появлением участков интерфейса с варьирующейся хиральностью межслойной обменной пружины и перпендикулярной магнитной анизотропией на ступеньках интерфейса. Следует отметить, что по мере понижения температуры процесс перемагничивания бислойной структуры FeNi/FeMn определяется неоднородностями все более мелкого масштаба, что может создать препятствия для использования подобных пленок в микроструктурах при низких температурах, например,

сверхпроводник/антиферромагнетик/ферромагнетик. Было проведено исследование сверхпроводящего перехода тонких пленок ниобия, осажденных на подложку из ферромагнитного диэлектрика (железо-иттриевый гранат) с заранее известной доменной структурой. Обнаружено, что в результате взаимодействия происходит изменение вида температурной зависимости сопротивления, а также смещение температуры сверхпроводящего перехода, которое зависит и от направления тока относительно направления намагниченности, и от силы тока, и от величины внешнего магнитного поля.

Проект РФФИ 17-02-01270

Руководитель – к.ф.-м.н. Больгинов В.В.

Электронная структура графена, синтезированного на поверхности кубического карбида кремния SiC(001), исследована с помощью сканирующей туннельной спектроскопии при комнатной и низких температурах. С помощью данных СТМ/СТС высокого разрешения установлено, что изгиб графенового слоя, наблюдающийся вблизи междоменных границ, приводит к изменению локальной плотности электронных состояний. СТС-спектры и карты плотности электронных состояний, измеренные при температурах жидкого азота и гелия, демонстрируют уменьшение плотности заполненных электронных состояний в местах наибольшего изгиба графенового слоя и увеличение плотности заполненных состояний на границах нанодоменов. Данные низкотемпературной сканирующей туннельной спектроскопии демонстрируют появление локальной энергетической щели в местах наибольшего изгиба слоя, которая в СТС-экспериментах достигала 0.3 эВ при 78 К и превышала 1 эВ при 4.2 К.

Проект РФФИ 17-02-01291

Руководитель – к.ф.-м.н. Чайка А.Н.

Исследование микроструктуры и жаропрочных свойств многослойных композитов на основе ниобия и молибдена с карбидо- и боридосилицидным упрочнением

В 2018 году было изготовлено наибольшее число пакетов, из количества, запланированного в гранте. При сборке они отличались сочетанием компонентов, температурой диффузионной сварки и отношением Ме-фольга/покрытие. В отличие и по опыту 1-го года в процесс сборки пакетов была внесена поправка – часть пакетов собиралась из металлических фольг с порошковыми кремний-углеродными покрытиями, которые сочетались с Al-фольгами толщиной 9 мкм. Кроме пакетов из фольг с покрытиями, были изготовлены пакеты с различными металлическими фольгами и Nb-фольгами с многокомпонентными металлическими порошковыми покрытиями, из которых после сварки формировалась слоистая структура многокомпонентным сплавом на основе ниобия. Общее количество изготовленных композитов – 25.

С помощью растровой электронной микроскопии и рентгеновского спектрального анализа исследована слоистая структура почти всех изготовленных пакетов. Выборочно проводился рентгеновский структурный анализ. Основные обобщенные результаты микроструктурных исследований по композитам можно свести к следующему.

Слоистая структура композитов после диффузионной сварки состояла из слоев, наследовавших Nb- и Mo-фольги, и слоев, наследовавших покрытия на фольгах. Первые слои были ответственны за характеристики сопротивления разрушению композита – трещиностойкость, эффективную поверхностную энергию разрушения, модуль Юнга, скорость деформации ползучести при высоких температурах. Вторые – за прочность композита при комнатной и высоких температурах. Кроме того, отмечалось, что при увеличении времени и давления сварки структура композита

претерпевала качественные изменения, приближаясь к законченной при данной температуре структуре. Это выражалось в уменьшении числа фаз и приближении их составов к стехиометрическим соотношениям элементов.

Проведен большой комплекс механических испытаний полученных композитов. В качестве примера приведем значения полученных характеристик жаропрочности для слоистых композитов из вязко-пластичного многокомпонентного сплава на основе ниобия и упрочняющих химических соединений с кремнием и углеродом:

- предел прочности σ_B при комнатной температуре в пределах от 320 до 490 МПа (с максимумом 540 МПа) не сильно превышал свои показатели при 1100°C, изменявшихся в пределах 280–470 МПа, при 1300°C σ_B падал до уровня 210–350 МПа;

- значения трещиностойкости K^* в интервале 10,5–15,6 МПа•м^{1/2} показали, что материал занимает промежуточное положение между традиционной керамикой и высокопрочными металлическими сплавами;

- эффективная поверхностная энергия разрушения $g = 1530\text{--}3280$ Дж/м².

В заключение с помощью экспериментально построенной зависимости скорости деформации ползучести $\dot{\epsilon}$ от напряжения σ при 1100°C оценим прочность полученного композита, нагруженного напряжением 50 МПа. Такому напряжению соответствует скорость ползучести, равная $1,07 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹. Тогда стержень длиной 100 мм, изготовленный из этого композита, удлинится за 100 ч на 0,11 мм.

Проект РФФИ 17-03-00687

Руководитель – к.ф.-м.н. Коржов В.П.

Впервые получены композитные волокна на основе оксидов Al_2O_3 , иттрий-алюминиевого граната $Y_2Al_5O_{12}$, эвтектики сапфир - иттрий-алюминиевый гранат $Al_2O_3 - Y_2Al_5O_{12}$ и анизотропного оксида $CaAl_2O_{19}$. Получены также композитные волокна на основе системы сапфир – гексаалюминат бария $Al_2O_3 - BaAl_2O_{19}$. Волокна получены методом внутренней кристаллизации. Проведены испытания волокон на прочность, и получены зависимости прочности волокон от длины, достигающей 1800 МПа на базе 1 мм. Изучена структура с проведением рентгеноструктурного микроанализа волокон в зависимости от исходного состава оксидов. Проведены испытания композитов на прочность и трещиностойкость с указанными волокнами, а также с армирующими пластинами $Al_2O_3 - CaAl_2O_{19}$ и хрупкой матрицей из рекристаллизованного молибдена. Выявлены особенности разрушения структуры композитов, содержащих хрупкие компоненты, приводящие к квазипластическому поведению композитов под нагрузкой. По результатам испытаний на прочность композитных образцов с композитными волокнами и хрупкой матрицей получена зависимость их прочности от температуры в диапазоне 20–1400°C, соответствующая уровню необходимых значений для конструкционных материалов такого рода. Получены и испытаны на прочность и трещиностойкость пилотные образцы композитных материалов с волокнами на основе $Al_2O_3 - CaAl_2O_{19}$ и хрупкими матрицами на основе Al_2O_3 и $NiAl$.

Проект РФФИ 17-03-01136

Руководитель – к.ф.-м.н. Кийко В.М.

Все научные задачи, поставленные перед исполнителем проекта (молодым ученым), в заявленном и поддержанном Фондом проекте, выполнены полностью.

Проведены эксперименты, связанные с отбором образцов титановой губки из промышленных криц по разработанной нами программе. Установлено, что небольшая центральная часть имеет высокую чистоту по примесям Th, U и K (уровень концентраций - доли ppb). Отобранную титановую губку обрабатывали и прессовали в

заготовки для переплава в электронно-лучевых вакуумных печах. Плоские и круглые слитки подвергали пластической деформации по разработанным режимам термо-механической обработки. На титановом прокате проведены исследования механических свойств, структуры и разных вариантов сварки, показавшие высокую перспективность изделий из полученного низкофонового титана для изготовления низкофоновых детекторов.

Проект РФФИ 17-32-50056

Руководитель – д.т.н. Глебовский В.Г.

В результате выполнения проекта РФФИ решен комплекс теоретических, экспериментальных и технологических задач:

- проведена оптимизация методики изготовления ТГц волноводов на основе профилированных кристаллов сапфира и изготовлены пилотные образцы сапфировых волноводов;
- при помощи численного моделирования были построены частотные зависимости эффективного индекса моды и коэффициента потерь для основных мод в сапфировых волноводах, причём потери в широком спектральном диапазоне не превышают 10 дБ/м и составляют 3 и 1 дБ/м на 1.2 ТГц для мод низших порядков HE₁₁ и HE₂₁ соответственно, а дисперсия – менее 1 пс/(ТГц см) на частотах свыше 0.65 ТГц, что свидетельствует об эффективной передаче излучения по предложенному волноводу;
- при помощи экспериментальных исследований сапфировых волноводов различной геометрии методами time-domain-спектроскопии и СВ-спектроскопии, получена частотная зависимость коэффициента пропускания волновода и структуры мод в сечении волновода; экспериментальные данные были аппроксимированы полиномиальной моделью двух распространяющихся мод, с использованием данных численного расчёта дисперсии и коэффициента затухания, получено хорошее согласование теории и эксперимента в диапазоне частот 0.2 – 1.2 ТГц; Подтверждено, что при низкой численной апертуре ввода, волновод будет работать преимущественно в двухмодовом режиме;
- предложены новые методы высокотемпературной внутриволноводной ТГц спектроскопии и интерферометрии; показано, что эти методы могут быть использованы для проведения высокотемпературных ТГц измерений, в частности нами была проведена экспериментальная регистрация процесса плавления небольшого количества NaNO₂, при помощи разработанных методов внутриволноводной спектроскопии и интерферометрии с использованием разработанных методов сапфировых волноводов; следует отметить, что насколько нам известно, подобных измерений для ТГц диапазона ранее не проводилось.

Проект РФФИ 17-38-80057

Руководитель Катыба Г.М.

Установлено, что в исследованной группе сплавов на основе железа при уменьшении концентрации меди размер кристаллов значительно увеличивается; при уменьшении концентрации меди ниже 0.5% нанокристаллическая ОЦК структура не образуется; с увеличением концентрации меди (при постоянной концентрации ниобия) растет термическая стабильность аморфной фазы. Проанализировано влияние легирующих компонентов и их соотношения на возможность формирования нанокристаллов и параметры аморфно-нанокристаллической структуры в широкой группе сплавов на основе железа и кобальта. Определена зависимость размера кристаллов и доли нанокристаллической фазы от химического состава сплава. Установлена зависимость гистерезисных свойств материала от химического состава и атомной структуры.

Проект РФФИ 17-42-500633

Руководитель – д.ф.-м.н. Абросимова Г.Е.

В результате проведенной работы был исследован процесс силицирования биоуглеродных каркасов на основе уплотненной древесины березы и ольхи и влияние степени уплотнения на структуру и свойства биоморфных SiC-Si-C композитов. Показано, что при плотности биоуглеродных каркасов до $\sim 0,8$ г/см³ процесс силицирования протекает полностью. В диапазоне плотностей $0,8 - 0,9$ г/см³ процесс протекает неравномерно, что выражается в заметном разбросе плотностей и электрического сопротивления в пределах образца. При более высокой плотности каркаса расплав не доходит до центральных частей образца и силицируется только приповерхностный слой, что часто сопровождается образованием трещин. За счет увеличения содержания карбида кремния в материалах были существенно увеличены их механические характеристики, в частности прочность на изгиб достигла 360-380 МПа, а прочность на сжатие ~ 2 ГПа.

Проект РФФИ 17-43-500079

Руководитель – к.ф.-м.н. Ершов А.Е.

В аморфных лентах на основе переходных металлов методом зондовой микроскопии изучено распределение напряжений после деформации. Обнаружено, что в окрестности полос сдвига образуются зоны материала с пониженными прочностными характеристиками. Размер областей составляет около микрона.

В аморфно-нанокристаллических сплавах на основе алюминия обнаружено возрастание доли аморфной фазы при криотермоциклировании. Средний размер нанокристаллов сохраняется. При увеличении количества циклов достигнута полная аморфизация структуры.

Проект РФФИ 17-43-500809

Руководитель – д.ф.-м.н. Аронин А.С.

В течение второго года работы был несколько скорректирован план, поскольку были обнаружены принципиально новые возможности получения угле-алюминиевого композита. В итоге:

1. Были выбраны оптимальные материалы покрытия на углеволокна и способов их нанесения.
2. Разработана технология получения угле-алюминиевой проволоки, которая служит армирующим средством для матрицы из деформируемого сплава. Оптимизированы структура и режимы получения композитной проволоки
3. Исследованы зависимости основных механических характеристик композитов от режимов получения и типа углеволокна.
4. Разработана принципиально новая схема возможности получения угле-алюминиевого композита (готовится патентная заявка).

Проект РФФИ 17-48-500843

Руководитель – д.т.н. Милейко С.Т.

Исследованы квазиклассические и квантовые осцилляции магнитосопротивления в сильных полях в ранее синтезированном слоистом органическом сверхпроводнике $k-(\text{BETS})_2\text{Mn}[\text{N}(\text{CN})_2]_3$ при гидростатическом давлении, подавляющем моттовский переход в диэлектрическое состояние. Получены данные о циклотронных массах носителей, частоте столкновений и величине магнитопробойной щели, а также построена двумерная ферми-поверхность в плоскости слоев. При изменениях эффективной массы носителей в органических проводниках $k-(\text{BETS})_2\text{Mn}[\text{N}(\text{CN})_2]_3$ и $k-(\text{BEDT-TTF})_2[\text{CuN}(\text{CN})_2]\text{Cl}$ при приближении к переходу металл-изолятор обнаружено значительное увеличение циклотронной массы. Установлено, что в квазидвумерном проводнике TbTe_3 в режимедвижущейся ВЗП в слабых магнитных

полях наблюдается качественное изменение магнитосопротивления, связанное с сильным рассеянием носителей на скользящей ВЗП. Теоретически исследовано взаимное влияние угловых (AMRO) и квантовых осцилляций (MQO) межслойного магнитосопротивления $R_{zz}(\theta)$ в квазидвумерных слоистых металлах и установлено, что влияние AMRO на MQO приводит к новому качественному эффекту: угловым осцилляциям амплитуды MQO, называемым «ложными спиновыми нулями», что может привести к неправильному определению электронного g-фактора из эксперимента. Вычислена проводимость в анизотропной гетерогенной среде со сверхпроводящими включениями и проведено сравнение этих результатов с результатами, полученными ранее с использованием приближения Максвелла, и имеющимися экспериментальными данными об избыточной проводимости выше $T_c \approx 8\text{ K}$ в FeSe. Полученные аналитические формулы могут быть применены к различным другим анизотропным гетерогенным сверхпроводникам, включая высокотемпературные слоистые сверхпроводники. Развита теория поперечного магнетосопротивления в слоистых квазидвумерных металлах. Вычислена проводимость вдоль проводящих слоев в магнитном поле, перпендикулярном проводящим слоям. Полученные результаты полезны для анализа экспериментальных данных об осцилляциях магнитосопротивления в различных сильно анизотропных квазидвумерных металлах. Синтезирован ряд новых органических проводников на основе доноров BETS и BEDT-TTF, проведены исследования их структуры, транспортных и магнитотранспортных свойств.

Проект РФФИ 18-02-00280

Руководитель – д.ф.-м.н. Зверев В.Н.

Экспериментально исследован дробный квантовый эффект Холла в электронной системе квантовых ям SiGe/Si/SiGe в относительно слабых квантующих магнитных полях. Исследованная электронная система интересна тем, что в ней кулоновское взаимодействие между электронами в разы превышает циклотронную энергию исходных частиц. Обнаружены серии минимумов продольного магнитосопротивления, описываемые на языке композитных фермионов с квантовыми номерами $p=1;2;3;4$. Минимумы с $p=3$ исчезают в магнитном поле ниже 7 Т, что может быть связано с пересечением (или даже слиянием) квантовых уровней композитных фермионов. Предположение о пересечении уровней с разной ориентацией спина требует наличия аномально малого g фактора у композитных фермионов. Более вероятно, что пересекаются уровни с разной ориентацией псевдоспина, то есть уровни композитных фермионов из различных долин. Мы также наблюдали минимумы продольного магнитосопротивления при факторах заполнения $\nu = 4/5$ и $4/11$, что может быть обусловлено образованием композитных фермионов второго поколения.

Проект РФФИ 18-02-00368

Руководитель – д.ф.-м.н. Долгополов В.Т.

Анизотропия спинового резонанса двумерных электронов, содержащихся в высококачественной 4.5 нм AlAs квантовой яме исследована в режиме целочисленного квантового эффекта Холла. Извлеченное из положения резонанса по магнитному полю значение g-фактора имело нелинейную зависимость от фактора заполнения с расхождениями вблизи четных факторов заполнения. Значение g-фактора возрастало при уменьшении магнитного поля вблизи нечетных факторов заполнения. Значение g-фактора при нечетных значениях фактора заполнения зависит от фактора заполнения, что указывает на запутывание спиновой степени свободы и орбитального движения в режиме целочисленного квантового эффекта Холла. Это предположение

подтверждается прекрасным описанием экспериментальных данных теоретической моделью, учитывающей вклад в гамильтониан электрона спин-орбитального слагаемого Дрессельхауза. Более того, наблюдается прекрасное согласие теории с экспериментом и в наклонных магнитных полях. Это позволило нам оценить вклад Дрессельхауза в спин-орбитальное взаимодействие и извлечь фундаментально важную константу Дрессельхауза для объемного AlAs. Неожиданностью стало расщепление спинового резонанса на две четко разделенные линии. Этот факт требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований. Исследован электронный спиновый резонанс двумерных электронов в высококачественной гетероструктуре GaN/AlGaIn, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Несмотря на сильное спин-орбитальное взаимодействие в таких структурах, ширина линии спинового оказалась довольно малой и достигала 6.5 мТ в поле 13.3 Т. Время спиновой деполяризации достигало величины 2 нс. g-фактор электронов оказался близок к значению для свободного электрона, была исследована его зависимость от фактора заполнения.

Проект РФФИ 18-02-00745

Руководитель – к.ф.-м.н. Нефедов Ю.А.

В первый год реализации проекта была изготовлена серия образцов, содержащих двумерную электронную систему (ДЭС) в форме диска. Диаметр дисков варьировался от 50 мкм до 12 мм. Для изготовления использовались гетероструктуры GaAs/AlGaAs с электронной плотностью от 0.8×10^{11} до 6×10^{11} (см⁻²), и подвижностью – от 0.5×10^6 до 12×10^6 см²/(В*с). Такие параметры образцов позволили нам изучить плазменные возбуждения в широком диапазоне параметров запаздывания, от $A = 0.2$ до $A = 3.2$.

В рамках проекта использовались две методики возбуждения плазменных колебаний в ДЭС. В первой методике на поверхности образца также формировалась щелевая линия, к которой посредством коаксиальных кабелей подводилось микроволновое излучение. Диск ДЭС при этом находился непосредственно внутри щелевой линии. Данная методика использовалась для образцов с диаметром ДЭС от 1 мм, при частотах микроволнового излучения до 40 ГГц. Во второй методике образец помещался внутри волноводного тракта, по которому распространялось микроволновое излучение. Данная методика использовалась для образцов с диаметром ДЭС до 4 мм, при частотах микроволнового излучения от 10 ГГц до 140 ГГц.

В результате работ по данному проекту была построена дисперсия двумерных плазмон-поляритонных возбуждений и впервые была экспериментально измерена зависимость их ширины от величины параметра запаздывания. Как и предсказывает разработанная в рамках проекта теория, с увеличением параметра запаздывания ширина резонанса значительно уменьшается. Однако в экспериментах проекта было установлено аномально большое сужение фундаментального плазменного возбуждения. Сужение в три раза превосходило предсказания разработанной теоретической модели. При этом данная теоретическая модель отлично описала зависимость частоты плазменного возбуждения от параметра запаздывания. Следует заметить, что теоретическая модель была получена в предположении, что двумерная электронная система имеет бесконечный размер. Полученные результаты указывают на то, что в ограниченных двумерных электронных системах происходит подавление затухания плазменных колебаний за счет краевых эффектов.

Также в рамках работ по проекту было установлено, что зависимость нормированной ширины плазменного поляритона $\Delta\omega$ от параметра запаздывания A носит универсальный характер, независимо от концентрации и подвижности электронов в двумерной системе. Последнее обстоятельство было экспериментально проверено на

трёх различных структурах с разными концентрацией и транспортным временем релаксации. Данный проект предполагал определение вклада полупроводниковой подложки в дисперсию и ширину плазмон-поляритонных возбуждений. Мы значительно уменьшили толщину образцов с исходных $h = 600$ мкм до $h = 200$ мкм и провели аналогичные измерения. Оказалось, что изменение толщины не оказывает существенного влияния на ширину и частотное положение плазменного резонанса.

Кроме этого, на том же наборе образцов были экспериментально обнаружены нерадиационные осесимметричные плазменные моды в одиночных дисках двумерных электронов. Для возбуждения нерадиационных плазменных колебаний была разработана уникальная не инвазивная методика. Электромагнитное излучение подводилось к образцу по волноводу со встроенным оптоволоконным световодом, который формировал вблизи своего конца локально неоднородное электромагнитное поле. Было установлено, что неоднородность поля от световода тем больше, чем выше частота СВЧ излучения и ближе конец оптоволоконка к поверхности образца. В ходе работы были детально исследованы физические свойства обнаруженных новых нерадиационных плазменных мод. Установлено отличное согласие экспериментальных результатов с теоретическими предсказаниями.

Проект РФФИ 18-02-00753

Руководитель – к.ф.-м.н. Муравьев В.М.

Развивался теоретический подход применительно к расчету спектра квантово-холловских систем с большим значением параметра Вигнера-Зейтца r_s [отношение характерной энергии кулоновского взаимодействия к одноэлектронной энергии (циклотронной или зеемановской) составляет величину $r_s > 5$ для ZnO/MgZnO структур]. Получены предварительные результаты для описания основного состояния при заполнении $\nu=2$ в промежуточной ситуации, соответствующей условиям Стонеровского перехода – парамагнетик-ферромагнетик. Расчет выполнялся в хартри-фоковском приближении в модели, учитывающей три нижайших подуровня двух уровней Ландау, т.е. соответствующих квантовым числам $n=0$, $\sigma=1/2$; $n=0$, $\sigma=-1/2$ и $n=1$, $\sigma=1/2$. Получены предварительные результаты по расчету энергии спиновых (реально спин-циклотронных) возбуждений $\Delta S=-1$ в чисто ферромагнитной фазе при заполнении $\nu=2$. Использовалось одномодовое (одноэкситонное) приближение в рамках экситонного представления в редуцированном базисе двух уровней Ландау (т.е. 4-х подуровней: $n=0,1$ и $\sigma=+1/2$ и $n=0,1$ и $\sigma=-1/2$). Экспериментально также исследовался спектр в состояниях целочисленного КЭХ (при $\nu=2$ и $\nu=1$) в системах ZnO/MgZnO методом резонансного неупругого рассеяния света при переменных параметрах – таких как электронная концентрация, фактор заполнения, угол наклона магнитного поля к нормали двумерного канала, передаваемый двумерный импульс, температура. В экспериментальном исследовании методом наблюдения керровских осцилляций голдстоуновской ‘спин-поворотной’ моды в ‘традиционном’ квантово-холловском ферромагнетике (т.е. в GaAs/AlGaAs структурах) получены результаты в более широком чем ранее диапазоне температур и магнитных полей. В частности, при заполнении $\nu=1$ наблюдалось время сбоя фазы осцилляций (время релаксации) – 30 нс, которое не менялось во всем диапазоне изменения температуры от 0.5 до 5 К.

Проект РФФИ 18-02-01064

Руководитель – к.ф.-м.н. Дикман С.М.

На первом этапе проекта исследовались GaAs наноструктуры с одиночной квантовой ямой (ширина 18 нм) и концентрацией двумерных электронов $n_s = 0.7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и подвижностью $\mu > 6 \cdot 10^6 \text{ см}^2/(\text{V} \cdot \text{с})$. Измерялось время сбоя фазы когерентной спиновой прецессии электронов (время спиновой дефазировки) в

широком диапазоне (от 0 до 8Т) наклонного магнитного поля (45 градусов к плоскости квантовой ямы), в интервале низких температур – от 0.5 до 5К при различной плотности импульсного лазерного фотовозбуждения.

В ходе проведения эксперимента было обнаружено, что

- при величине магнитного поля, соответствующему фактору заполнения $\nu=0.5$ ($B = 8.2\text{Т}$) время спиновой дефазировки электронов составляет порядка 0.6нсек, как и в отсутствии внешнего магнитного поля (режим композитных фермионов). Это, по-видимому, обусловлено коллективными корреляционными эффектами, наблюдающимися при дробных факторах заполнения, а также влиянием разброса g-фактора электронов в сильном магнитном поле.

- при величине магнитного поля, соответствующему фактору заполнения $\nu = 1$ (Холловский ферромагнетик), время сбоя фазы когерентной спиновой прецессии электронов составляет более 30нс. Время практически не меняется в интервале температур от 0.5 до 5К и при четырехкратным увеличением накачки

Проект РФФИ 18-02-01082

Руководитель – к.ф.-м.н. Ларионов А.В.

Выполнено гидрирование фаялита Fe_2SiO_4 при давлениях водорода 1.4-7.5 ГПа с последующим изучением при нормальном давлении фазового и химического состава полученных образцов. Изучена термическая устойчивость фаялита при давлениях водорода до 7.5 ГПа. Показано, что температура разложения фаялита нелинейно падает от $\sim 375^\circ\text{C}$ при давлениях $\text{P}_{\text{H}_2} = 1.4\text{--}2.8$ ГПа до $\sim 175^\circ\text{C}$ при $\text{P}_{\text{H}_2} = 7.5$ ГПа. При температурах выше линии разложения фаялит полностью распадается на смесь воды, коэсита (фазы высокого давления SiO_2) и металлического Fe или FeH в зависимости от давления гидрирования.

Проект РФФИ 18-02-01175

Руководитель – к.ф.-м.н. Ефимченко В.С.

Были изготовлены сплавы титана с компонентами, образующими интерметаллиды (железо, никель, хром и кобальт). Сплавы изготовлены с помощью вакуумной индукционной плавки из особо чистых и технически чистых компонентов. Концентрации второго компонента были выбраны таким образом, чтобы исследовать всю область растворимости. Железо, никель, хром и кобальт обладают разными коэффициентами диффузии в титане и разной энтальпией смешения.

Были частично изготовлены и термообработаны образцы для КВД. Литые сплавы титана были отожжены при разных температурах и затем закалены, чтобы получить разные исходные состояния (разные объемные доли α -фазы и интерметаллидов TiFe , Ti_2Ni , TiCr_2 и Ti_2Co , их разное распределение в объеме и по границам зерен, разную текстуру). Частично проведена обработка образцов выплавленных сплавов с помощью кручения при высоком давлении при разных степенях и скоростях деформации, а также при различных давлениях и температурах деформации. Частично проведены высокотемпературные отжиги этих сплавов после КВД при температурах от 400 до 600°C. Получены первые данные о микроструктуре сплавов титана с железом, никелем, хромом и кобальтом до термической обработки и после отжигов в двухфазной области « α +интерметаллид» и последующей закалки. Получены первые данные о морфологии и взаимном расположении структурных составляющих. Получены первые данные о о структурах с различной морфологией зернограницных прослоек (сплошные прослойки или цепочки частиц второй фазы: полное или неполное смачивание шраниц зерен). Получены первые данные о возможной гетероэпитаксии на границах фаз. Получены первые данные о о фазовом составе сплавов до и после КВД, полученные методами СЭМ, ПЭМ, ВПЭМ, рентгеновской дифракции.

Проект РФФИ 18-03-00067

Руководитель – к.ф.-м.н. Страумал Б.Б.

Исследовались зернограницные фазовые переходы смачивания в бинарной системе. Для исследования были выбраны три сплава W-Ni, которые в основном находятся в однофазной области фазовой диаграммы: W-0.05, 0.1 и 0.3 вес. % Ni. Образцы сплавов подвергались отжигу в вакууме при температурах 950, 1050, 1100 и 1200°C.

Для изучения структуры использовались методы просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) и аналитической сканирующей просвечивающей (STEM EDX).

В результате проведенных исследований в структуре сплавов, отожженных в двухфазной области, были обнаружены границы зерен с разным типом смачивающей прослойки:

а. границы зерен с неполным или частичным смачиванием: частицы смачивающей фазы находятся в тройных стыках либо в виде линзообразных включений вдоль линии границы, ненулевой контактный угол, отсутствие смачивающей фазы на границе раздела двух зерен;

б. границы зерен с полным смачиванием, когда смачивающая фаза образует слой переменной толщины вдоль границы раздела и контактный угол в тройном стыке равен нулю;

в. границы зерен с псевдонеполным смачиванием: наблюдается, когда контактный угол со смачивающей фазой в тройном стыке ненулевой, но при этом вдоль границы раздела присутствует тонкая (~5 нм) прослойка смачивающей фазы.

В сплавах, отожженные в однофазной области, отсутствует смачивающая фаза, и границы зерен не должны содержать смачивающих прослоек. Однако нам удалось наблюдать на границе зерен фазу богатую никелем, образующую прослойки толщиной ~0.9 нм. Обнаруженная на границах зерен фаза является так называемой зернограницной фазой, которая нестабильна в объеме образца и может существовать только на межзеренной границе.

Полученные структурные данные были наложены на объемную фазовую диаграмму W – Ni, и была простоена линия зернограницного фазового прехода предсмачивания.

Проект РФФИ 18-03-00284

Руководитель – к.ф.-м.н. Мазилкин А.А.

Разработан контактный сапфировый нейрохирургический зонд для удаления опухоли головного мозга с возможностью интраоперационной экзогенной флуоресцентной диагностики и лазерной коагуляции. Оптимизирована геометрия сапфирового нейрозонда для повышения чувствительности флуоресцентной диагностики и точности определения границ опухоли, для чего проведена серия вычислительных экспериментов с помощью методов Монте-Карло. Разработана методика выращивания профилированного кристалла сапфира переменного сечения. Изготовлен пилотный образец сапфирового нейрозонда и проведена его экспериментальная апробация.

Для флуоресцентной диагностики использовался препарат Аласенс (НИОПИК, Россия) из расчёта 20 mg/kg. На основании спектрометрической картины на всех этапах удаления опухоли проводились биопсии опухолевой ткани, зоны её некроза, пограничной зоны и интактного мозга, выявлены средние значения их спектральных характеристик, таких как безразмерный индекс флуоресценции (ИФ) и отношение интенсивности флуоресценции P_{rIX} в диапазоне 690–730 nm к интенсивности рассеянного лазерного излучения, в том числе *in vitro*. Диагностическим критерием выступает величина флуоресцентного контраста, представляющим из себя отношение ИФ опухолевой ткани к ИФ интактной ткани мозга. ИФ, в среднем, для опухоли составил 12 ± 5 , для зоны некроза 4.5 ± 2 , для пограничной зоны 5 ± 1.5 , для мозга 1.5 ± 1 .

Проект РФФИ 18-08-01230

Руководитель – д.т.н. Курлов В.Н.

Проведены исследования методами DLTS и LBIC влияния атомов железа на электронные свойства кремния, содержащего ростовые вакансионные дефекты, дислокации и дефекты, образующиеся в процессе движения дислокаций в плоскостях их скольжения (trail-дефекты).

Обнаружено, что атомы железа взаимодействуют с ростовыми вакансионными дефектами, что приводит к появлению в спектрах DLTS образцов p-Si пика по параметрам близкому к известному из литературы комплексу железа FeD, который, по-видимому, соответствует комплексу железа с вакансиями: {FeIV} или {VFeV}.

Обнаружено, что в образцах с дислокациями и trail-дефектами, охлажденных медленно после диффузии железа, возрастает рекомбинационная активность дефектов в плоскостях скольжения дислокаций, тогда как в образцах, закаленных после диффузии железа, значительно увеличивается активность дислокаций в рекомбинации.

Установлено, что после диффузии железа в спектрах DLTS образцов n-Si увеличивается амплитуда пиков 201K и 247K, которые по параметрам соответствуют «C1- и D-линиям» типичного DLTS спектра деформированного кремния. Зависимости амплитуды DLTS пиков 201K и 247K от длительности заполняющих импульсов τ_p характерны для протяженных дефектов. При этом спектры не удается промоделировать в предположении наличия одного типа дислокаций с равномерно распределенными дефектами вдоль дислокации. Возможно, что один из пиков связан с атомами железа, а второй с преципитатами железа на дислокациях.

Проект РФФИ 18-32-00032 мол.

Руководитель – к.ф.-м.н. Хорошева М.А.

Исследовано влияние растягивающих напряжений на магнитные гистерезисные свойства аморфных и частично нанокристаллизованных микропроводов с положительной магнитострикцией. Установлено: 1) существование критического растягивающего напряжения, при достижении которого прекращаются процессы перемагничивания в проводах, при этом данный порог зависит от начального уровня напряжений в материале; 2) на кривых магнитного потока от времени при перемагничивании аморфных микропроводов наблюдается два характерных пика, соответствующих перемагничиванию материала, что можно объяснить наличием двух магнитных фаз.

Проект РФФИ 18-32-00251 мол.

Руководитель Аксенов О.И.

В рамках работы по гранту 18-33-00471 изучались особенности синтеза соединения Mo₃Si и взаимодействие этого силицида с керамикой на основе карбида титана. Исследовались особенности состава и структуры сплавов системы Mo-Si-C полученных в результате различных видов термообработки, а также после взаимодействия с керамическим материалом на основе TiC.

При исследовании фазовых превращений при синтезе фазы Mo₃Si было установлено, что синтез силицида Mo₃Si значительно затруднен, по сравнению с синтезом силицидов MoSi₂ и Mo₅Si₃. В результате попыток синтеза Mo₃Si при температуре 1460-1480 °C в сплаве, помимо фазы Mo₃Si, присутствуют и твердый раствор кремния в молибдене и фазы Mo₅Si₃ и/или Mo_{4.8}Si₃C_{0.6}. При этом, в MoSi₂ и Mo₅Si₃ в результате точно такой же процедуры синтеза практически отсутствуют примесные фазы. Установлено, что для того, чтобы получить почти однофазный силицид Mo₃Si, потребовался дополнительный отжиг 1700 °C в течение 1 часа. Кроме того, во всех

случаях обнаружены заметные отклонения в стехиометрии самой фазы на основе Mo_3Si , концентрация кремния была значимо ниже, чем 25 ат. %.

Изучение взаимодействия TiC с силицидами показало, что введение относительно малых добавок силицидов позволяет методами порошковой металлургии получить керамику на основе TiC со связным карбидным каркасом. Установлено, что после расплавления реакционно-спеченной смеси $\text{Mo}+25,4$ ат.% на поверхности керамики на основе TiC , в твердом растворе Mo появляется заметная примесь Ti (4,5-5,7 ат. %) и концентрация Si в твердом растворе заметно возрастает (до 4,5-6,3 ат. %, при этом растворимость Ti в фазе на основе Mo_3Si составила 3,8-7,6 ат.%). Взаимодействие TiC с расплавом реакционно-спеченной смеси $\text{Mo}+25,4$ ат.% Si приводит к образованию карбидов типа Mo_2C и к растворению Mo в TiC (2,8-14,4 ат. %). На полученном образце керамики на основе TiC с наплавленным на одну из ее поверхностей слоем с исходным составом $\text{Mo}_3\text{Si} + \text{Mo}$ удалось продемонстрировать способность затормозить распространение хрупкой трещины в этом слое при комнатной температуре.

Проект РФФИ 18-33-00471 мол.

Руководитель – к.ф.-м.н. Гнесин И.Б.

«Реальный спектр границ зерен в системе $\text{Cu} - \text{Ag}$ и их температуры смачивания»

Проект «Реальный спектр границ зерен в системе $\text{Cu} - \text{Ag}$ и их температуры смачивания» направлен на исследование реального спектра границ зерен, встречающегося в поликристаллических материалах, а также фазовых превращений на данных границах зерен, показывающих качественно спектр энергий границ, зарегистрированных в поликристалле. В этой работе впервые делается попытка связать фундаментальные знания о протекании зернограницных фазовых переходов и данные о реальном спектре границ зерен, встречающихся в поликристаллах.

За отчетный период в 2018 году были проведены следующие работы по гранту:

1. Подготовка экспериментальных образцов.
2. Экспериментальные отжиги образцов, запаянных в кварцевые ампулы.
3. Металлографическая подготовка образцов перед исследованием на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) и методом дифракции обратно рассеянных электронов (ДОРЭ) в СЭМ.
4. Съёмки на СЭМ в контрасте обратно рассеянных электронов.
5. Съёмки на СЭМ методом ДОРЭ.
6. Исследование составных частей структуры при помощи анализа характеристического рентгеновского излучения для уточнения положения экспериментальных точек в двухфазной области твердое жидкое.
7. Анализ микроснимков в контрасте обратно рассеянных электронов.

Начаты работы по:

1. Анализу карт ДОРЭ на промышленной программе TSL OIM 7.
2. Корреляции между данными по ДОРЭ, микроструктурой образцов, полученной на СЭМ и температурами отжигов.

Установлено, что:

1. Состояние смачивания границ зерен медь/медь зависит от температуры отжига и от кристаллографической структуры данных границ зерен.
2. В системе медь – серебро полное смачивание наступает сначала на границах общего типа с большими углами разориентировки и только потом на границах зерен решеток совпадающих узлов (РСВ) и малоугловых границах зерен.
3. Только часть границ зерен РСВ показывают особое поведение при смачивании, то есть имеют существенно более высокую температуру смачивания, чем остальные границы зерен. Поэтому эти границы зерен можно считать «специальными».

4. Порядка 70% спектра встречающихся границ зерен составляют границы общего типа.

Проект РФФИ 18-33-00473 мол.

Руководитель – к.ф.-м.н. Страумал А.Б.

На основе данных рентгеноструктурного анализа (РСА) проведен сравнительный анализ молекулярной геометрии 8 анионов фталоцианинов $[\text{TiIVOPc}]n^-$, $[\text{VIVOPc}]n^-$ ($n=1,2$) и нейтральных фталоцианинов $[\text{TiIVOPc}]$ и $[\text{VIVOPc}]$ с целью изучения ян-теллеровских (ЯТ) деформаций их молекулярной структуры. Экспериментально показано, что заселение дополнительными электронами 2-хкратно вырожденного НСМО (низшая свободная молекулярная орбиталь) уровня молекулы $[\text{MIVOPc}]$ приводит к понижению тетрагональной симметрии остова с C_{4v} до C_{2v} с существенным изменением распределения длин связей в молекуле. В большей степени эффект проявляется в иминных связях фрагмента $\text{C-Nim}-\text{C}$, где наблюдается систематическое разделение связей на группы коротких и длинных. Степень деформации пропорциональна заряду макроцикла фталоцианина. ЯТ искажения макроцикла заметно влияют на положение характерных для $[\text{MIVOPc}]$ частот в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) монокристаллов анионных фталоцианиновых комплексов в области $1100\div 1700\text{ см}^{-1}$. Экспериментально полученные закономерности достаточно хорошо согласуются с результатами теоретических DFT расчетов.

Список публикаций:

Ян-теллеровские деформации в анионах металлофталоцианинов $[\text{MIVOPc}]n^-$ ($\text{M}=\text{Ti}, \text{V}$) / Кузьмин А.В., Хасанов С.С., Мелетов К.П., Шибеева Р.П. // ЖЭТФ. — 2018 (отдана в печать)

Dianion salts of titanyl and vanadyl phthalocyanines (Cation $^{+2}$) $\{[\text{MIVOPc}4-]\}_2$ —containing tetraanion $\text{Pc}4-$ macrocycles / D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, [et al.] // Chemistry An Asian Journal. — 2018. — No. 13. — P. 1552–1560.

Проект РФФИ 18-33-00731 мол.

Руководитель – к.ф.-м.н. Кузьмин А.В.

Исследованы жаропрочные слоистые композиты упрочненные алюминидом ниобия. Структура которых состоит из чередующихся слоев твердого раствора алюминия в легированном сплаве на основе ниобия и слоев интерметаллидов Nb_2Al окантованных интерметаллидом Nb_3Al .

В работе получен матричный легированный деформируемый сплав на основе ниобия. Установлена прочность полученных слоистых композитов, которая составила 327 и 275 МПа при 1300°C и 927 и 367 МПа при комнатной температуре, соответственно. А трещиностойкость $K_{\text{Ic}}=8,5$ и $12,5\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Показано, что величина высокотемпературной прочности очень сильно зависит от объемного содержания упрочняющей и трещинно-стойкой фаз.

Проект РФФИ 18-33-01266 мол.

Руководитель – к.ф.-м.н. Прохоров Д.В.

Исследовано распространение излучения видимого диапазона в фантомах биологических тканей, изготовленных на основе жидкостных суспензий интралипида, посредством сапфировых игловых световодов в интересах их использования для фотодинамической терапии и лазерной термотерапии. Проведено численное моделирование переноса излучения для различных форм наконечников игловых световодов с учетом идеальной формы поверхности световода. Изготовлены рассмотренные игловые световоды для направленного и диффузного распространения лазерного излучения. Изготовлены жидкостные фантомы биологических тканей,

имеющие заданные оптические характеристики. Получены результаты экспериментальных исследований распространения излучения с помощью данных световодов, которые хорошо согласуются с результатами численного моделирования, что подтверждает возможность управляемой фотодинамической терапии с использованием сапфировых инструментов. Согласовано дальнейшее проведение экспериментальных исследований влияния режимов лазерной экспозиции, а также типа и формы игловых световодов на биологические ткани в нормальном состоянии и при наличии патологий (злокачественных образований различной нозологии и локализации) на базе клиники Первого МГМУ им. И.М. Сеченова.

Проект РФФИ 18-38-20140

Руководитель – к.ф.-м.н. Долганова И.Н.

IV. Результаты, полученные при выполнении хоз.договоров

Сверхбыстрое акустическое управление когерентной спиновой динамикой в наноструктурах

Найдено два акустооптических режима, возникающих в экситон-поляритонном конденсате, создаваемой оптической накачкой, при различных соотношениях латерального размера акустического импульса (S) и диаметра микрорезонаторного столбика (микропиллара). Если $R = S / C$ мало и конденсат находится в состоянии с наименьшей энергией, локальная деформация вызванная акустическим импульсом приводит к спонтанному нарушению спиновой симметрии в конденсате, которое не восстанавливается после окончания импульса. В точке акустической активации спиновое состояние с левой или правой поляризацией формируется случайным образом, после чего переходы в состояния с точно такой же поляризацией происходят и на больших расстояниях от точки активации. Для повторной инициализации системы необходимо временно выключить оптическую накачку. Если, напротив, $R \sim 1$, то переключением спинового состояния конденсата можно контролировать детерминированным образом, так что спиновое состояние, сформированное данным импульсом деформации может быть переключено в исходное состояние другим акустическим импульсом в любое более позднее время без необходимости изменять оптическую накачку. Таким образом, микропиллар микронного размера может работать как обычная многостабильная ячейка, переключаемая между ее различными спиновыми состояниями акустическими импульсами деформации.

Хоз. договор х/д 1-17-1

Руководитель – д.ф.-м.н. Кулаковский В.Д.

Выполнены исследования в рамках первого российского проекта по сверхпроводниковым кубитам. Разработана технология изготовления сверхпроводящих туннельных контактов субмикронных размеров и различных когерентных квантовых структур (кубитов) на их основе, отработаны процедуры приготовления и контроля квантовых состояний, а также квантовая томография приготовленных состояний. Продемонстрированы однокубитные квантовые вентиляционные операции с использованием нескольких типов сверхпроводящих кубитов с временем когерентности более 1 мкс.

Хоз. договор 1144 – 16

Руководитель – д.ф.-м.н. Рязанов В.В

С помощью нагревающего микроскопа Misura 3 HSML изучен процесс спекаемости композита состава $\text{NiO}/10\text{Sc}1\text{CeSZ} = 60/40$ масс%. Показано, что оптимальный интервал температуры для спекания композитного анода – 1275-1375оС.

Исследованы особенности формирования тонкопленочного (толщиной менее 10 мкм) 8YSZ электролита с барьерным слоем GDC на несущих анодах NiO/YSZ большой площади (100×100 мм) методом магнетронного распыления. Показано наличие трех режимов магнетронного распыления: металлический (при малых расходах кислорода, формируется металлическая пленка), переходный (формируется оксидная пленка, скорость осаждения относительно велика), оксидный (при больших расходах кислорода скорость осаждения пленки мала из-за окисления катода) в зависимости от расхода кислорода.

Результаты исследований временных зависимостей токовых коллекторов из нержавеющей хромистой стали марки 08X18T1 с защитным никелевым покрытием, а также изучение эволюции микроструктуры приповерхностного слоя таких токовых коллекторов в контакте с LSM катодом на воздухе при постоянной токовой нагрузке 0,5 А/см² показали, что сталь 08X18T1 может быть использована взамен дорогостоящей стали Crofe 22 APU(H) ввиду подходящих значений $\rho\text{ASR}(t)$. Показано, что нанесение защитного никелевого покрытия толщиной 20 мкм на 08X18T1 позволило к окончанию испытаний (920ч) достигнуть сопротивления 17 мОм•см²

Хоз. договор 1177 – 17

Руководитель – д.ф.-м.н. Бредихин С.И.

Проведено изучение магниторезистивных эффектов в трехслойных FSF-мостиках PdFe-Nb-PdFe . Продемонстрировано наличие значительной зависимости сопротивления от внешнего магнитного поля, несмотря на использование крайне слабого ферромагнитного сплава, содержащего около 1% магнитных примесей. Показано, что при более низких температурах данный эффект позволяет управлять критическим током мостика. Это дает открывает перспективы использования таких образцов в качестве элементов джозефсоновской магнитной памяти, управляемых импульсами слабыми импульсами внешнего магнитного поля (10-15 Э). Также были выполнены работы по проектированию и изготовлению прототипа логического элемента на основе двухконтурного СКВИДа (би-СКВИДа), содержащего пи-контакт Nb-CuNi-Nb . Был изготовлен тестовый образец и проведено исследование его вольт-амперных и вольт-поточковых характеристик. Была продемонстрирована работа образца в качестве линейного измерителя внешнего потока.

Хоз. договор 1195 – 18

Руководитель – к.ф.-м.н. Больгинов В.В.

Проведено рентгеноструктурное исследование монокристаллов серии новых анион-радикальных координационных комплексов фталоцианинов при низких температурах в инертной атмосфере паров азота. Решена и уточнена их кристаллическая структура. На основе полученных структурных данных были выполнены квантово-химические расчеты взаимодействия базовых анионов и объяснено магнитное поведение кристаллов указанных соединений. В случае металлофталоцианинов анализ геометрии центрального координационного полиэдра и органического остова фталоцианинам подтверждает, что степень окисления центрального атома переходного металла в этих соединениях +2, а макроцикл Pc находится в дианионном состоянии (Pc^{2-})[1]. В комплексе $(\text{PPN}^+)_2(\text{H}_2\text{Pc}^{2-})$ (5) с безметальным нафталоцианином (H_2Pc) дианионы H_2Pc^{2-} образуют стопки вдоль направления a , с коротким межплоскостным расстоянием 3.30 Å между дианионами. Такая упаковка способствует к эффективному взаимодействию между Nc^{2-} , что подтверждается результатами DFT



расчетов: интеграл перекрывания между НОМО-НОМО орбиталями равен -3.1×10^{-3} [2]. Установленное взаимодействие важно для объяснения проводящих и магнитных свойств изучаемых кристаллов.

Хоз. договор 1197 – 18

Руководитель – к.ф.-м.н. Хасанов С.С.

Проведено рентгеноструктурное исследование монокристаллов серии новых анион-радикальных координационных комплексов металло-парфиразинов с катионом криптанада натрия при низких температурах в инертной атмосфере паров азота. Решена и уточнена кристаллическая структура 6 комплексов, проведен кристаллохимический анализ в связи с их свойствами. В частности, образование дианиона $[\text{FeITPyzPz}(3^-)]2\bullet$ в комплексе $\{\text{cryptand}[2.2.2](\text{Na}^+)\}_2[\text{FeI}(\text{M-Im})2\text{TPyzPz}(3\bullet^-)]2\bullet \cdot 2\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$ сопровождается восстановлением как центрального атома железа с образованием FeI , так и макроцикла с образованием анион-радикала $\text{TPyzPz}(3\bullet^-)$. Комплекс имеет изолированную упаковку макроциклов $[\text{FeITPyzPz}(3^-)]2\bullet$, расположенных перпендикулярно друг к другу, пустоты заняты катионами и молекулами растворителя. Реализуемая упаковка макроциклов дает основание утверждать, что в кристаллах формируется двухспиновая системы со слабым антиферромагнитным взаимодействием. Действительно, согласно SQUID измерениям, значение эффективного магнитного момента соли 1 равно $2.34 \Delta_B$ при 300 К, что согласуется с вкладом двух спинов $S=1/2$ на формульную единицу, от парамагнитного FeI и восстановленного макроцикла $[\text{TPyzPz}(3\bullet^-)]$.

Хоз. договор 1198 – 18

Руководитель – к.ф.-м.н. Хасанов С.С.

Цели НИР: Получение экспериментальных данных по проникновению вихревой решетки, сформированной на поверхности воды стоячими гравитационными волнами, в объем жидкости, и по влиянию турбулентного вихревого течения, созданного тепловым потоком в тонком капилляре, на скорость и затухание волн второго звука в сверхтекучем гелии.

1. В ходе работы было экспериментально показано, что в объеме решетка вихрей структуру и зависимости амплитуды от глубины близка к экспоненциальному закону $\exp(-2kh)$, где k — волновой вектор возбуждаемой решетки, а h — глубина слоя жидкости.
2. Экспериментально было оценено характерное время 200 секунд проникновения завихренности решетки вихрей из вязкого подслоя в объем. Показано, что с помощью модели дрейф Стокса нельзя объяснить увеличение амплитуды завихренности со временем.
3. Экспериментально показано, что наличие крупномасштабных вихрей приводит к «сносу» завихренности, проникающей в объем из вязкого подслоя. Показано, что крупномасштабные течения с характерной скоростью 5–10–3 см/с приводят к существенной деградации решетки вихрей с характерным размером вихря 8 см.
4. Определены предельные амплитуды пробных импульсов второго звука, используемого для тестирования плотности квантовых вихрей в сверхтекучем гелии, которые не влияют на состояние вихревой системы.
5. Экспериментально измерены времена установления и распада вихревой системы в сверхтекучем гелии при включении и выключении постоянного теплового потока. Оказалось, что вихревая система во всей измеренной области температур (1.3–2.1 К) устанавливается за времена короче 1 с, в то время как распад ее происходит за времена существенно больше (за времена ~ десятков секунд).
6. Сняты зависимости затухания пробных импульсов в зависимости от плотности стационарного теплового потока, генерирующего вихревую систему. Оценены

плотности вихрей при их экспериментальном измерении как затухание пробных тепловых импульсов.

Хоз. договор 1200 – 18

Руководитель – д.ф.-м.н. Левченко А.А.

Проведено гидрирование аморфных силикатов магния $MgySiO_2+y$ и фаялита Fe_2SiO_4 при давлении водорода 7.5 ГПа с последующей закалкой образцов до температуры жидкого азота и изучением их фазового и химического состава, а также структуры и динамики решетки при нормальном давлении. Показано, что растворы $MgySiO_2+y-H_2$ делятся на две группы, отличающиеся по своему строению, количеству X растворенных молекул водорода и их колебательным характеристикам. Структура соединений с $y \leq 0.32$ аналогична структуре кварцевого стекла, тогда как структуры соединений с $y \geq 0.49$ характерны для энстатитового стекла $MgSiO_3$. Установлено, что при давлении 7.5 ГПа и температуре 280 °С фаялит Fe_2SiO_4 не образует твердых растворов с водородом, а разлагается с образованием кремнезема, воды и гидрида железа состава FeH с двойной ГПУ решеткой металла.

Хоз. договор 1207 – 18

Руководитель – д.ф.-м.н. Антонов В.Е.

Разработана программа и методика исследовательских испытаний БДЦК.563620.023 ПМ «Электрохимические характеристики единичных планарных металл-поддерживающих ТОТЭ на водород-азотной смеси и на сингазе, включающая: измерение напряжения открытой цепи; измерение удельной мощности; измерение плотности тока.

Разработан концептуальный вид повторяемого узла батареи для планарных металл-поддерживающих ТОТЭ. В соответствии с разработанной концепцией разработана конструкторская документация и изготовлена оснастка для исследования электрохимических характеристик единичных планарных металл-поддерживающих ТОТЭ.

Разработана конструкторская документация (КД) для изготовления экспериментальной сборки из 2-5 единичных металл-поддерживающих ТОТЭ.

Хоз. договор 1208 – 18

Руководитель – д.ф.-м.н. Бредихин С.И.

Исследовано влияние микроволнового излучения на процессы переключения магнитных джозефсоновских переходов, перспективных для реализации быстрой криогенной памяти, совместимой с джозефсоновской цифровой электроникой. Показано, что совместное приложение импульсов магнитного поля и микроволнового излучения увеличивает разницу критических токов в двух «цифровых» состояниях переключателя, основанного на магнитном джозефсоновском переходе. Это обеспечивает новый подход при адресации к отдельному элементу в матрице памяти со случайным доступом.

Критические и магнитные характеристики джозефсоновских магнитных переходов, разработанных в ИФТТ РАН, исследованы вплоть до температур 0,3 К. Проведены детальные измерения процессов резистивных переключения таких структур за счет импульсов магнитного поля в присутствии СВЧ-сигнала. Показано, что возмущающее воздействие СВЧ-сигнала становится существенным при больших значениях M на петле перемagnetивания $M(H)$. Полученные результаты обосновывают применение дополнительных СВЧ-сигналов для схем с СВЧ-адресацией в структурах энергоэффективной криогенной памяти для сверхпроводниковой цифровой электроники

Хоз. договор 1209 – 18

Руководитель – д.ф.-м.н. Рязанов В.В.

В ходе выполнения НИР проведены экспериментальные исследования магнитосопротивления образцов органического проводника $(\text{ET})_4\text{MnBr}_4(\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2)$ в зависимости от давления до 8 кб и при температурах до 0,49 К. Изучены спектры осцилляций Шубникова-де Гааза при давлениях до 8 кбар, температурах до 0.49 К и магнитных полях до 16.5 Тл. Установлено, что высокое давление вплоть до 8 кб не приводит к появлению ожидаемых новых частот в спектре квантовых осцилляций, зато приводит к полному подавлению осцилляций при давлениях выше 4 кб – факту, который требует серьезного осмысления и дополнительной проверки.

Хоз. договор 1213- 18

Руководитель – д.ф.-м.н. Зверев В.Н.

СЧ ОКР «Подготовка образцов и изготовление ампул для проведения трех экспериментов «ВАМПИР» и пяти экспериментов «Фуллерен» на основании уточненных параметров процесса. Проведение исследований полученных кристаллов. Анализ полученных результатов.»

Изготовлены ампулы с загрузками для проведения трех экспериментов «ВАМПИР» и пяти экспериментов «Фуллерен». Рост кристаллов выполнен на установке МЭП-01 в НИИСК им. В.П. Бармина, на основании параметров процесса, уточненных на предыдущих этапах наземной отработки космических экспериментов (КЭ).

Полученные кристаллы исследованы в ИФТТ РАН, данные по их составу, структуре, оптическим и электрофизическим свойствам проанализированы в сравнении с результатами предыдущих этапов наземной отработки соответствующих КЭ.

Предложены оптимальные технологические режимы планируемых космических экспериментов.

Хоз. договор 47702388027160000570/1167-16

Руководитель – д.т.н. Колесников Н.Н.

Содержание 1 этапа СЧ НИР включало в себя изготовление образцов для получения экспериментальных данных по структурному анализу применительно к технологии изготовления экономнолегированного термически неупрочняемого алюминиевого сплава системы Al-Mg-Sc-PM3. Заказчиком по согласованию с исполнителем были представлены образцы исходной лигатуры Al-Sc, содержащей повышенную концентрацию скандия (2%). Были проведены предварительные работы по выбору и использованию методов исследования, способных дать соответствующую информацию. Показано, что для выполнения НИР необходимо использовать комплекс методов исследования: рентгеноструктурный и фазовый анализ, просвечивающую, сканирующую электронную микроскопию, а также рентгеновский микроанализ.

Хоз. договор 47702388027160002070/1191-18/2393/0110-1

Руководитель – д.ф.-м.н. Аронин А.С.

В рамках хоздоговора 1201-18 были определены структуры 15 новых кристаллов молекулярных магнетиков. Установлено, что структуры кристаллов состоят как из изолированных молекул, так и координированных в непрерывную цепочку из магнитных центров. В одном из синтезов формируется три полиморфные модификации с общей формулой $[\text{Cr}(\text{C}_{25}\text{H}_{24}\text{N}_5\text{O}_4)(\text{N}_3)_2]$.

Хоз. договор х/д 1201-18

Руководитель – к.ф.-м.н. Симонов С.В.

Цели НИР: Получение экспериментальных данных о структуре двумерного крупномасштабного вихревого течения в ячейке с кольцевой геометрией границ ячейки. Экспериментальные исследования процессов формирования прямого и обратного каскадов энергии в системе вихрей, формируемых фарадеевскими волнами на поверхности сверхтекучего гелия.

- Для экспериментального исследования влияния геометрии границ на возбуждаемое квазидвумерное турбулентное течение была создана ячейка с кольцевой геометрией границ. Диаметр доступной для наблюдения области течения 8.6 см. Течения на поверхности электролита регистрировали оптическим методом, снимая на видеокамеру движения подсвеченных лазером полиамидных частиц. С помощью метода PIV находили поле скорости течений.

- Экспериментально исследовался процесс формирования обратного каскада. Оказалось, что после включения накачки возбуждается вихревая решётка с характерным размером 1 см. Далее наблюдается формирование обратного каскада — энергия перетекает во всё большие масштабы. На конечной стадии экспериментов наблюдается несколько крупномасштабных вихрей с размером сравнимым с диаметром ячейки.

- Экспериментально установлен радиальный профиль азимутальной скорости крупномасштабного когерентного течения $U(r)$. Скорость возрастает линейно до масштабов сердцевины вихря $r \approx (0.5 \pm 0.05)$ см и выходит на постоянное значение $U = (1.1 \pm 0.1)$ см/с в интервале $0.5 < r < 2$ см. Экспериментальные значения характеристик когерентного вихря хорошо согласуются с теоретическими значениями $r_c = 0.6$ см и $U = 1.2$ см/с.

- Экспериментально исследовано свободное затухание когерентного вихря квазидвумерной турбулентности. Обнаружено, что затухание происходит в три стадии. На первой стадии кинетическая энергия и энтропия быстро убывают, причём убывает и отношение энтропии к энергии. На второй стадии отношение энтропии к энергии стабилизируется и начинает медленно нарастать. Уменьшение энергии можно описать степенной зависимостью от времени $E(t) \sim t^{-1.6 \pm 0.05}$, а энтропии $Z(t) \sim t^{-1.33 \pm 0.05}$. На финальной стадии энергия и энтропия убывают экспоненциально $\sim e^{-0.04t}$ — с постоянной времени, которая определяется трением жидкости о дно.

- Визуализация явлений на поверхности сверхтекучего He-II легкими стеклянными трассерами, локализованными в тонком слое под поверхностью жидкости, позволила впервые наблюдать возникновение на поверхности сверхтекучей жидкости в вибрирующей ячейке вихревого течения и двумерных макроскопических вихрей, которые образуются в результате нелинейного взаимодействия между неколлинеарными фарадеевскими волнами. Установлено, что стоячие фарадеевские волны возбуждаются на поверхности He-II при вертикальных колебаниях ячейки с относительным переменным ускорением выше порога параметрической неустойчивости $\beta > \beta_c \approx 0.04$. Обнаружено, что при интенсивной волновой накачке на частоте в 40 Гц и длительной выдержке в течение ~ 270 сек зависимость кинетической энергии вихревой системы от волнового вектора $E(k)$ при $k \geq 4.5$ см⁻¹ можно описать степенным законом вида $E(k) \sim k^{-3}$, т.е. в системе макроскопических вихрей, порождаемых волнами на поверхности слоя He-II глубиной ~ 0.4 см в вибрирующей ячейке, со временем может сформироваться не только обратный, но и прямой турбулентный каскад.

Хоз. договор х/д 1204-18

Руководитель — к.ф.-м.н. Левченко А.А.

ОКР «Исследование кристалла CdZnTe в рамках наземной отработки космического эксперимента «ВАМПИР-Ф1»

Исследован кристалл CdZnTe выращенный в НИИСК им. В.П. Бармина в рамках наземной отработки международного космического эксперимента «ВАМПИР-Ф1», планируемого к постановке на МКС.

Энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализом установлено, что кристалл характеризуется однородностью состава по длине при незначительном радиальном распределении компонентов. С использованием методик селективного и полирующего химического травления определены формы и положения границ раздела (затравка/кристалл, кристалл/зона раствора и зона раствора/исходный слиток).

Полученные результаты будут использованы при разработке технологических режимов наземной отработки, а затем – и космического эксперимента.

Хоз. договор х/д 1211-18

Руководитель – д.т.н. Колесников Н.Н.

Научно-организационная деятельность ИФТТ РАН

В 2018 году Ученый совет ИФТТ РАН провел 30 заседаний, на которых обсуждались следующие вопросы:

Утверждение планов работы Ученого совета

Научные доклады в связи с направлением работ в печать

Научные доклады по основным направлениям научной деятельности института

Итоги аттестации аспирантов

Обсуждение и утверждение отчета по научно-исследовательской работе института за 2018 год

Обсуждение и утверждение отчетов по Программам Президиума РАН, Отделения физических наук РАН, по Программам Минобрнауки.

Обсуждение и утверждение результатов конкурса научно-исследовательских работ 2018 года

Отчет дирекции института по итогам 2017 года

Утверждение тем докторских и кандидатских диссертаций

Доклады по докторским и кандидатским диссертациям в связи с представлением к защите

Утверждение отзывов на диссертационные работы

Обсуждение результатов аттестации стажеров-исследователей и аспирантов

Проведение экспертизы готовности к защите докторских диссертаций.

Регулярно проводились заседания 10 семинаров по основным научным направлениям деятельности института.

В 2018 ряду сотрудников ИФТТ РАН были присуждены следующие награды:

Кведер Виталий Владимирович - Почетное звание «Заслуженный деятель науки Московской области»,

Карпов Михаил Иванович - Благодарность Губернатора Московской области,

Аристова Ирина Марковна - Благодарность Министерства инвестиций и инноваций Московской области,

Колесников Николай Николаевич - Благодарность Министерства инвестиций и инноваций Московской области,

Лохов Александр Васильевич - Благодарственное письмо Министерства инвестиций и инноваций Московской области

В 2018 году сотрудниками ИФТТ РАН защищены 3 диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «физика конденсированного состояния»:

Деменева Наталия Владимировна «Массоперенос и формирование микроструктуры высокотемпературных защитных покрытий токовых коллекторов твердооксидных топливных элементов»,

Кузьмин Алексей Васильевич «Структурные аспекты эффекта Яна-Теллера в кристаллах анионных комплексов фуллеренов и фталоцианинов»,

Федотов Юрий Сергеевич «Анализ процессов сопряженного переноса ионов и электронов в электродных системах твердооксидных топливных элементов» - кандидатская диссертация

В 2018 году состоялся первый выпуск магистратуры ИФТТ РАН. Пять выпускников магистратуры защитили магистерские диссертации по направлению подготовки

28.04.04 «Наносистемы и наноматериалы»:

Волков Никита Андреевич «Структура и свойства аморфных и нанокристаллических сплавов на основе Fe и Co»,

Есипова Ирина Евгеньевна «Структура и механические свойства композитов с металлической матрицей и силикатными волокнами на основе иттрия и иттербия»,

Крылова Александра Алексеевна «Структурные фазовые переходы в кристаллах фуллереновых молекулярных и анионных комплексов»,

Мусаева Мадина Рафаиловна «Дискретная волновая турбулентность в условиях цилиндрической геометрии на поверхности жидкого водорода»,

Цой Кристина Валерьевна «Смачивание границ зерен второй жидкой фазой в магниевом сплаве EZ33A»

В марте 2018 г. в ИФТТ РАН состоялось Расширенное заседание экспертного совета по научно-технологическому развитию и интеллектуальной собственности Государственной Думы Российской Федерации «Национальные технологические прорывы: взгляд научной молодежи». В дискуссии с молодыми учеными академических институтов приняли участие депутат Государственной думы Российской Федерации, куратор экспертного совета Владимир Кононов, заместитель министра образования и науки Российской Федерации Григорий Трубников, первый заместитель руководителя ФАНО России Алексей Медведев, а также представители Совета по науке при Минобрнауки России, Президиума Российской академии наук, Российского научного фонда. В работе форума также приняли участие молодые научные сотрудники из всех институтов Черноголовки.

Научно-образовательная деятельность ИФТТ РАН

ИФТТ РАН ведет активную работу в рамках интеграции РАН и высшего образования, а также с целью привлечения талантливой молодежи к научной работе и для подготовки молодых специалистов – кадров высшей категории в области физики твердого тела и физического материаловедения.

В ИФТТ РАН работали три базовые кафедры:

1) базовая кафедра МФТИ.

Ведущий ВУЗ - Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», в отношении которого установлена категория «Национальный исследовательский университет». 1.1 Кафедра физики твердого тела, зав. кафедрой член-корреспондент РАН В.В.Кведер, количество привлеченных научных сотрудников – 13, количество студентов, проходящих обучение – 23, направление подготовки – 010600.

1.2. Базовая кафедра «Физика конденсированных сред»

Ведущий ВУЗ: "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 12 спецкурсов, количество привлеченных научных сотрудников ИФТТ - 6, количество студентов, проходящих обучение – 7, количество аспирантов - 3.

2) Базовая кафедра «Высоких технологий и физических методов исследования материалов».

Ведущий вуз: Астраханский государственный университет. Количество привлеченных научных сотрудников – 4, количество студентов, проходящих обучение – 10.

При институте созданы и успешно функционируют шесть Научно-образовательных центров.

1. НОЦ «Водородная энергетика».

Руководитель – член-корреспондент РАН В.В. Кведер. НОЦ создан во исполнение решения Ученого совета ИФТТ РАН от 13 апреля 2009 года (протокол №7) и приказа по ИФТТ РАН от 22.04.2009 №46-1252. В составе НОЦ: 6 молодых кандидата наук (до 35 лет), 4 аспирантов и соискателей и 5 студентов.

2. НОЦ «Экситонная и плазменная поляритоника в полупроводниковых наноструктурах: фундаментально-научные основы, технология и приложения в технике»

Руководитель – академик В.Б. Тимофеев. НОЦ создан во исполнение решения Ученого совета ИФТТ РАН от 13 апреля 2009 года (протокол №7) и приказа по ИФТТ РАН от 24.04.2009 №48-1252. В составе НОЦ: 9 молодых кандидатов наук (до 35 лет), 4 аспирантов и 12 студентов.

3. НОЦ «Исследование сильных корреляций в электронном газе в твердых телах». Руководитель – д.ф.-м.н. В.Т. Долгополов. НОЦ создан во исполнение решения Ученого совета ИФТТ РАН от 13 апреля 2009 года (протокол №7) и приказа по ИФТТ РАН от 18.05.2009 №52-1252. В составе НОЦ: 5 молодых кандидатов наук (до 35 лет), 4 аспиранта и соискателя и 7 студентов.

4. НОЦ «Металлические наноматериалы: получение, структура, свойства»

Руководитель – проф. А.С. Аронин. НОЦ создан во исполнение решения Ученого совета ИФТТ РАН от 15 февраля 2010 года (протокол №2) и приказа по ИФТТ РАН от 12.03.2010 №14-1252. В составе НОЦ: 4 молодых кандидата наук (до 35 лет), 3 аспиранта и 5 студентов.

5. НОЦ «Получение и исследование кристаллических материалов с особыми структурой и свойствами». Руководитель – д.ф.-м.н. Б.Б. Страумал. НОЦ создан во исполнение решения Ученого совета ИФТТ РАН от 13 апреля 2009 года (протокол №7) и приказа по ИФТТ РАН от 18.05.2009 №49-1252. В составе НОЦ: 2 молодых кандидата наук (до 35 лет), 4 аспирантов и соискателей и 5 студентов.

6. НОЦ «Жаропрочные материалы»

Руководитель – член-корреспондент РАН М.И. Карпов. НОЦ создан во исполнение решения Ученого совета ИФТТ РАН от 15 февраля 2010 года (протокол №2) и приказа по ИФТТ РАН от 12.03.2010 №15-1252. В составе НОЦ: 2 молодых кандидата наук (до 35 лет), 3 аспиранта и 3 студента.

В Институте успешно работает Совет молодых ученых. Председатель Совета молодых ученых и специалистов – Орлова Надежда Николаевна, старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук.

В 2018 году молодому научному сотруднику ИФТТ РАН Шуравину Никите Сергеевичу была присуждена стипендия имени Ю.А. Осипьяна за работу «Обработка и анализ результатов космического эксперимента ОАСИС»

Инновационная и выставочная деятельность

Инновационно-патентная и выставочная деятельность в 2018 году

Получено патентов РФ 5:

На изобретение РФ 3:

1. № 2652204 «Способ выращивания кристаллов фуллерена C60», авторов: Баженов А.В., Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., Левченко А.А., приоритет: 05.07.17, зарегистрирован: 25.04.18
2. №2661074 «Способ изготовления смесей для калибровки газоаналитического оборудования с использованием твердотельного электролизера», авторов: Колотыгин В.А., Носкова В.А., Хартон В.В., Бредихин С.И., приоритет: 17.07.17, зарегистрирован: 11.07.18
3. №2663146 «Материал шпонки для высокотемпературных применений», авторов: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 19.09.17, зарегистрирован: 1.08.18

На полезную модель 2:

1. №179208 «Батарея ТОТЭ планарной геометрии с керамическими вкладышами», авторов: Бредихин С.И., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., Голодницкий А.Э., приоритет: 21.11.17, зарегистрирован: 04.05.18
2. №181963 «Устройство для низкотемпературного поверхностного легирования», авторы: Колыванов Е.Л., Кобелев Н.П., Классен Е.Н., Классен Н.В., Мышляев М.М., Клубович В.В., Кулак М.М., приоритет: 16.02.18, зарегистрирован: 30.07.18

Подано 6 заявок на получение патентов

на изобретения РФ 4:

1. №2018105861 «Способ низкотемпературного поверхностного легирования», авторы: Колыванов Е.Л., Кобелев Н.П., Классен Е.Н., Классен Н.В., Мышляев М.М., Клубович В.В., Кулак М.М., приоритет: 16.02.18
2. №2018113391 «Электрод для дуговой плавки металла», авторы: Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., приоритет: 12.04.18
3. №2018113881 «Способ герметичного соединения изделий из графита», автор: Брантов С.К., приоритет: 16.04.18
4. №2018135338 «Способ внутриволновой терагерцовой интерферометрии и сапфировая ячейка для его реализации», авторы: Катыба Г.М., Курлов В.Н., Шикунова И.А., Долганова И.Н., приоритет: 5.10.18

на полезную модель 2:

1. №2018105860 «Устройство для низкотемпературного поверхностного легирования», авторы: Колыванов Е.Л., Кобелев Н.П., Классен Е.Н., Классен Н.В., Мышляев М.М., Клубович В.В., Кулак М.М., приоритет: 16.02.18
2. №2018135318 «Сапфировая ячейка для внутриволноводной терагерцовой спектроскопии», приоритет: 5.10.18

Получено положительных решений по заявкам 5:

на изобретения РФ 3:

1. №2017140545 «Батарея ТОТЭ планарной геометрии с керамическими вкладышами», авторы: Бредихин С.И., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., Голодницкий А.Э., приоритет: 21.11.17, положительное решение: 26.01.18
2. № 2017123478 «Способ выращивания кристаллов фуллерена C₆₀», авторы: Баженов А.В., Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., Левченко А.А., приоритет: 05.07.17, положительное решение: 27.03.18
3. №2017132812 «Материал шпонки для высокотемпературных применений», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 19.09.17, положительное решение: 27.06.18

на полезную модель 2:

1. №2017140545 «Батарея ТОТЭ планарной геометрии с керамическими вкладышами», авторы: Бредихин С.И., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., Голодницкий А.Э., приоритет: 21.11.17, положительное решение: 26.01.18
2. №2018105860 «Устройство для низкотемпературного поверхностного легирования», авторы: Колыванов Е.Л., Кобелев Н.П., Классен Е.Н., Классен Н.В., Мышляев М.М., Клубович В.В., Кулак М.М., приоритет: 16.02.18, положительное решение: 25.06.18

Список патентов, поддерживаемых в силе в 2018 году:

1. Свидетельство на товарный знак №64336, получен: 14.04.1978 г.
2. №2485217 «Способ получения монокристаллов теллурида галлия (II)», авторы: Колесников Н.Н., Борисенко Д.Н., Борисенко Е.Б., приоритет: 29.03.12, зарегистрирован: 20.06.13
3. №2485218 «Способ получения кристаллов вольфрамата натрия-висмута», авторы: Редькин Б.С., Колесников Н.Н., Борисенко Д.Н., приоритет: 29.03.12, зарегистрирован: 20.06.13
4. №2504801 «Устройство для визуализации электрических полей СВЧ в пространстве», авторы: Карпов И.А., Шу Э.Д., Мерзляков Г.В., Трунин М.Р., приоритет: 13.06.12, зарегистрирован: 20.01.14
5. №2510248 «Способ удаления опухолей мозга с выделением границ опухоли флуоресцентной диагностикой с одновременной лазерной коагуляцией и аспирацией и устройство для его осуществления», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Киселев А.М., Есин И.В., приоритет: 23.04.12, зарегистрирован: 27.03.14

6. №2519094 «Способ эксфолиации слоистых кристаллических материалов», авторы: Орлов В.И., Колесников Н.Н., Борисенко Е.Б., Борисенко Д.Н., приоритет: 12.02.13, зарегистрирован: 14.04.14
7. №2520480 «Способ получения слоев карбида кремния», автор: Брантов С.К. приоритет: 12.02.13, зарегистрирован: 25.04.14
8. №2521581 «Способ получения наноалмазов при пиролизе метана в электрическом поле», автор: Брантов С.К. приоритет: 03.08.12, зарегистрирован: 06.05.14
9. №2536327 «Генератор субтерагерцового и терагерцового излучения на основе оптического транзистора», автор: Соловьев В.В., приоритет: 12.03.13, зарегистрирован: 22.10.14
10. **ПМ** №138570 «Устройство ввода излучения в сапфировое волокно», авторы: Стрюков Д.О., Шикунова И.А., Курлов В.Н., приоритет: 03.11.13, зарегистрирован: 19.02.14
11. **ПМ** №144220 «Устройство для преобразования ионизирующих излучений в электрическую энергию», авторы: Ершов А.Е., Классен Н.В., Курлов В.Н., приоритет: 11.02.14, зарегистрирован: 09.07.14
12. **ПМ** №144472 «Высокотемпературный терморезистор», авторы: Брантов С.К., Ефремов В.С., приоритет: 01.04.14, зарегистрирован: 18.07.14
13. №2540668 «Способ получения пластин на основе карбида кремния», автор: Брантов С.К., приоритет: 11.12.13, зарегистрирован: 22.12.14
14. №2544940 «Люминесцентное литий-боратное стекло», авторы: Редькин Б.С., Синицын В.В., Колесников Н.Н., приоритет: 04.02.14, зарегистрирован: 16.02.15
15. №2547758 «Ампула для выращивания кристаллов в условиях микрогравитации», авторы: Левченко А.А., Колесников Н.Н., Борисенко Д.Н., приоритет: 13.02.14, зарегистрирован: 16.03.15
16. №2552436 «Устройство для выращивания из расплава тугоплавких волокон со стабилизацией их диаметра», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Стрюков Д.О., приоритет: 21.02.14, зарегистрирован: 06.05.15
17. №2568815 «Способ изготовления контактного электродного материала с контролируемой пористостью для батарей твердооксидных топливных элементов», авторы: Деменева Н.В., Бредихин С.И., Иванов А.И., Матвеев Д.В., Хартон В.В., приоритет: 28.10.14, зарегистрирован: 22.10.15
18. **ПМ** №153513 «Устройство для формирования сверхдлинных цепочек», авторы: Классен Н.В., Курлов В.Н., Провоторов П.В., Солодовников В.В., Ершов А.Е., приоритет: 24.12.14, зарегистрирован: 26.06.15
19. **ПМ** №154180 «Устройство прямого преобразования ионизирующих излучений в электричество», авторы: Классен Н.В., Провоторов П.В., Ершов А.Е., приоритет: 24.12.14, зарегистрирован: 21.07.15
20. **ПМ** №155461 «Устройство для непрерывного выращивания кристаллических слоев кремния», автор: Брантов С.К., приоритет: 17.03.15, зарегистрирован: 15.09.15
21. **ПМ** №157575 «Батарея ТОТЭ планарной геометрии», авторы: Агарков Д.А., Бредихин С.И., Бурмистров И.Н., Деменева Н.В., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., Хартон В.В., приоритет: 05.05.15, зарегистрирован: 13.11.15
22. №2572245 «Холодный катод», авторы: Левченко А.А., Котов Ю.В., Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., приоритет: 22.10.2014, зарегистрирован: 07.12.15
23. №2573146 «Композиция углеродной заготовки для получения Si/C/Si керамики и способ получения Si/C/Si изделий», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Шикунов С.Л., приоритет: 24.12.14, зарегистрирован: 17.12.15
24. **ПМ** №160313 «Гребенка термопар для измерения поля температур газового потока», авторы: Курлов В.Н., Шикунов С.Л., Ершов А.Е., Шикунова И.А.,

- Сурмин Н.В., Тихомирова Е.В., Гришихин С.А., Тихонов Е.Г., Белякова Т.Б., приоритет: 03.06.15, зарегистрирован: 17.02.16
25. №2576439 «Способ изготовления высокотемпературного фильтрующего материала для агрессивных жидкостей и газов», автор: Брантов С.К., приоритет: 03.02.15, зарегистрирован: 05.02.16
26. **ПМ** №161074 «Сцинтилляционный детектор на основе галогенидов редкоземельных металлов», авторы: Орлов А.Д., Классен Н.В., Кедров В.В., Шмурак С.З., Гасанов А.А., Чувилина Е.Л., приоритет: 16.12.15, зарегистрирован: 18.03.16
27. **ПМ** №161095 «Мембранно-электродный блок ТОТЭ», авторы: Агарков Д.А., Бредихин С.И., Бурмистров И.Н., Кведер В.В., Цыбров Ф.М., приоритет: 17.09.15, зарегистрирован: 21.03.16
28. №2583967 «Фотохромное люминесцентное стекло», авторы: Редькин Б.С., Сеницын В.В., Колесников Н.Н., Орлов В.И., приоритет: 05.05.15, зарегистрирован: 15.04.16
29. №2585634 «Способ увеличения размеров алмазов», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 06.07.15, зарегистрирован: 06.05.16
30. №2588534 «Трещиностойкие волокнистые керамические композиты», авторы: Милейко С.Т., Колчин А.А., Кийко В.М., Толстун А.Н., Новохатская Н.И., приоритет: 12.02.15, зарегистрирован: 06.06.16
31. №2601049 «Способ нанесения газоплотного покрытия из карбида кремния», авторы: Курлов В.Н., Шikuнова И.А., Шikuнов С.Л., Ершов А.Е., приоритет: 29.04.15, зарегистрирован: 06.10.16
32. № 2601335 «Способ нанесения массивов углеродных нанотрубок на металлические подложки», авторы: Борисенко Д.Н., Гартман В.К., Колесников Н.Н., Левченко А.А., приоритет: 06.07.15, зарегистрирован: 10.10.16
33. №2601770 «Сапфировый терагерцовый фотонно-кристаллический волновод», авторы: Курлов В.Н., Шikuнова И.А., Зайцев К.И., Юрченко С.О., Карасик В.Е., приоритет: 28.10.15, зарегистрирован: 14.10.16
34. **ПМ** №165785 «Устройство для исследования электрохимических и оптических характеристик ТОТЭ», авторы: Агарков Д.А., Бредихин С.И., Бурмистров И.Н., Тартаковский И.И., Цыбров Ф.М., приоритет: 17.09.15, зарегистрирован: 14.10.16
35. **ПМ** №165789 «Высокотемпературный термозонд для измерений в газовом потоке», авторы: Курлов В.Н., Шikuнова И.А., Шikuнов С.Л., Ершов А.Е., приоритет: 29.03.16, зарегистрирован: 14.10.16
36. **ПМ** №166734 «Устройство для получения термически расщепленного графита», автор: Брантов С.К., приоритет: 01.02.16, зарегистрирован: 18.11.16
37. №2613057 «Неорганический монокристаллический сцинтиллятор», авторы: Орлов А.Д., Классен Н.В., Кедров В.В., Шмурак С.З., Гасанов А.А., Чувилина Е.Л., приоритет: 09.12.15, зарегистрирован: 15.03.17
38. №2617105 «Способ изготовления изделия с фильтром для агрессивных жидкостей и газов», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., Тимонина А.В., приоритет: 06.06.16, зарегистрирован: 20.04.17
39. №2617114 «Состав электрода накопителя электроэнергии», автор: Брантов С.К., приоритет: 14.03.16, зарегистрирован: 21.04.17
40. №2617133 «Способ получения опорных плит для обжига керамических изделий», автор: Брантов С.К., приоритет: 28.03.16, зарегистрирован: 21.04.17
41. № 2620688 «Способ получения нагревателей сопротивления на основе углеродкарбидокремниевого материала», автор: Бранов С.К., приоритет: 25.04.2016, зарегистрирован: 29.05.17

42. №2622985 «Устройство квантовой криптографии (варианты)», авторы: Балыгин К.А., Кравцов К.С., Кулик С.П., Молотков С.Н., Радченко И.В., Климов А.Н., Климов А.И., приоритет: 09.12.15, зарегистрирован: 21.06.17
43. №2623414 «Способ получения сульфида галлия (II)», авторов: Колесников Н.Н., Борисенко Д.Н., Борисенко Е.Б., Тимонина А.В., приоритет: 14.11.16, зарегистрирован: 26.06.17
44. №2626220 «Модулятор электромагнитного излучения субтерагерцового и терагерцового диапазона для систем высокоскоростной беспроводной связи», авторы: Кукушкин И.В., Соболев А.С., Соловьев В.В., Фортунатов А.А., Цыдынжапов Г.Э., приоритет: 24.10.16, зарегистрирован: 24.07.17
45. №2630216 «Катодный материал для ТОТЭ на основе купрата празеодима», авторы: Лысков Н.В., Бредихин С.И., Колчина Л.М., Мазо Г.Н., Антипов Е.В., приоритет: 04.04.16, зарегистрирован: 06.09.17
46. № 2631372 «Способ получения кремниевых мишеней для магнетронного распыления», Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 04.04.16, зарегистрирован: 21.09.17
47. **ПМ** №174676 «Теплопроводящая прокладка для охлаждения изделий электроники», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 20.02.17, зарегистрирован: 25.10.17
48. № 2652204 «Способ выращивания кристаллов фуллерена C60», авторов: Баженов А.В., Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., Левченко А.А., приоритет: 05.07.17, зарегистрирован: 25.04.18
49. №2661074 «Способ изготовления смесей для калибровки газоаналитического оборудования с использованием твердотельного электролизера», авторов: Колотыгин В.А., Носкова В.А., Хартон В.В., Бредихин С.И., приоритет: 17.07.17, зарегистрирован: 11.07.18
50. №2663146 «Материал шпонки для высокотемпературных применений», авторов: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 19.09.17, зарегистрирован: 1.08.18
51. **ПМ** №179208 «Батарея ТОТЭ планарной геометрии с керамическими вкладышами», авторов: Бредихин С.И., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., Голодницкий А.Э., приоритет: 21.11.17, зарегистрирован: 04.05.18
52. **ПМ** №181963 «Устройство для низкотемпературного поверхностного легирования», авторы: Колыванов Е.Л., Кобелев Н.П., Классен Е.Н., Классен Н.В., Мышляев М.М., Клубович В.В., Кулак М.М., приоритет: 16.02.18, зарегистрирован: 30.07.18

Инновационно-выставочная деятельность в 2018г.

1. 13-ая Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики 2018» (27.02.2018г. – 02.03.2018г.), г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
2. 11-ая Международная научно-практическая конференции «Современное состояние и перспективы развития производства и применения композитных материалов в России», проводимая в рамках выставки «Композит-экспо-2018» (27.02.2018г. – 01.03.2018г.), г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
3. XXI Московский Международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед-2018» (05.04.2018г. – 08.04.2018г.), г. Москва, ВВЦ «Сокольники».
4. 21-ая Международная выставка «ЭкспоЭлектроника-2018» (17.04.2018г. – 19.04.2018г.), г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
5. 4-ая Международная специализированная выставка «Импортозамещение-2018» (11.09.2018г. – 13.09.2018г.), г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».

6. 21-ая Международная выставка химической промышленности и науки (28.10.2018г. – 02.11.2018г.), г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
7. Конференция «Эффективная система управления результатами интеллектуальной деятельности (РИД) для научных и учебных заведений», организованная в рамках Всемирной организации интеллектуальной собственности и Национальной ассоциации трансфера технологий (WIPO) (13.11.2018г.-14.11.2018г.), г. Москва, МГУ.
8. Субрегиональный семинар «Преподавание интеллектуальной собственности» (16.11.2018г.), г. Москва, РГИС.

Награды за инновационную деятельность (на выставках, форумах, салонах инноваций и инвестиций, конференциях и т.д.) за 2018 год:

1. Диплом ИФТТ РАН за участие в 13-й Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики 2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
2. Диплом ИФТТ РАН за представленную разработку «Высокоэффективные зонные оптические УФ фильтры на основе бикристаллов $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O / K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ », представленную на 13-й Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики 2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
3. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Терагерцовая внутриволноводная спектроскопия и интерферометрия с использованием сапфирового фотонно-кристаллического волновода», представленную на 13-й Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики 2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
4. Диплом и Серебряная Медаль ИФТТ РАН за разработку «Неорганический монокристаллический сцинтиллятор», представленную на XXI Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2018», г. Москва, КВЦ «Сокольники».
5. Диплом и Золотая Медаль ИФТТ РАН за разработку «Модулятор электромагнитного излучения субтерагерцового и терагерцового диапазона для систем высокоскоростной беспроводной связи», представленную на XXI Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2018», г. Москва, КВЦ «Сокольники».
6. Диплом почтения и благодарности Институту за активное участие в оформлении и проведении Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед-2018», г. Москва, КВЦ «Сокольники».
7. Диплом ИФТТ РАН за перспективную разработку «Экспериментальный образец энергетической установки на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) мощностью 2 кВт», представленную на 21-й Международной выставке электронных компонентов модулей и комплектующих «ЭкспоЭлектроника», г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
8. Диплом ИФТТ РАН за перспективную разработку «Масштабируемая магнитная память для сверхпроводящей электроники на основе слабоферромагнитного сплава PdF», представленную на 21-й Международной выставке электронных компонентов модулей и комплектующих «ЭкспоЭлектроника», г. Москва, МВЦ, «Крокус Экспо».

9. Диплом ИФТТ РАН за участие в 4-ой Международной специализированной выставке «Импортозамещение-2018», г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
10. Диплом участнику выставки ИФТТ РАН за разработку «Многоканальный профилированный сапфир для оптики, биофотоники и медицины», представленную на 4-ой Международная специализированная выставке «Импортозамещение-2018», г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
11. Диплом участнику выставки ИФТТ РАН за разработку «Новый способ синтеза нанокристаллов кубического углерода C_8 », представленную на 4-ой Международной специализированной выставке «Импортозамещение-2018», г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
12. Диплом ИФТТ РАН за участие в 21-й Международной выставке «Химия-2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
13. Диплом ИФТТ РАН за представленную разработку «Разработка электрохимически активных материалов для электродных систем среднетемпературных твердооксидных топливных элементов», представленную на 21-й Международной выставке «Химия-2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
14. Диплом ИФТТ РАН за представленную разработку «Разработка способа изготовления поверочных смесей для газоаналитического оборудования с использованием твердотельного электролизера», представленную на 21-й Международной выставке «Химия-2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
15. Диплом ИФТТ РАН за представленную разработку «Разработка новых высокотемпературных стеклокерамических герметиков на основе $SrMAl_2SiO_7$ ($M=Sr, Ca$) для электрохимических преобразователей энергии», представленную на 21-й Международной выставке «Химия-2018», октябрь-ноябрь 2018г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
16. Диплом Иванову А.И. - финалисту XII Конкурса проектов молодых ученых в рамках 21-й Международной выставки химической промышленности и науки «Химия-2018», г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
17. Сертификат выдан Карповой И.А. за участие в Субрегиональном семинаре «Преподавание интеллектуальной собственности», г. Москва, РГИС.
18. Диплом Лауреата «Премии ВОИР-2018» Курлову В.Н., Шикуновой И.А. за проект «Способ удаления опухолей мозга с выделением границ опухоли флуоресцентной диагностикой с одновременной лазерной коагуляцией и аспирацией и устройство для его осуществления».

Сведения по международной деятельности ИФТТ РАН за 2018 г.

1. Перечень тем двустороннего сотрудничества в рамках соглашений между Российской академией наук и научными учреждениями зарубежных стран, в которых участвует Институт

Страна	Наименование темы научной работы в рамках безвалютного обмена	Срок командировки в чел/дн.	Период действия соглашения
0	0	0	0

2. Перечень тем двустороннего сотрудничества в рамках прямых связей между Институтом и научными учреждениями зарубежных стран

Страна	Наименование темы сотрудничества	Срок командировки в дн.	Период действия соглашения
КНР	Договор «Соглашение о сотрудничестве в области научно-исследовательской деятельности» с Харбинским судостроительным инженерно-техническим институтом	0	2014-2019
Украина	Договор о сотрудничестве в проведении совместных исследований в области новых, в том числе нанокристаллических, материалов с ДонФТИ НАНУ (г. Донецк)	0	2011-2021
Украина	Договор о сотрудничестве в проведении совместных исследований в области новых, нанокристаллических материалов с Приазовским государственным техническим университетом	0	2012-2021

	г. Мариуполь		
Азербайджан	Договор о научном сотрудничестве с Институтом физики НАНА «Экспериментальные исследования особенностей электронной системы в слоистых полупроводниках и сверхпроводниках, а также в низкоразмерных структурах на их основе»	5	2016-2018
Польша	Договор о научном сотрудничестве с Институтом физической химии ПАН по теме «Взаимодействие водорода с металлами и сплавами при высоких давлениях»	0	2015-2018
Германия	Меморандум о намерениях с Университетом г. Вюрцбург о научном сотрудничестве по теме «Разработка полупроводниковых наноструктур и микрорезонаторов»	4	2015-2018
Германия	Соглашение о научном сотрудничестве с Европейским обществом “European X-Ray Free Electron Lazer (XFEL) GmbH” в области актуальных проблем физики твердого тела и физического материаловедения (метаматериалы, наноматериалы) с целью разработки нового поколения электронных и оптоэлектронных устройств; исследования обменных реакций ультрабыстрых лигандов с использованием комбинированного фемтосекундного рентгеновского рассеяния и эмиссионной спектроскопии.	0	2017-2022
Германия	Договор о научном сотрудничестве в	0	2017-2022

	<p>области исследований актуальных проблем физики конденсированного состояния с</p> <p>Petra III при немецком электронном синхротроне DESY</p> <p>Исследовательского Центра Ассоциации Гельмгольца в Гамбурге</p>		
Германия	<p>Меморандум о намерениях по научной кооперации в области исследования электронных свойств сильно коррелированных металлов и полупроводников с Институтом Вальтера Мейсснера Баварской академии наук</p>	35	2017-2020
Франция	<p>Договор сотрудничества в совместном руководстве подготовкой кандидатской диссертации с Университетом Пьера и Марии Кюри, Париж VI, по теме «Атомарно-тонкие сверхпроводящие пленки для перспективных квантовых устройств»</p>	0	2016-2019
США	<p>Некоммерческий Договор Пользователя № NN-16-0972 с Компанией UT-BATTELLE, LLC, осуществляющей хозяйственное и оперативное управление Окриджской национальной лабораторией</p> <p>«Исследование гидрида α-MnH_{0.07} методом неупругого рассеяния нейтронов»</p>	0	2016-2021
Египет	<p>Договор о сотрудничестве с Университетом Каира в области научно-образовательных программ по физике твердого тела, обмена учеными и студентами, проведения</p>	0	2017-2020

	исследований по совместным проектам.		
Германия	Письмо-Соглашение с Институтом химии Макса Планка, Майнц, о сотрудничестве по актуальным проблемам физики конденсированного состояния, включая физику высоких давлений и сверхпроводимости и физическое материаловедение: новые материалы и структуры, включая водород-обогащенные материалы.	0	2018-2019
Германия	Меморандум о намерениях по научной кооперации в изучении роста кристаллов полупроводниковых материалов в условиях микрогравитации (с учетом интереса сторон к выращиванию таких кристаллов на международной космической станции) с акционерным обществом OHV System, Вейсслинг, Германия	0	2018-2023
Германия	Меморандум о намерениях в научной кооперации по разработке полупроводниковых структур и микрорезонаторов (технология и оптические исследования полупроводниковых квантовых структур, микрорезонаторов и фотонных кристаллов) с факультетом технической физики Университета г.Вюрцбург,	0	2019-2023
Франция	Договор с фирмой L'Oreal, (France) о предоставлении услуг в области синтеза материалов, которые могут	0	2018-2021

	быть использованы в косметической и/или дерматологической продукции		
Германия	Международный проект №16-42-01050 «Неравновесные явления и взаимодействия в ультратонких III-V нанопроводах»	0	2016-2018

3.Участие в международных конференциях за рубежом

Страна	Название конференции	Даты конференции	Чис-ло деле-гатов	Финансовые условия (ПС-за счет принимающей стороны, РАН – из средств Программ РАН, РНФ-грант Российского научного фонда, Х/Д-средства хоздоговора
Австрия	21-й Международный семинар по низкотемпературной физике и сверхпроводимости	17.02-23.03	1	Х/Д
Япония	The International Workshop on Electrons and Ions in Quantum Fluids and Solids	11.03-14.03	1	ПС
Франция	Международная конференция «SPIE Photonics Europe 2018»	21.04-25.04	2	ПС
Белоруссия	Международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности»	14.05-18.05	1	ПС
Великобритания	16-th European Powder Diffraction Conference 2018 (EPDIC-2018)	01.07-08.07	1	РАН
Украина	Международная конференция профессионалов и молодых ученых «Низкотемпературная физики»	01.06-11.06	1	Х/Д
Чехия	Международная конференция	25.06-28.06	1	ПС

	“Mossbauer Spectroscopy in Materias Science Conference”, MSMS2018			
Испания	International Conference on Magnetism & Spintronics, SOL-SKY-MAG-2018	18.06-22.06	1	РАН
Италия	Международная кристаллографическая школа	31.05-11.06	1	Х/Д, ПС
Италия	14 th International Ceramics Congress of CIMTEC 2018	04.06-08.06	1	РНФ
КНР	Международная конференция «Интеграция производства, образования, инновации и их реализации»	14.06-19.06	2	ПС
Белоруссия	26-й Международный симпозиум «Nanostructures: Physics and Technology»	18.06-22.06	1	РАН
Польша	12 th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals	26.08-31.08	2	Х/Д, ПС
Болгария	6-я Европейская конференция по росту кристаллов ECCG6	16.09-20.09	1	Х/Д
КНР	XIV International Conference on Nanostructured Materials (Nano 2018)	23.06-30.06	1	РАН
Греция	Европейская конференция по композитным материалам ECCM-18	24.06-29.06	1	РНФ
Франция	International Conference on PROCESSING&MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS? THERMEC'2018	09.07-13.07	2	РНФ
Португалия	VI-я Международная конференция «INTEGRITY-RELIABILITY-FALURE»	22.07-26.07	1	РНФ
Италия	Advanced School and Workshop on Correlations in Electron Systems – from Quantum Criticality to Topology	06.08-17.08	1	ПС
Португалия	International Conference on	16.07-18.07	1	РАН

	Nanomaterials and Mechanical Engineering			
Португалия	11 International conference on Advanced Nano Materials	18.07-20.07	1	РАН
Япония	27-я Международная конференция «Liquid Crystal Conference», ILCC2018	22.07-27.07	3	РНФ
Канада	9-я Международная конференция «Spontaneous Coherence in Exitonic Systems», ICSCE9	16.07-20.07	1	РНФ
Франция	34-я Международная конференция по физике полупроводников , ICP-2018	29.07-03.08	3	РНФ
Армения	Международная конференция по новым трендам в квантовой и мезоскопической физике, NTQMP-2018	27.06-03.07	1	РНФ
Франция	23-я Международная конференция по физике полупроводников в сильных магнитных полях	22.07-27.07	1	РНФ
КНР	16-я Азиатская конференция «ASSI» по ионике твердых тел	05.08-09.08	2	РНФ
Азербайджан	Международная конференция и школа «Современные тенденции в физике конденсированного состояния»	23.09-27.07	1	ЦФ
Италия	Международная конференция «Tunneling Through Nanoscience, TTN2018»	17.10-20.10	1	Х/Д
Греция	Международный семинар «From ReRAM and Memristors to New Computing Paradigms»	26.10-04.11	1	Х/Д
КНР	16-й Международный симпозиум по системам металл-водород (MH2018)	29.10-02.11	1	Х/Д

4.Международные мероприятия, которые проводились в Институте или при участии Института

Наименование мероприятия	Даты проведения
Пятая Всероссийская конференция с международным участием "Топливные элементы и энергоустановки на их основе"	17.06-22.06 Суздаль
XII Всероссийская конференция с международным участием "Кремний-2018"	22.10-28.10 Черноголовка
X Международная конференция памяти академика Г.В.Курдюмова "Фазовые превращения и прочность кристаллов"	29.10-02.11 Черноголовка

5.Стажировки и прием иностранных ученых

Стажировки российских ученых (кол-во)	Стажировки зарубежных ученых (кол-во)	Принято иностранных ученых (кол-во)
1	0	8

6. Сведения об избрании академиков и членов-корреспондентов, работающих в Институте, иностранными членами академий наук, почетными докторами университетов, научных обществ зарубежных стран, а также о награждении их международными премиями, орденами и медалями.

Фамилия И.О. действительного члена или члена-корреспондента РАН	Страна	Полное наименование учреждения, избравшего члена РАН своим иностранным членом или представившего члена РАН к награде	Полученная позиция в международной/иностранной организации или наименование премии, ордена, медали и др.
-			

7. Дополнительные сведения.

7.1.Количество зарубежных командировок сотрудников института – 71

из них за счет принимающей стороны – 19,

частично за счет принимающей стороны – 9

7.2.Количество зарубежных командировок директора института, оформленных в ИФТТ РАН (общая продолжительность в днях) – 1 (5)

Справка по штатному состоянию на 31 декабря 2018 г.

Количество сотрудников	2017 год	2018 год
Сотрудники ИФТТ	504	507
Совместители	60	44
в том числе научные сотрудники	33	15
Научные сотрудники	211	214
в том числе:		
доктора наук	54	49
кандидаты наук	115	117
Молодые специалисты, принятые в ИФТТ	1	-

Финансовая справка на 25 декабря 2018 года в тыс. руб.

Доходы 12 мес, всего (тыс.руб)	557 182.00	100.0%
Госзадание+магистратура	316 708.00	56.9%
Программы РАН	10 760.00	1.9%
Целевые ФАНО	7 894.00	1.4%
РФФИ+РФФИ мособл	50 570.00	9.1%
Миннаука (судсидия на грант)	600.00	0.1%
РНФ	98 500.00	17.7%
хоздоговора	59 750.00	10.7%
международные контракты	6 957.00	1.2%
коммерческая деятельность	2 325.00	0.4%
аренда	3 118.00	0.6%
Расходы 11 мес, всего	500 965.00	100.0%
зарплата	272 581.00	54.5%
начисления на зарплату	77 301.00	15.4%
выплаты из ФМП	2 478.00	0.5%
коммунальные платежи	23 713.00	4.7%
научная работа(материалы, приборы)	94 622.00	18.9%
Прочие расходы(канцелярия, связь)	29 098.00	5.8%

Оборудование	1 172.00	0.2%
--------------	----------	------