

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**ОТЧЕТ**  
**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И НАУЧНО-**  
**ОРГАНИЗАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЗА 2017 ГОД**

**Директор ИФТТ РАН**  
**д.ф.-м.н.**

**Левченко А.А.**

**Ученый секретарь ИФТТ РАН**  
**д.ф.-м.н.**

**Абросимова Г.Е.**

Содержание	стр.
Характеристика научной деятельности ИФТТ РАН в 2017 году	3
Научные результаты, полученные в рамках выполнения Госзадания	3
Научные и научно-технологические разработки, финансируемые за счет внебюджетных источников	31
Гранты молодых ученых	31
Результаты, полученные при выполнении грантов РФФ	32
Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ	41
Результаты, полученные при выполнении хоз.договоров	69
Характеристика научно-организационной деятельности ИФТТ РАН в 2017 году	75
Научно-образовательная деятельность	77
Выставочная и инновационная деятельность	78
Патентно-инновационная деятельность	78
Сведения по международной деятельности	86
Справка по штатному состоянию на 1 декабря 2017 г.	91
Финансовая справка на 1 декабря 2017 г.	91

## Характеристика научной деятельности ИФТТ РАН в 2017 году

В течение 2017 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 2017 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 – 11 программ;
- Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) и региональные РФФИ – 67 проектов;
- грант Президента РФ «Поддержка молодых ученых» - 1;
- грант Правительства Московской области в сфере науки, технологии, техники и инноваций - 1;
- РНФ – 11 проектов;
- РФФИ – Италия – 1 проект;
- контракты и договоры на выполнение НИР - 16 проектов;
- международные контракты – 3.

По результатам исследований научными сотрудниками Института в 2017 году на заседаниях Ученого совета был сделан 81 научный доклад. Всего в 2017 году сотрудники института опубликовали 2 монографии и 282 статьи в реферируемых журналах (75 в Российских, остальные – в иностранных журналах) и сделали 313 докладов на конференциях (в том числе около 230 - 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 2017 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 емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) и измерения тока, наведенного лазерным излучением (LBIC), экспериментально исследовано взаимодействие атомов хрома с ростовыми вакансионными дефектами в кремнии. Обнаружено, что после диффузии атомов хрома в образцы FZ-Si, содержащих комплексы электрически неактивных ростовых вакансионных дефектов с атомами

азота, скорость электрон-дырочной рекомбинации резко увеличивается в полосах роста, содержащих эти вакансионные дефекты. В спектрах DLTS, измеренных в этих областях повышенной скорости рекомбинации, обнаружены некоторые новые пики, амплитуда которых коррелирует со скоростью электрон-дырочной рекомбинации. Результаты объясняются в предположении, что ростовые вакансионные дефекты служат центрами зарождения преципитатов хрома. Размер и плотность преципитатов сильно зависят от скорости охлаждения образца после диффузии хрома. Обнаружено, что в образцах закаленных в жидкий азот после диффузии хрома, скорость рекомбинации заметно увеличивается после выдержки образцов при комнатной температуре в течение 80 дней, что говорит о диффузии хрома и реакциях в системе дефектов даже при комнатной температуре.

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

Проведено сравнение структуры и электрофизических характеристик керамического и монокристаллического твердого раствора состава  $10\text{Sc}1\text{YSZ}$ , обладающего наиболее высокой кислород-ионной проводимостью среди материалов на основе диоксида циркония, солегированных оксидами скандия и иттрия. Показано, что в процессе длительной термической обработки в объеме материала происходит увеличение смещения атомов кислорода в анионной подрешетке вдоль оси  $C$ . Это приводит к изменению структуры исходной  $t''$ -фазы к более тетрагональной фазе. В керамическом материале после ресурсных испытаний отмечено также появление ромбоэдрической фазы предположительно по границам зерен. Разная скорость деградации проводимости в монокристалле и в керамическом образце может быть связана с тем, что изменение структуры  $t''$ -фазы к фазе с большей степенью тетрагональности процесс более длительный, чем изменения, происходящие по границам зерен, связанные с появлением ромбоэдрической фазы.

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

Установлено, что введение пиридиновых и хинолиновых фрагментов в молекулу 2-дифенилтиофосфорилацетамида приводит к повышению на 2-3 порядка комплексообразующей способности  $N$ -замещенных тиофосфорилацетамидов по отношению к ионам палладия. Сорбционный материал на основе 2-(дифенилтиофосфорил)- $N$ -(пиридинилметил)ацетамида количественно и селективно извлекает палладий из солянокислых растворов, получаемых при переработке отработанных палладий-содержащих катализаторов.

Руководитель – д.х.н. А.Н. Туранов

Исследована тонкая структура полос длинноволновой части дислокационной люминесценции (ДЛ) в кремнии, содержащим донорные и акцепторные примеси различной химической природы и концентрации. Независимо от вида доноров (исследовались фосфор и висмут) превышение их концентрации в кремнии величины  $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  приводит к полному гашению длинноволновой компоненты полосы D2. В отличие от  $\text{Si}$  с фосфором, в образцах с  $\text{Bi}$  наблюдается появление коротковолнового плеча 0.828эВ полосы D1 и интенсивной узкой компоненты 0.883эВ полосы D2. С увеличением концентрации  $\text{Bi}$  изменение интенсивности компонент 0.873эВ и 0.883эВ полосы D2 имеет взаимнообратную зависимость, что указывает на конкурирующий характер соответствующих оптических переходов. Независимо от химической

природы акцептора (исследовались бор и галлий) повышение их концентрации выше  $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  приводит к сильному гашению коротковолновой компоненты 0.873эВ полосы D2.

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

Получены совершенные образцы наноплёнок сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических жидких кристаллов толщиной от одного до нескольких десятков молекулярных слоёв. Свободно подвешенные наноплёнки не содержали дислокаций и других структурных дефектов. Ориентационное упорядочение молекул достигалось с использованием электрического и (или) магнитного поля. В SmC структуре вырождение коллинеарной ориентации с-директора в плоскости смектических слоёв устранялось с использованием магнитного поля, наклоненного по отношению к плоскости смектических слоёв. Изучена устойчивость антисегнетоэлектрической  $\text{SmC}_A^*$  структуры в наноплёнках по отношению к переходам в сегнетоэлектрическое, сегнетиэлектрическое состояние. Стабильность  $\text{SmC}_A^*$  структуры при нагреве наноплёнки выше температуры объемного фазового перехода увеличивается с уменьшением числа смектических слоёв.

Исследована связь величины и направления поляризации со структурой наноплёнок. В отличие от антисегнетоэлектрической  $\text{SmC}_A^*$  структуры, в которой направление поляризации в наноплёнках (параллельное или перпендикулярное плоскости наклона молекул) определяется чётностью числа смектических слоёв в наноплёнке, в сегнетоэлектрических структурах и антисегнетоэлектрических плёнках с антисегнетоэлектрической ячейкой с числом слоёв  $N > 2$  поляризация плёнок с одной чётностью числа слоёв может быть как параллельна, так и перпендикулярна плоскости наклона молекул. Изучена трансформация ориентационной структуры наноплёнок в электрическом поле. При температуре выше объемного фазового перехода из  $\text{SmC}_A^*$  в неполярную или полярную структуру переходы наблюдаются в слабых электрических полях (порядка нескольких десятков В/см) с изменением направления поляризации относительно плоскости наклона молекул в смектических слоях, что позволяет модифицировать оптические характеристики наноплёнок при изменении температуры и электрического поля.

С использованием смектических наноплёнок получены двумерные суспензии из смектических островов (участков плёнки большей толщины), находящихся в наноплёнках. В исследованных суспензиях характерный размер островов составлял величину от 5 мкм до 100 мкм. Коллективное поведение островов существенно отличается в SmA и в плёнках с наклонной ориентацией молекул. Со временем наблюдалось уменьшение количества островов, связанное с коалесценцией и коллапсом. В SmA плёнках основной вклад в изменение числа островов  $n$  вносит коалесценция. Увеличение среднего размера островов  $\langle d \rangle$  описывается степенной зависимостью с показателем  $\gamma \approx 0.6$ . Основное изменение  $n$  происходит за времена порядка 10 минут (уменьшение  $n$  примерно в 3 раза). В последующем скорость изменения  $n$  резко уменьшается, что связано с зависимостью динамики коалесценции от размера островов. Острова малых размеров ( $d < 40$  мкм) сохраняются в наноплёнках продолжительное время. В наноплёнках с наклонной ориентацией молекул основной вклад в изменение числа частиц вносит переконденсация и коллапс с переходом вещества из наноплёнки в объемную часть образца.

Изучена динамика частиц в смектических наноплёнках. Определен коэффициент диффузии (порядка  $0.8 \text{ мкм}^2/\text{с}$  у частиц с  $d \approx 7 \text{ мкм}$ ) и подвижность  $\mu \sim 2 \cdot 10^5 \text{ с/г}$ . Экспериментальные данные описываются теорией, учитывающей вклад трехмерной среды в подвижность частиц в наноплёнках.

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

В результате синтеза из компонентов и дальнейшего роста кристалла из расплава в вакууме с последующей закалкой получен монокристалл GaSe  $\epsilon$ -типа. Выдержка расплава при температуре  $980^\circ \text{C}$  в течение 24 ч позволила гомогенизировать состав, а закалка от  $300^\circ \text{C}$  привела к кристаллизации с повышенным приблизительно в 2,5 раз содержанием Er в метастабильном твердом растворе (в сравнении с ранее полученным разными методами легирования кристаллами селенида галлия при содержании 1 % Er в шихте). Методом порошковой рентгеновской дифрактометрии впервые показано, что эрбий, не вошедший в твердый раствор, кристаллизуется в фазе  $\text{Er}_2\text{Se}_3$ . Кристаллы содержат только одну вторую фазу, в отличие от многофазных кристаллов, известных в литературе. Рентгеноструктурным анализом выявлен эпитаксиальный характер роста  $\text{Er}_2\text{Se}_3$ . Показано, что возможно выполнение ориентационного соотношения GaSe/ $\text{Er}_2\text{Se}_3$ , по плоскостям (0001)/(111) и направлениям  $[11\bar{2}0]/[\bar{1}10]$ , соответственно. Этот результат, в совокупности с данными растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа, позволил заключить, что фаза  $\text{Er}_2\text{Se}_3$  присутствует в составе эвтектики, частицы которой размерами 10 микрон и плотностью  $10^4 \text{ см}^{-2}$  растут ориентированно в матрице GaSe, тем самым снижая искажения решетки и дефектность кристаллов. В спектрах фотолуминесценции выявлено, что независимо от количества Er в твердом растворе и в составе других фаз, проявляются пики экситонного излучения чистого GaSe и пики, связанные с внутрицентровыми переходами ионов Er.

Руководитель: к.т.н. Колесников Н.Н.

Для синтеза фотонных кристаллов в форме сферических микрочастиц изготовлены суспензии коллоидных частиц  $\text{SiO}_2$  со средним размером 200 nm и 280 nm и распылены пневматическим распылителем в специальном боксе при комнатной температуре. Показано, что размеры получаемых сфер зависят от диаметра выходного отверстия форсунки и концентрации частиц в суспензии и варьировались от единиц до сотни микрон. Установлено, что отжиг при температуре  $950 - 1000^\circ \text{C}$  в течение 4 часов на воздухе обеспечивает необходимую прочность для дальнейшего их использования. Микросферы демонстрируют плотнейшую упорядоченную упаковку коллоидных частиц  $\text{SiO}_2$  и селективное отражение света в синей и оранжевой области в соответствии с законом Брэгга.

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

Кристаллизацией из водных растворов при постоянном пересыщении получены би-кристаллы сульфатов никеля и кобальта состава  $\text{K}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} / \text{K}_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и смешанные кристаллы  $\text{K}_2\text{Ni}_x\text{Co}_{(1-x)}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , демонстрирующие высокую прозрачность (80%) в «солнечно-слепой» области спектра ультрафиолетового диапазона длин волн 200-300 nm и непрозрачность в других диапазонах длин волн, позволяющие приборам, регистрирующим излучение в данном диапазоне спектра, работать при солнечном свете.

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

Найдены оптимальные условия синтеза новой сверхпроводящей фазы  $\text{Eu}_2\text{Ba}_5\text{Cu}_7\text{O}_{15+\delta}$  (Eu-257) – члена гомологического ряда  $\text{Eu}_n\text{Ba}_m\text{Cu}_{m+n}\text{O}_y$  ( $n=2, m=5$ ) Определена структура, исследованы термическая устойчивость, магнитные свойства и валентное состояние меди в оксиде Eu-257. В результате исследования обнаружено последовательное изменение катионного состава основного продукта отжига, который на разных этапах отжига содержит оксиды катионного состава Eu-347, Eu-235, Eu-358, Eu-123, Eu-257, Eu-134, Eu-2-9-11, Eu-145 и Eu-146. Этот порядок согласуется с температурой отжига и состав их отвечает членам гомологического ряда  $\text{Eu}_n\text{Ba}_m\text{Cu}_{m+n}\text{O}_y$ . Образцы, содержащие 95 масс.% фазы Eu-257, по данным измерения температурной зависимости магнитной восприимчивости переходят в сверхпроводящее состояние при  $T_c=87$  К. Проведено систематическое исследование влияния окисляющих отжигов на сверхпроводящий переход для монокристаллов  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{CuO}_{6+\delta}$ . Построена зависимость  $T_c$  от концентрации лантана в кристалле. На основе наших и имеющихся в публикациях данных делается вывод, что кислородный индекс  $\delta$  изменяется в интервале 0.3.

Руководитель: д.х.н. Климова Л.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**

Методом комбинационного рассеяния света исследована магнитополевая динамика межподзонных коллективных возбуждений в двумерных электронных системах на основе гетероструктур  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}/\text{ZnO}$ . Обнаружено, что при изменении спиновой поляризации в условиях перехода от фактора заполнения 2 к фактору заполнения 1 энергия межподзонного магнитоплазмона значительно изменяется. Проведенный теоретический анализ показал связь данного эффекта с сопутствующим изменением обменного взаимодействия в энергии возбуждения.

В сильно взаимодействующих двумерных электронных системах (ДЭС) в гетероструктурах  $\text{MgZnO}/\text{ZnO}$  изучены особенности Стонеровского перехода между холловскими ферромагнетиками на целочисленных факторах заполнения. Перестройка спинового упорядочения ДЭС детектировалась по сигналу неупругого рассеяния света на внутривозонном спиновом экситоне. По динамике спектральной интенсивности линии спинового экситона удалось выявить 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 определена температура Кюри. Показано, что температура Кюри определяется энергией образования доменных стенок Изинговых квантово-холловских ферромагнетиков.

В серии квантовых ям GaAs / AlGaAs и гетеропереходах с различной плотностью двумерных электронов исследованы осцилляции сопротивления электронной системы, индуцированные микроволновым излучением. Показано, что при малых плотностях двумерных электронов измеренная масса значительно увеличивалась (становилась значительно тяжелее циклотронной массы). Обнаруженная зависимость эффективной массой от концентрации явно имеет многочастичную природу. Показано, что минимальное значение эффективной массы наблюдаются при умеренной плотности двумерных электронов и оказывается даже меньше циклотронной массы.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

Исследованы оптические и транспортные свойства гетероструктур с квантовыми точками InAs/GaAs, легированными атомами марганца или хрома в процессе выращивания методом МОС-гидридной эпитаксии. Показана возможность получения циркулярно-поляризованной люминесценции за счёт легирования квантовых точек атомами Mn или Cr, причём знак степени циркулярной поляризации зависит от вида вводимой примеси. Обнаруженный эффект объясняется особенностями излучательной рекомбинации в квантовых точках в присутствии резидентных электронов или дырок.

Исследована динамика сигнала стимулированного параметрического поляритон-поляритонного рассеяния в полупроводниковых GaAs/AlGaAs микрорезонаторах в условиях резонансного фотовозбуждения вблизи точки перегиба дисперсионной поляритонной кривой в отсутствие и при модуляции экситонного потенциала с помощью поверхностных акустических волн (ПАВ). Найдено, что пространственная модуляция экситонного потенциала приводит к понижению пороговой плотности для развития стимулированного параметрического поляритон-поляритонное рассеяния, при этом происходит переключение рассеяния из области дна нижней поляритонной подзоны (квазиимпульс поляритонов  $k=0$ ) в области минимумов первой подзоны ( $k \sim 0.45 \text{ мкм}^{-1}$ ). Причиной является перераспределения поляритонов с малыми  $k$  из областей максимумов в области минимумов периодического поляритонного потенциала в поле ПАВ. При больших плотностях возбуждения на временах порядка нескольких десятков пс происходит возвращение рассеяния в состояния с  $k=0$ . Причиной является экранировка периодического потенциала от поля ПАВ вследствие постепенного накопления в областях минимумов потенциала долгоживущих экситоноподобных поляритонов, образующихся в режиме рассеяния в области  $k=2k_p$ , где  $k_p \sim 2 \text{ мкм}^{-1}$  – квазиимпульс накачивающего света.

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

Исследована с высоким временным разрешением  $\sim 2$  пс кинетика фотолюминесценции в образцах гетероструктур второго типа ZnSe/BeTe с толщинами слоев  $L_{\text{ZnSe}} = 20 \text{ нм} / L_{\text{BeTe}} = 10 \text{ нм}$  и  $L_{\text{ZnSe}} = 25 \text{ нм} / L_{\text{BeTe}} = 12.5 \text{ нм}$  в области пространственно прямого перехода ( $\approx 2.8 \text{ эВ}$ ). Было изучено влияние внешнего приложенного электрического поля на время жизни дырки в надбарьерном состоянии в слое ZnSe. Показано, что при напряженности электрического поля  $E \approx 10 \div 20 \text{ кВ/см}$  время жизни дырки в надбарьерном состоянии уменьшается от значений  $\tau \approx 9 \div 12$  пс при нулевом приложенном поле до величин  $\tau < 2$  пс. Это связано с тем, что наклон зон приводит к модификации волновой функции дырки в квазистационарном состоянии,



увеличивающей вероятность её релаксации в основное состояние. Однако проведенные численные расчеты без учета кулоновского взаимодействия между дыркой в надбарьерном состоянии и электроном в квантовой яме ZnSe показали лишь качественное согласие с экспериментом. Учет в расчетах процессов образования экситонов приводит к стабилизации времени жизни фотовозбужденной дырки в надбарьерном состоянии при малых значениях напряженности электрического поля и к значительно лучшему согласию с экспериментальными данными.

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

Построено обобщение квазиклассической теории в терминах уравнений Эйленбергера для гриновских функций, позволяющее описывать магнетоэлектрические эффекты и индуцированные эффектом близости сверхпроводящие корреляции в гибридных сверхпроводящих системах со спин-орбитальным взаимодействием. Формализм применим если энергия спин-орбитального расщепления мала по сравнению с энергией Ферми, но велика по сравнению с энергией сверхпроводящей щели. На основе развитого формализма показано, что синглетный сверхпроводник может индуцировать триплетные корреляции в нормальном металле (при условии наличия спин-орбитального взаимодействия) даже в нулевом внешнем магнитном поле и без ферромагнитных элементов в системе. Также вычислена спиновая поляризация, индуцированная джозефсоновским током в прослойке джозефсоновского контакта двух синглетных сверхпроводников через слабую связь с рашбовским спин-орбитальным взаимодействием.

Благодаря жесткой связи между импульсом электрона и его спином, магнетоэлектрические эффекты в поверхностном проводящем слое 3D топологического изолятора являются экстремально сильными. Построена микроскопическая теория описания гетероструктур сверхпроводник/3D топологический изолятор в терминах квазиклассических гриновских функций. На ее основе предсказан гигантский магнетоэлектрический эффект в плотности состояний поверхностного слоя 3D TI. Предложена схема использования этого эффекта для создания полностью электрически контролируемого спинового фильтра. Показано, что наличие магнетоэлектрического эффекта в плотности состояний является однозначным свидетельством присутствия нечетной по частоте сверхпроводимости Березинского в системе.

Руководитель: к.ф.-м.н. А.М. Бобков

В двухслойной электронной системе, образованной двумя слоями двумерных электронов с различной плотностью, выполнены исследования сжимаемости, магнетосопротивления и холловского сопротивления в квантовых магнитных полях. Установлено, что квантовый эффект Холла наблюдается в такой системе либо при одновременном заполнении целого числа уровней магнитного квантования в каждом из слоев, либо при заполнении одного или двух уровней всеми электронами системы. Первый случай реализуется при значениях квантовых чисел больших двух и может быть описан в терминах одночастичного спектра электронов. Второй случай соответствует квантовым числам единица и два, при этом энергетическая щель в

электронном спектре, необходимая для возникновения состояния квантового эффекта Холла, по-видимому, определяется электрон-электронным взаимодействием.

Руководитель: д.ф.-м.н. С.И. Дорожкин

При исследовании транспорта между двумерным топологическим изолятором и сверхпроводящим контактом, были обнаружены дополнительные низкоэнергетические структуры в Андреевском сигнале, что означает проявление индуцированной эффектом близости сверхпроводимости в краевом топологическом токонесящем состоянии. В частности, при использовании сверхпроводящих контактов к двуслойным структурам с инверсией зон показано возникновение сверхпроводящего тока между слоями.

Исследованы свойства сильно взаимодействующих двумерных электронных систем в квантовых ямах SiGe/Si/SiGe при низких температурах в параллельных и перпендикулярных магнитных полях. Используя разные экспериментальные методы, определены спиновая восприимчивость и эффективная электронная масса из результатов транспортных измерений. Полученные результаты показывают, что плотность электронных состояний в двумерной системе демонстрирует максимум на уровне Ферми в области низких плотностей электронов.

Сконструирован двухзондовый атомно-силовой микроскоп (АСМ) с хорошим оптическим доступом, рассчитанный на работу совместно с короткофокусным оптическим микроскопом. Каждый зонд атомно-силового микроскопа имеет свою собственную систему обратной связи и может быть позиционирован независимо с точностью в единицы нанометров. Использование проводящих зондов позволяет производить измерение транспортных свойств исследуемых нано- и микроструктур. Продемонстрированы успешная работа микроскопа в полуконтактной и контактной модах, а также возможность калиброванного приложения усилия к одиночной нанопроволоке. Существуют также перспективы использования прибора в микробиологии как для исследования отдельных объектов, так и для выполнения хирургических операций на внутриклеточном уровне.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Шашкин

Показано, что нижние мягкие моды краевых магнетоплазмонов подавляются в условиях реализации квантового эффекта Холла. Причиной подавления, наблюдаемого в экспериментах Кукушкина с соавторами, оказываются целочисленные полосы Шкловского, возникающие вдоль периметра диска с гладким профилем электронной плотности и препятствующие «нормальной» магнетоплазменной динамике, ведущей к появлению мягких мод.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Б. Шикин

Дана развернутая картина поведения электронов, внедренных в криогенную среду. Характерным параметром задачи оказывается длина рассеяния электрона на данном атоме криогенного газа. Показано, в каких условиях эта длина оказывается положительной, а когда – отрицательной. В первом случае имеет место пузырьковый эффект, наблюдаемый в гелии и неоне. Во втором случае, напротив – льдинки Аткинса. Это явление характерно для аргона, криптона, ксенона. Эксперимент подтверждает нижние мягкие моды нижние мягкие моды нижние мягкие моды дает выводы теории.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Б. Шикин

Синтезированы три новые проводящие системы на основе органических доноров TCNQ с ионами железа в анионном слое, в которых наблюдается спин-кроссовер. Изучена структура, транспортные свойства методом Монтгомери и спектры ЭПР этих кристаллов. Обнаружено спин-спиновое взаимодействие между локализованными ионами Fe(III) и электронными спинами в доноре TCNQ.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Н. Зверев

Были исследованы образцы  $Sr_{0.1}Bi_2Se_3$ , в которых ожидается необычная сверхпроводимость с р-симметрией параметра порядка. Температура сверхпроводящего перехода оказалась равна  $T_c=2.7$  К. Была измерена температурная зависимость поверхностного импеданса в температурном интервале от 0.5 К до 100 К на частоте 28 ГГц. Ниже температуры сверхпроводящего перехода температурная зависимость импеданса свидетельствует о щелевом параметре порядка как в классическом БКШ сверхпроводнике с s-типом параметра порядка. Крайне необычно выглядит высокочастотное сопротивление при 0 К, называемое остаточными потерями - оно не стремится к нулю, как у классических сверхпроводников, а составляет более 50 % сопротивления в нормальном состоянии. Такой порядок остаточных потерь мы наблюдали ранее у  $Sr_2RuO_4$ , признанного сверхпроводника с р-симметрией параметра порядка.

Руководитель: к.ф.-м.н. А.Ф. Шевчун

Исследована магнитная восприимчивость самоорганизованных наноструктур сплава PbIn, синтезированных в ИФТТ РАН. Форма наноструктур носит случайный характер с сильным разбросом от квазиодномерных структур типа нанопроволок, до кристаллитов в форме звезды или снежинки. Характерный линейный и поперечный размеры также варьируются в пределах от 100 нм до нескольких микрометров. В комплексах этих структур различных размеров и форм (определяемых условиями синтеза) исследована магнитная восприимчивость при низких температурах. Обнаружен сильный диамагнитный сигнал, свидетельствующий о переходе в сверхпроводящее состояние, с критической температурой ниже, чем у реперных образцов Pb. Температура перехода уменьшается с уменьшением характерного поперечного размера, а сам переход при этом заметно размывается.

Руководитель: к.ф.-м.н. Д.В. Шовкун

## **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**

Обнаружен способ релаксации свободного объема в аморфных сплавах путем образования наноропор в полосе деформации. Полосы образовывались при деформации аморфного сплава системы Al-Ni-Y методом многократной прокатки. Наноропоры появлялись после длительной выдержки при комнатной температуре. Размеры пор увеличивался по мере увеличения длительности выдержки. Применение подхода Киршнера для кинетики роста выделений второй фазы на межфазной границе для анализа роста наноропор позволило определить значение эффективного коэффициента диффузии в полосе при комнатной температуре. Это значение составило около  $D \sim 10^{-22} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$  для аморфного сплава на основе алюминия, что на 6 порядков больше, чем соответствующее значение коэффициента диффузии в аморфной матрице. Такое высокое значение коэффициента диффузии при комнатной температуре имеет принципиальное значение для оценки стабильности деформированных аморфных и нанокристаллических сплавов.

Отработана методика приготовления гибридных наносистем, состоящих из органической матрицы (полупроводника с проводимостью p-типа - фталоцианина никеля NiPc) и металлических наночастиц золота. Путем термического напыления NiPc на атомарно-чистую поверхность Au (001) в условиях сверхвысокого вакуума были выращены тонкие пленки фталоцианина никеля, толщина которых составляла около 10 нанометров.

Отработана методика формирования наночастиц Au при осаждении металла на поверхность органических пленок. Осаждение металла выполнялось путем термического испарения золотой проволоки высокой чистоты. Скорость осаждения золота составляла 1–2 Å/мин. С помощью просвечивающей электронной микроскопии установлено, что после напыления Au на поверхность NiPc происходит процесс самоорганизации металлических атомов, которые объединяются, формируя наночастицы. Изучена морфология ансамблей наночастиц золота, распределенных в органической матрице. Размер и распределение наночастиц зависит от количества осажденного металла. При номинальном покрытии Au 1,6 нм образуются круглые наночастицы со средним размером  $d_{\text{ср}} = 16$  нм. При последовательном увеличении номинального покрытия золота происходит рост образовавшихся наночастиц, и образуются островки золота неправильной формы

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

Исследован механизм образования «изгибных интерференционных полос». Методом секционной топографии в геометрии Брегга проведены эксперименты на разных толщинах и разных радиусов изгибов кристаллов. Для каждой толщины и радиуса изгиба кристалла выполнено численное моделирование волнового поля в треугольнике рассеяния путем решения уравнений Такаги-Топена. Начаты численные эксперименты по применению метода траекторий при исследованиях изогнутых кристаллов. Установлено, что «изгибные интерференционные полосы» образуются в результате интерференции проходящей в кристалле волны и волн, отраженных на отражающих плоскостях разных по глубине. В результате изгиба кристаллической

решетки каждая следующая отражающая плоскость отличается от предыдущей. При отражении рентгеновской волны от последующих плоскостей изменяются волновые вектора отраженных волн. Эти изменения незначительны, но в результате суммирования по глубине становятся достаточными для возникновения интерференционных полос, связанных с изгибом. Установлено, что динамические интерференционные полосы очень чувствительны к поверхностным дефектам кристаллической решетки и, по-видимому, могут использоваться для оценки слабых локальных деформаций.

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

Получены ортобораты  $\text{Lu}_{1-x-y}\text{Ce}_x\text{Tb}_y\text{VO}_3$ , в которых интенсивность свечения ионов  $\text{Tb}^{3+}$  при возбуждении образца в полосе возбуждения  $\text{Ce}^{3+}$ , совпадающей с областью свечения промышленных GaN светодиодов, превосходит интенсивность свечения яркого промышленного люминофора  $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}(\text{Tb})$ . Показано, что спектр возбуждения ионов  $\text{Tb}^{3+}$  в интервале длин волн 339 - 367 нм зависит от структурного состояния  $\text{Lu}_{1-x-y}\text{Ce}_x\text{Tb}_y\text{VO}_3$ . Обнаружено, что образцы ортоборатов  $\text{LuVO}_3(\text{Ce},\text{Tb})$ , полученные гидротермальным способом и имеющие структуру гексагонального ватерита, после высокотемпературного отжига переходят в моноклинную фазу, при этом в ИК спектре появляется дополнительная линия.

Исследование легированного манганита лантана  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0.05, 0.01, 0.02$ ) методами мессбауэровской спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и измерений магнитных характеристик показало, что при достижении стехиометрического состава (по кислороду) во всех образцах происходит образование трех орторомбических фаз. Получены данные об их строении и магнитных свойствах.

Проведены рентгеновские и электронно-микроскопические исследования порошков  $\text{Cs}_2\text{SO}_4$ , состоящих из сферических и пластинчатых кристаллитов. Установлено, что наблюдаемое аномальное распределение интенсивностей рентгеновских рефлексов для пластинчатых образцов определенных размеров связано со сферичностью рентгеновских волн, падающих на образец. Полученный результат указывает на необходимость доработки кинематической теории дифракции рентгеновских лучей с учетом сферичности рентгеновских волн от реальных источников излучения.

Руководитель: д.ф.-м.н. И.М. Шмытько

Осуществлено экспериментальное изучение микромеханизма формирования однонаправленной анизотропии и увеличения коэрцитивности в поликристаллических ферромагнетик/антиферромагнетик (ФМ)/(АФМ) гетероструктурах. Для выяснения природы преобразования доменной структуры в АФМ слое при перемагничивании ФМ/АФМ структуры были использованы ферромагнетик NiFe, обладающий нулевой магнитострикцией, и антиферромагнетик NiO, обладающий значительной магнитострикцией. С использованием комплексного метода, включающего в себя визуализацию доменной структуры и регистрацию акустической эмиссии (АЭ) были зарегистрированы пики АЭ после переключения намагниченности гетероструктуры, которые обусловлены спонтанным термоактивируемым переключением системы спинов, локализованных в АФМ зёрнах и связаны с преодолением потенциальных барьеров, энергия которых заключена в метастабильных доменных границах на границе зёрен в АФМ слое. Выявленные закономерности формирования магнитного

гистерезиса в магнитных поликристаллических ФМ/АФМ нанокompозитах позволяют целенаправленно изменять их свойства и могут быть использованы в процессе разработки элементов спинтроники.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.С. Горнаков

Проведено экспериментальное изучение ансамбля дислокаций при пластической деформации сплава AlMg с использованием акустической эмиссии (АЭ) и проведён статистический анализ лавиноподобного поведения такой нелинейной динамической системы, сопровождающейся шумом. Было изучено влияние метода выделения отдельных событий из зашумлённого сигнала на статистику длительностей событий и статистику интервалов между событиями. Обнаружено, что при низком шумовом пороге наблюдается Пуассоновское распределение интервалов. Увеличение порога приводит к отклонению от Пуассоновского распределения к степенному закону, который обычно наблюдается в эксперименте. Таким образом, экспериментальные результаты подтвердили предложенную ранее в литературе модель возникновения степенного закона в статистике интервалов в зашумлённом сигнале. В тоже время существенного влияния на степенную статистику амплитуд и длительностей событий обнаружено не было. Этот результат предполагает, что пластическая деформация в нашем материале — это пример реальной системы с самоорганизующейся критичностью. Данные результаты, могут быть использованы при моделировании пластической деформации стареющих сплавов типа AlMg.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.С. Горнаков

Разработаны два новых типа сцинтилляционных материалов на основе композиций люминесцирующих матриц с упрочняющими наночастицами. Композиционный сцинтиллятор в виде микроволокон из активированного полистирола с наночастицами сульфата цезия, полученных центрифугированием, обладает рекордным сочетанием высокого световыхода, наносекундного быстрогодействия, микронного пространственного разрешения и повышенной радиационной прочности, что позволяет формировать высокочувствительные радиационные детекторы для биомедицинской микроскопии, микродефектоскопии различных конструкций, радиационного мониторинга и гамма-телескопии. Сцинтилляционный композит из монокристаллов бромиды лантана, упрочнённого оксидными наночастицами, на который в отчетном году получен патент РФ, отличается высокой чувствительностью и энергетическим разрешением в сочетании с повышенной механической прочностью, что позволяет использовать его в широком диапазоне радиационной диагностики от медицинской томографии до радиационного каротажа скважин в геологоразведке.

Разработан комплекс методик анализа состава, структуры и свойств различных твердофазных материалов с наноразмерными структурными неоднородностями, сочетающих измерения колебательных спектров путем инфракрасной и рамановской спектроскопии, рентгенодифракционного и электронномикроскопического анализа структуры, акустической, рентгено- и фото-люминесцентной спектроскопии. С помощью указанных методик получены новые данные о релаксации фононов в топологическом изоляторе теллурида висмута, деформационном регулировании характера связей бензолных колец с наночастицами в их композициях с полимерами,

образовании новых фаз в многокомпонентных люминофорах на основе оксидов редких земель.

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.В. Классен

Исследования изменений модуля сдвига и тепловых эффектов при структурной релаксации и кристаллизации металлических стекол разного химического состава показали, что их температурные зависимости контролируются одним и тем же механизмом, что согласуется с предсказаниями Междоузельной теории Гранато, в которой таким механизмом является диссипация упругой энергии междоузельных дефектов, “замороженных” в стекле при его закалке из расплава.

На основе экспериментальных данных по температурным зависимостям концентрации междоузлий и вакансий в кристаллах Al показано, что формальное применение соотношения Аррениуса для оценки активационных параметров приводит к “кажущимся” значениям их энтальпии и энтропии формирования, существенно отличающихся от “истинных” значений, получаемых при учете температурной зависимости энтальпии формирования, физическая причина которой заключается в температурной зависимости упругих модулей.

Проведенные на типичном AlMg сплаве экспериментальные измерения различных параметров модели динамического деформационного старения (общепринятого механизма для описания эффекта Портевена-ЛеШателье) показали, что она адекватно описывает кинетику деформационного течения при ступенчатом изменении скорости деформации, однако кинетика сбросов нагрузки при малых скоростях деформирования контролируется другим механизмом, которым может быть явление синхронизации деформационных процессов.

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.П. Кобелев

**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**

Методом фотолитографии были разработаны гетероструктуры на основе эпитаксиальных пленок высокотемпературных сверхпроводников  $Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4-y}$  (NCCO) и  $YBa_2Cu_3O_{7-y}$  (YBCO), в которых реализованы и исследованы биполярные эффекты резистивных переключений (БЭРП).

Из исследований БЭРП в ВТСП следует:

- На поверхности монокристаллов и эпитаксиальных пленок ВТСП, ориентированных (001), в результате деградации по кислороду в резервуарах заряда возникает диэлектрический слой, на глубине порядка 10 нм. Это фундаментальное

свойство позволяет использовать гетеропереходы на основе перовскитных соединений типа ВТСП как МИМ структуры в создании мемристоров с резистивными переключениями в основе.

- Токоперенос в метастабильных высокорезистивных состояниях исследованных ГП аппроксимируются поведением двух диодов, включенных навстречу друг другу.

- Переключения в структурах на основе ВТСП носят многоуровневый характер. Сегодня это обстоятельство предлагается использовать в области нейровычислений.

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.А.Тулина

Методами низкотемпературной магнитно-силовой микроскопии и декорирования ферромагнитными наночастицами исследована структура магнитного потока на поверхности монокристаллов  $\text{EuFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  содержанием фосфора 10.0-10.5\,ат.\%\$. Впервые в объёмном сверхпроводнике с ( $T_{sc}=22\text{K}$ ) при охлаждении в нулевом магнитном поле ниже температуры ферромагнитного перехода  $T_c=18\text{K}$  обнаружена магнитная доменная структура, однозначно указывающая на сосуществование сверхпроводящего и ферромагнитного упорядочения на атомном уровне.

Руководитель: д.ф.-м.н. Л.Я. Винников

Исследовано и проведено математическое обоснование особенностей поведения весового сигнала при схлопывании трубы в стержень при автоматизированном выращивании кристалла по способу некапиллярного формообразования.

Руководитель: к.т.н. С.Н. Россоленко

На основе профилированных кристаллов сапфира разработаны новые типы активных имплантов, обладающих хорошей биосовместимостью с различными типами биотканей. Разработана методика получения as-grown поверхности сапфировых имплантов, что обеспечивает высокое оптическое разрешение и хорошую биосовместимость при проведении пролонгированных процедур оптической диагностики и терапии. Исследованы световые потоки и тепловые поля в биологических тканях с имплантом в качестве элемента доставки лазерного излучения. Проведены успешные эксперименты *in vivo* по пролонгированной спектральной диагностике и фотодинамической терапии глиом мозга.

Руководитель: д.т.н. В.Н. Курлов

Рассмотрен процесс получения SiC-Si-C-материалов путем силицирования искусственных пористых углеродных матриц и разработана расчетная методика неразрушающего определения их фазового состава. Проведено численное моделирование процесса силицирования композиций на основе компактирования графитовых порошков различных фракций с органическим связующим. Показано хорошее совпадение расчета фазового состава с результатами, полученными металлографическим методом анализа микроструктуры. Разработан способ расчета требуемой массы кремния для получения беспористых керамических материалов на основе карбида кремния. Получены керамические SiC-Si-C изделия сложной геометрической формы механической обработкой углеродной заготовки с ее



дальнейшим безусадочным силицированием. В ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск) проведены натурные испытания полученных изделий в газотурбинных двигателях.  
Руководитель: д.т.н. В.Н. Курлов

Электронная структура перовскита  $\text{LaCoO}_3$  (001) проанализирована на основе данных по фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением, полученных как экспериментально, так и теоретическим моделированием. Моделирование сверхрешетки показывает неустойчивость к образованию неравномерной спиновой поляризации в слоях, содержащих Co под растягивающим напряжением. Расширение решетки уменьшает искажение октаэдра и определяет соотношение между параметром поля кристалла и обменной энергией в пользу локальной намагниченности. Сравнение спектров моделируемой фотоэмиссии с экспериментальными спектрами дает основание считать, что Co-O<sub>2</sub> является наиболее устойчивой поверхностной стехиометрией. Это согласуется также с исследованиями транспорта и катализа указанных материалов.  
Руководитель: д.ф.-м.н. В.Ю. Аристов

Исследована атомная структура ступенчатых поверхностей Si(557), приготовленных с использованием различных процедур термообработки в условиях сверхвысокого вакуума. Оптимизирована методика подготовки поверхности, позволяющая получать регулярные на атомарном уровне системы ступеней с периодом  $5.9 \pm 0.2$  без сбоев периодичности на участках поверхности с латеральными размерами более 0.5 мкм. Согласно данным сканирующей туннельной микроскопии и дифракции медленных электронов, приготовленная регулярная система ступеней отвечает локальной ориентации поверхности Si(557). Данные СТМ атомного разрешения демонстрируют несколько различных конфигураций террас Si(111) и ступеней, позволяющих поддерживать одинаковую периодичность ступеней высотой в три межплоскостных расстояния на участках поверхности микронного масштаба.  
Руководитель к.ф.-м.н. А.Н. Чайка

Созданы опытные образцы сверхпроводящих NbN и гибридных структур NbN/LiNbO<sub>3</sub>. Проведены исследования оптических и электрофизических характеристик созданных наноструктур. Исследованы особенности атомной структуры и динамические свойства фуллереновых C<sub>60</sub> наноструктур в широком диапазоне температур методом сканирующей туннельной микроскопии.  
Руководитель: к.ф.-м.н. С.И. Божко

Проведены исследования атомно-кристаллической и электронной структуры топологического полуметалла Sb(111) методами дифракции медленных электронов и фотоэлектронной спектроскопии. Проведены исследования атомной и электронной структуры сколотой поверхности Sb (111). Поверхность скола Sb (111) состоит из больших плоских участков, которые изначально имеют дефекты в виде ступеней, кратной высоте одного бислоя. При помощи СТМ и ДМЭ показано, что плоские участки поверхности обладают совершенной кристаллической структурой. СТС исследования электронной структуры сколотой поверхности Sb (111) показали, что локальная плотность состояний, имеет ярко-выраженную особенность соответствующую точке Дирака поверхностных состояний. Изучена атомная и

электронная структура травленной поверхности Sb (111). При травлении поверхности Sb(111) ионами  $Ag^+$  при низкой температуре образца образуется большое количество дефектов – поверхность аморфизуется. СТМ и ДМЭ исследования показали, что отжиг приводит к восстановлению поверхности и образованию плоских участков, средний размер которых составляет 15 Å.

Травление поверхности Sb (111) ионами аргона приводит к разрыву оборванных ковалентных связей между атомами Sb и образованию монослойных плоских участков. Это приводит к локальному нарушению условий пайерлсовского перехода и, следовательно, металлизации поверхности, которая подтверждается результатами УФС. Проведены расчеты электронной структуры интерфейса Sb(111)/Pb методом ТФП, согласующиеся с результатами эксперимента.

Исследованы особенности атомной и электронной структуры и транспортные характеристики монокристаллов слоистого черного фосфора полученных газотранспортными и методами физики высокого давления. Электронная структура чистой и окисленной поверхности bP изучена методом РФЭС и проведен теоретический расчет плотности состояний, согласующийся с результатами эксперимента. Получено атомное разрешение поверхности bP с помощью СТМ, измеренная методом СТС ширина запрещенной зоны (0.3-0.35 эВ) хорошо согласуется с литературными данными по объемному bP. Проведены низкотемпературные транспортные измерения монокристаллов bP, качественно объяснены температурные зависимости электросопротивления в диапазоне от 1.5 до 300 К и магнетопольная зависимость сопротивления при температуре 0.5 К.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.М. Ионов

Продолжены исследования структуры и механических свойств жаропрочных свойств легированных сплавов системы Nb-Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> с изучения механизмов их деформации. Показано, что при высоких содержаниях силицида сопротивление ползучести образцов при температурах 1200°C - 1300°C определяется сопротивлением деформации силицида Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>. Получены и исследованы образцы сплавов системы Nb-Nb<sub>2</sub>C двух составов Nb-25 ат%С и Nb-37,5 ат%Мо- 25 ат%С. Образцы получали методом первичной электронно-лучевой плавки в холодном медном кристаллизаторе и последующем двукратным переплавом методом электронно - лучевой зонной плавки. Структура первого сплава представляла собой первичные дендриты карбида Nb<sub>2</sub>C и эвтектику Nb-Nb<sub>2</sub>C. Структура второго сплава состояла из первичных дендритов (MoNb)C(1-x) и эвтектики (MoNb)- (MoNb)C(1-x). Значение x равнялось ~0,4. Соотношение Nb/Mo в твердом растворе было примерно 1/3, в карбиде – 3/1. Показано, что 100-часовая прочность образцов Nb-37,5 ат%Мо- 25 ат%С при 1450°C может достигать 190 МПа при испытании на изгиб. Установлено влияние скорости охлаждения вблизи температуры расплавления (около 2050°C) фазы Новотного Mo<sub>4.8</sub>Si<sub>3</sub>C<sub>0.6</sub> на фазовый состав охлажденных до комнатной температуре образцов. При медленном прохождении формируется фаза Новотного, при быстром - силицид Mo<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> и другие фазы. Рассмотрена диффузионно-контролируемая эволюция d-мерного острова частиц А в море частиц В при распространении резкого фронта реакции A+B->0. Остров частиц А формируется локализованным А-источником который действует конечное время Т. Выявлены условия, при которых время коллапса острова t\_{c} становится много больше периода инъекции Т.

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

Разработаны лабораторные технологии получения волокон на основе оксида алюминия и алюминатов кальция. Исследованы микроструктуры указанных волокон и установлены зависимости их особенностей от исходных компонентов и условий формирования. На полумодельных композитах с хрупкой матрицей из рекристаллизованного молибдена реализованы механизмы, обеспечивающие квазипластическое поведение таких композитов под нагрузкой и достижение значений критических коэффициентов интенсивности напряжений, близких соответствующим величинам высокопрочных конструкционных металлических сплавов. Полученные волокна найдут применение в композитах с интерметаллидными матрицами, в частности, на основе алюминидов титана, а также на основе керамик.

Руководитель: д.т.н. С.Т. Милейко

Методами рентгенографии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа изучены явления смачивания границ зёрен и межфазных границ в сплавах меди и алюминия. Установлены температурные интервалы преобладания полного и неполного смачивания зернограницных ансамблей в поликристаллах расплавом. Эти данные позволят впоследствии разработать полуколичественную модель процессов формирования микроструктуры при аддитивном производстве металлических изделий. Исследовано влияние степени деформации и содержания вторых компонентов на формирование высокоугловых границ и эволюцию их ансамблей. Установлена роль энтальпии смешения в сплавах на основе меди на установление динамического равновесия между процессами распада и формирования твёрдых растворов при кручении под высоким давлением.

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, спинзависимые электронные эффекты и спиновые технологии"**

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. Конденсация в лафлиновскую жидкость с  $\nu = 2/3$  при понижении температуры не приводило к каким-либо изменениям ширины линии ЭПР и, следовательно, скорости релаксации электронного спина. Вместе с тем, 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: академик И.В. Кукушкин

Построена обобщенная квазиклассическая теория для описания триплетного эффекта близости в гетероструктурах сверхпроводник/сильный неоднородный ферромагнетик. Показано, что в ферромагнетике возникает эффективное калибровочное поле, зависящее от спина электронов, составляющих куперовскую пару и имеющее противоположный знак для триплетных куперовских пар с проекцией спина +1 и -1. Физически это калибровочное поле появляется в результате наличия неоднородности намагниченности в системе или спин-орбитального взаимодействия. Это калибровочное поле приводит к генерации спонтанных электрических сверхтоков или фазовых градиентов в различных геометриях и является источником спин-триплетных корреляций в системе. Рассматриваются конкретные примеры генерации спонтанных токов и спонтанных разностей фаз в джозефсоновских системах.

Известно, что в гетероструктурах, содержащих зеемановски расщепленные сверхпроводники, возможен гигантский термоспиновый эффект – т.е. генерация спинового тока разницей температур между нормальной и сверхпроводящей частями системы. Мы показываем, что этот термоиндуцированный спиновый ток приводит к генерации термоиндуцированного спинового разбаланса в системе, который, в свою очередь, может достигать значений зеемановского расщепления в системе и сильно влияет на сверхпроводимость. В зависимости от знака разности температур между нормальной и сверхпроводящей частями термоиндуцированный спиновый разбаланс может приводить к повышению критической температуры или к дополнительному подавлению сверхпроводимости при самых низких температурах. Последняя возможность может привести к тому, что сверхпроводящее состояние в системе появляется при некоторой конечной температуре.

Руководитель: к.ф.м.н. А.М. Бобков

### **Физика элементарных частиц, фундаментальная ядерная физика и ядерные технологии**

Определена область устойчивости нового гидрата  $C_0$  на Т-Р фазовой диаграмме системы вода-водород. Экспериментально показано, что граница между областями устойчивости гидратов  $C_0$  и  $C_1$  близка к вертикальной линии при давлении 7.5 ГПа.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Е. Антонов

### **Теплофизика высоких плотностей энергии**

Обнаружена сверхпроводимость ( $35 < T_c < 75$  К) в металлооксидных образцах вольфрама, полученных поверхностным окислением металлических вольфрамовых образцов при специальных условиях. С помощью магнитометрических и электротранспортных измерений установлено то, что сверхпроводимость возникает в пограничном (интерфейсном) слое  $W/WO_3$ , возникающем между фазами металлического вольфрама и его оксида  $WO_3$  в процессе приготовления образцов. С

помощью рентгеноструктурного анализа, а также электронной микроскопии исследована структура интерфейсного слоя. Установлено, что исследованные сверхпроводники являются нестабильными при нормальных условиях, в то время как хранение образцов при температуре жидкого азота (77 К) позволяет неограниченно долго сохранять их сверхпроводящие свойства.

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

### **Актуальные проблемы физики низких температур**

Изучено самоупорядочение топологических дефектов в ограниченной геометрии тонких смектических плёнок. Показано, что точечные топологические дефекты, локализованные на ступеньках толщины плёнки, переориентируют с-директор так, что он сохраняет взаимную ориентацию по обе стороны от ступенек. Получены твердотельные фотонные кристаллы со структурой одномерных жидкокристаллических фотонных кристаллов с различным спектральным положением фотонной запрещенной зоны. Изучена структура переходной области между смектической нанопленкой и объемным материалом. Модулированная структура, наблюдающаяся вблизи плёнки, на большом расстоянии от пленки (порядка 50 мкм) трансформируется в двумерную структуру фокальных доменов.

Изучено влияние толщины нанокристаллических пленок Pd<sub>99</sub>Fe<sub>01</sub> на самоорганизацию магнитных кластеров и их взаимодействие. Показано, что в пленках толщиной 20-25 нм наблюдается релаксация намагниченности, характеризующаяся двумя процессами релаксации с двумя временами, описывающими вклады дальнедействующих взаимодействий и релаксацию в кластерах. Соотношение вкладов каждого вида релаксаций изменяется с температурой от 2 до 100 %.

Исследовано комплексообразование ионов РЗЭ, U и Th с тетраоктилдигликольамидом (ТОДГА) в присутствии динонилнафталинсульфоуксусной кислоты (ДННСК). Установлено, что степень извлечения РЗЭ, U и Th из водных растворов сорбционными материалами, содержащими ТОДГА, значительно возрастает в присутствии ДННСК. Установлен оптимальный состав сорбционного материала.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.К. Долганов

В 2017 году были проведены исследования взаимодействия атомов хрома с дислокациями в кремнии. Измеряя ток, наведенный лазером с длинами волн 650 нм и 980 нм, установлено, что до диффузии хрома чистые дислокации не активны в электрон-дырочной рекомбинации. После диффузии хрома независимо от способа охлаждения образца (медленно, закалка в жидкий азот, закалкой в воду) активность дислокаций в рекомбинации резко увеличивается. Однако сигнал DLTS от атомов хрома на дислокациях не был обнаружен ни в спектрах образцов n-типа, ни в спектрах образцов p-типа. По-видимому, атомы хрома собираются на дислокации и образуют на них преципитаты нанометровых размеров, которые демонстрируют сильную электрон-дырочную рекомбинацию, но не дают значительного вклада в сигнал DLTS.

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

Исследования турбулентных спектров в системах радиальных и азимутальных мод были проведены на поверхности жидкого водорода в цилиндрической ячейке. Волны возбуждались переменным электрическим полем с помощью сегментных

электродов, противоположные электроды соединялись в пары. Азимутальные моды возбуждались переменным напряжением, приложенным к одной из пар электродов, в случае если напряжение прикладывалось ко всем электродам, возбуждались радиальные моды. Волны регистрировались с помощью луча, отражающегося от поверхности жидкости.

Сигнал накачки формировался генератором Agilent 33210A, и усиливался с помощью высоковольтного усилителя представленного, переменное напряжение с выхода усилителя амплитудой порядка 300 В суммировалось с постоянным напряжением и подавалось на систему электродов. Питание высоковольтной части схемы усилителя осуществлялось высоковольтным источником SPELLMAN SL300

Спектры колебаний  $P^2_{\omega}$  наблюдали при возбуждении радиальной моды и азимутальной моды на частоте  $f_p = \omega/2\pi = 21.44$  Гц и амплитудой  $U_p = 267$  В. В интервале частот от 30 Гц до нескольких килогерц в распределение амплитуд гармоник по частотам  $P^2_{\omega}$  можно наблюдать формирование прямого турбулентного каскада капиллярных волн Колмогорова-Захарова. Пики на частотах, кратные частоте накачки, соответствуют гармоникам, которые возникают вследствие процессов нелинейного взаимодействия капиллярных волн. Отметим, что каскады энергии в системе азимутальных и радиальных мод значительно отличаются.

Таким образом, при монохроматической накачке вблизи резонансной частоты ячейки может наблюдаться существенное различие в высокочастотной области спектров радиальных и азимутальных мод, что связано с дискретностью спектра собственных колебаний ячейки.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Левченко

Методом направленной кристаллизации получены кристаллы твердых растворов  $(ZrO_2)_{1-x}(Sc_2O_3)_x(CeO_2)_{0.01}$  ( $x = 0.08-0.10$ ). Показано, что солегирование кристаллов оксидом церия приводит к увеличению стабильности тетрагональных фаз и уменьшению тенденции формирования низкосимметричной ромбоэдрической фазы по сравнению с кристаллами, стабилизированными только оксидом скандия. Показано, что введение оксида церия в количестве 1 мол.% увеличивает проводимость кристаллов, но повышение удельной электропроводности кристаллов зависит от содержания  $Sc_2O_3$  в исходном составе и определяется фазовым составом кристаллов. Наибольшей проводимостью обладают кристаллы  $10Sc1CeSZ$ , в которых присутствует кубическая фаза.

Установлено, что при ускорении массопереноса в жидких наносuspензиях (при интенсивном центрифугировании или лазерном воздействии) и кристаллических твердых телах (при интенсивной пластической деформации) возникает новый механизм периодической самоорганизации структурных неоднородностей, индуцированный взаимообменом между этими неоднородностями резонансными фононами и фотонами. обнаружена существенная анизотропия люминесценции с преобладающей направленностью излучения вдоль волокна, что объясняется распределенной обратной связью для излучаемых фотонов на периодически модулированной структуре

Руководитель: д.ф.-м.н. С.И. Бредихин

Экспериментально исследован Андреевский транспорт через одиночный переход между In сверхпроводником и толстой пленкой трехмерного топологического

изолятора  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Исследованные образцы  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  имеют разные объемные и поверхностные характеристики, причем наличие топологического поверхностного состояния подтверждается прямыми измерениями ARPES. Все переходы демонстрируют Андреевский транспорт внутри сверхпроводящей щели. Для прозрачных переходов  $\text{In-Bi}_2\text{Te}_3$ , обнаружен набор почти периодических осцилляций проводимости, которые сопровождаются аномалией проводимости при нулевом смещении. Эффекты исчезают при температурах выше сверхпроводящего перехода или для образцов с резистивными переходами. Предложена согласованная интерпретация наблюдаемых эффектов, как возникающих из-за наведенных сверхпроводящих корреляций в пределах  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  топологического поверхностного состояния.

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

Установлено, что исследованные в проекте процессы образования периодических сверхструктур при интенсивных деформационном воздействии на кристаллы и лазерном воздействии на жидкие суспензии соответствуют пригожинскому принципу минимума производства энтропии в динамических диссипативных процессах. Показано, что в данных случаях существенными механизмами реализации этого принципа являются взаимообмены резонансными фононами и фотонами, формируемыми в этих системах при их периодизации, т.к. за счет этого значительно уменьшаются диссипативные потери механической или оптической энергии, вводимые в указанные системы извне. Выявлена значительная роль в исследованных процессах динамической самоорганизации периодических структур нелинейных явлений, обусловленных пространственным перераспределением внешних потоков энергии при образовании неоднородностей внутренней структуры.

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.В. Классен

Исследовано изменение низкотемпературных спектров фотолюминесценции двумерных электронов в гетеропереходах  $\text{MgZnO} / \text{ZnO}$  при уменьшении плотности электронов от  $2,3 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$  до  $3,5 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . Показано, что значение массы квазичастичной плотности состояний можно прямым образом извлечь из ширины линии фотолюминесценции 2DES и установлено, что дисперсия электронов с сильным взаимодействием претерпевает значительную перенормировку и масса плотности состояний в такой системе может вдвое превышать массу объемного материала, изменяясь от  $0,3 m_0$  до  $0,6 m_0$ . Эта перенормировка массы двумерных электронов, несомненно, связана с эффектами сильного электрон-электронного взаимодействия, поскольку экспериментальное изменение плотности электронов отвечает значительной вариации параметра взаимодействия  $r_s$ , который увеличивается от величины 2,4 до значения 6,5.

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

С помощью методики время-разрешенной оптической спектроскопии в образцах полумагнитных полупроводниковых  $\text{A}^2\text{B}^6$  квантовых ям с достаточно малой концентрацией магнитных ионов и, соответственно, с длинными ( $\tau_{\text{SLR}} > 10 \text{ мкс}$ ) временами спин-решеточной релаксации была изучена зависимость этих времен от интенсивности оптической накачки, возбуждающей марганцевую подсистему. Было

определено, что в квантовой яме на основе  $Zn_{0.98}Mn_{0.02}Se$  в магнитном поле 2.9 Т после возбуждения коротким мощным импульсом лазера длительностью  $\sim 7$  нс изменение плотности оптической накачки от  $2.4 \text{ кВт/см}^2$  до  $177 \text{ кВт/см}^2$  приводит к существенному сокращению времени спин-решеточной релаксации  $\tau_{SLR}$  от 135 до 76 мкс.

Руководитель: к.ф.-м.н. А.А. Максимов

Проведены процессы окисления поверхности деформированных образцов изотопно обогащенного (содержание  $Si^{29}$  около 76%) кремния и образцов кремния с природным содержанием изотопов с целью генерации потоков собственных междоузельных атомов в дислокационную структуру образцов. Исследование их низкотемпературных спектров фотолюминесценции (ФЛ) выявило схожие изменения длинноволновой части дислокационной люминесценции (ДЛ) независимо от процентного содержания  $Si^{29}$ , при этом интенсивность коротковолновой части ДЛ практически не изменилась. Наблюдается спектральное перераспределение интенсивности ДЛ: рост интенсивности длинноволнового плеча  $0.78 \text{ eV}$  полосы D1 и люминесценции в области  $0.85 \text{ eV}$ . Обнаружено, что температурные зависимости D1 линии изотопно обогащенного  $Si^{29}$  до и после процесса окисления существенно отличаются в интервале температур 6-60К.

Анализ спектров дефектных состояний в запрещенной зоне исследуемых образцов, полученных методом нестационарной спектроскопии глубоких уровней, показал высокую ( $1.2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) концентрацию глубоких центров. Показана их связь с дислокациями или дефектами, введенными при деформации. Исследование распределения данных глубоких центров по образцу показало их равномерное распределение по глубине.

Руководитель: д.ф.-м.н. Э.А. Штейнман

Изучены магнитные свойства, фазовый состав, распределение элементов по сечению в аморфных микропроводах состава  $Fe_{47.4}Ni_{26.6}Si_{11}B_{13}C_2$  и их изменение после кристаллизации. Распределение элементов фиксировали с помощью трехмерного масс-спектрометра *LEAP 4000* HR (атомного зонда), позволяющего проводить определение элементного состава с разрешением, близким к атомарному. Фазовый состав изучали с помощью рентгеновского дифрактометра Siemens 500.

- Обнаружено изменение концентрации металлических компонентов и бора в приграничной области металлической сердцевинки со стеклянной оболочкой, причем концентрация кремния и углерода остаются неизменными. Изменений концентраций элементов в исходных образцах не обнаружено.

- Установлено, что при нагреве аморфного сплава образуются кристаллы фаз  $Fe(Si)$ ,  $Fe_3Ni_3B$  ( $NiFe_2$ )<sub>22</sub> $Si_7$  (рис.2). Распределение бора становится немонотонным вдоль оси по глубине от поверхности. Возникают области обеднения и обогащения с расстоянием между ними около 50 нм. (Рис.1)

- Показано, что появление при отжиге областей неоднородности (как по элементному, так и по фазовому составу) приводит к уменьшению подвижности доменных границ.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.С. Аронин

## Электронный корреляции в системах с сильным взаимодействием



Экспериментально исследован магнитотранспорт в нанопроволоках InAs с диффузной проводимостью без слабых связей с длиной от  $\sim 300$  нм до  $\sim 2$  мкм в присутствии заряженного зонда атомно-силового микроскопа, используя методику сканирующего затвора (SGM). Для ультракороткой проволоки ( $\sim 300$  нм) с широким контактом (исток), расположенным с одного конца проволоки, и узким контактом (сток) с шириной не более 200 нм, расположенным по центру проволоки, обнаружено, что сопротивление зависит от положения острия даже когда острие находится за контактом сток, т.е., вне области приложенного транспортного тока. Экспериментальные данные указывают на то, что электроны в узком контакте не термализуются. Этот результат является неожиданным, с учетом того, что длина свободного пробега электронов в структуре оценивается в  $\sim 50$  нм.

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Шашкин

### **Сверхчувствительные сенсоры и гигантское усиление полей оптическими метаматериалами**

*Комбинированные диэлектрические и металлические наноструктурированные подложки для гигантского усиления сигнала неупругого рассеяния света и детектирования вирусов и бактерий*

В структурах с пространственной модуляцией высоты и латеральных размеров диэлектрика, покрытого толстым металлическим слоем (10-80 нм), измерена зависимость коэффициента усиления рамановского рассеяния света от размера диэлектрического столбика. Установлено, что в случае толстого металлического покрытия (использовались серебряное, золотое и медное покрытия) при размерах диэлектрического столбика, близких к длине волны лазерной накачки, наблюдается значительное усиление рамановского сигнала, осциллирующее при вариации геометрических размеров структуры. Показано, что наблюдаемое резонансное усиление рамановского сигнала связано с преобразованием электромагнитного излучения в локализованные плазмон-поляритонные моды, и эффективность такого преобразования определяется соизмеримостью длины волны плазмон-поляритонной моды и планарным размером металлической пленки. Для различных металлических покрытий измерена зависимость коэффициента усиления рамановского рассеяния света от длины волны излучения лазера.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

### **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

**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**

*Микроволновая спектроскопия коллективных возбуждений в новых двумерных электронных системах с сильным межэлектронным взаимодействием*

Методом оптического детектирования резонансного микроволнового поглощения были исследованы магнитоплазменные возбуждения в AlAs/AlGaAs квантовых ямах с сильной анизотропией эффективных масс двумерных электронов. Данный метод впервые применен для непрямозонного полупроводника. Для циклотронной магнитоплазменной моды было обнаружено сильное отклонение от теоретической магнитодисперсионной зависимости. Такое поведение возможно связано со значительно более сильным проявлением эффектов запаздывания в двумерных системах с анизотропным энергетическим спектром.

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

Исследована корреляционная функция второго порядка  $g^{(2)}$  в экситон-поляритонном конденсате в высокодобротных микрорезонаторах на основе GaAs с величиной Раби расщепления 10.5 мэВ, отрицательным детюнигом фотонной и экситонной мод -6.5 мэВ, и временем жизни поляритонов  $\sim 10$  пс при двух типах возбуждений. При резонансном фотовозбуждении конденсата пикосекундными импульсами, когда возбуждается чисто поляритонная система конденсат (i) наследует когерентность возбуждающего лазера, величина  $g^{(2)} = 1.01 \pm 0.005$  в широком интервале плотностей возбуждения и (ii) величина  $g^{(2)}$  увеличивается не более, чем на 2% в затухающем конденсате в течение 40 пс, когда плотность конденсата  $n_c$  уменьшается на 2 порядка величины, что свидетельствует о том, что взаимодействие поляритонов с фононами не приводит к заметному нарушению когерентных свойств конденсата. При нерезонансном возбуждении величина  $g^{(2)}$  даже при оптимальной плотности возбуждения не опускается ниже 1.1, что объяснено взаимодействием конденсата с образующимся при таком возбуждении плотным экситонным резервуаром

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

Исследован теоретически эффект возрастания в параллельном магнитном поле критической электронной плотности для Андерсоновского перехода в двумерной электронной системе с сильным взаимодействием. Вычислены критические электронные плотности для спин-поляризованной и спин-неполяризованной систем и показано, что разница между ними обусловлена только обменно-корреляционными эффектами, которые описываются в нашем случае Хаббардовскими поправками. Критическая электронная плотность в спин-поляризованной системе оказывается выше, чем критическая плотность в спин-неполяризованной системе. Результаты расчета находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Проделана предварительная работа по разработке методики создания полевых транзисторов на основе проволок InAs с различным уровнем допирования на одной подложке. Для реализации и отработки методики переноса отдельных нанопроводов между подложками с последующим точным позиционированием изготовлен манипулятор, позволяющий работать с отдельными нанопроводами (нановискерами). Продемонстрировано успешное применение манипулятора для перемещения и позиционирования нанопроводов InAs, а также нановискеров трехмерного топологического изолятора BiSb.

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

*Диагностика наноструктур, Зондовая и электронная микроскопия, электронография*

С помощью сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) изучена атомная структура нанодоменов и междоменных границ наноструктурированного трехслойного графена, синтезированного на пластинах SiC/Si(001). Установлено, что существует несколько различных вариантов атомной структуры границ в случае развернутых и неразвернутых решеток в соседних нанодоменах. Показано, что во всех случаях наблюдаются искривления (изгиб графенового слоя) нанометрового масштаба вблизи границ. С помощью низкотемпературной сканирующей туннельной спектроскопии (СТС) показано, что изгиб графенового слоя вблизи границ приводит к локализации электронов на границе и появлению энергетической щели в спектре электронов. С помощью данных СТМ/СТС высокого разрешения объяснена температурная зависимость проводимости наноструктурированного графена на поверхности SiC(001). Методами СТМ/СТС исследованы атомная и электронная структуры трехкомпонентных соединений  $\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Se}_3$  при различных концентрациях атомов индия.

Руководитель: к.ф.-м.н. А.Н. Чайка

*Разработка объемных наноматериалов с повышенными механическими и функциональными свойствами для инновационных применений*

Исследованы структурные характеристики и магнитные свойства аморфных сплавов на основе железа, а также их изменения при нагреве и деформации. Установлено, что в процессе пластической деформации в аморфной фазе происходит образование нанокристаллов твердого раствора кремния в ОЦК железе и предельны гистерезисные магнитные характеристики образцов после нанокристаллизации при деформации. Показано, что намагниченность насыщения образцов увеличивается на 40% , коэрцитивная сила увеличивается с 1.7 Э до 2.6 Э. Дополнительная термообработка (после деформирования) позволяет улучшить магнитно-мягкие характеристики деформированных образцов. Определены температурно-временные интервалы термообработок сплава, не приводящие к его кристаллизации. В результате отжига коэрцитивная сила уменьшилась с 2.6 до 2.0 Э без ухудшения остальных характеристик. Применение одноосных механических напряжений приводит к повышению коэрцитивной силы. Наиболее резкое изменение коэрцитивной силы происходит в дапазоне небольших напряжений. Изучена динамика доменных границ и ее изменение при кристаллизации. Протяженность линейного участка зависимости скорости стенки от величины внешнего поля также максимальна в сплаве Fe77.5Si7.5B15. Динамика доменных границ растет после релаксационного отжига в

пределах аморфного состояния, после кристаллизации резко падает. Показано, что наиболее резкое изменение подвижности наблюдается в сплаве Fe<sub>77.5</sub>Si<sub>7.5</sub>B<sub>15</sub>.

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

Продолжены исследования влияния состава и структуры на функциональные свойства (кратковременная высокотемпературная прочность, длительная высокотемпературная прочность, трещиностойкость) сплавов системы Nb-Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> эвтектического типа. Показано, что оптимизированные по составу сплавы этого типа способны могут выдерживать при испытании на изгиб при температуре 1300°C 120 МПа в течение 100 часов, что позволяет применять их для изготовления неохлаждаемых лопаток турбины низкого давления газотурбинных двигателей. Проведено исследование влияния состава и структуры искусственных многослойных композитов типа Nb-(Si,B) и Mo-(Si,B). Технология изготовления таких композитов состояла из нанесения на поверхность ниобиевых и молибденовых фольг слоя эмульсии, содержащей смесь порошков бора и кремния, сушку, для удаления связующего, сборку пакета из полученных таким образом, пластин, последующую сварку под давлением и термообработку в вакууме. Полученные таким способом образцы имели сложную структуру, состоящую из слоев ниобия и находившимися между ними последовательности силицидов примыкающих к ним слоев силицидов Nb<sub>5</sub>(Si,B)<sub>3</sub> - Nb(Si,B)<sub>2</sub> - Nb<sub>5</sub>(Si,B)<sub>3</sub>. Аналогичным образом выглядела структура композита Mo-(Si,B). При испытании на изгиб при температурах 1200°C - 1500°C кратковременная прочность имела величину 200 МПа.

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

### **Физика новых материалов и структур**

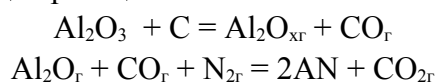
#### *Выращивание монокристаллов бинарных и тройных халькогенидов галлия (II)*

Разработаны методики получения монокристаллов слоистых халькогенидов металлов, предназначенных для изготовления 2D структур химико-механической эксфолиацией. Получены новые данные о люминесцентных свойствах 2D структур на основе GaSe и GaTe, в том числе, имеющих толщину в одну элементарную ячейку; исследована оптическая стабильность этих материалов, перспективных для создания новых светоизлучающих приборов видимого диапазона спектра. Разработан способ синтеза GaS, позволяющий получать высокочистый однофазный материал, на основе которого выполнено приготовление образцов непрерывного ряда твердых растворов GaSe<sub>1-x</sub>S<sub>x</sub> (x = 0-1) и исследование их оптических свойств и фазового состава. Совместно с исследователями University of Münster и University of Sheffield предложены однофотонные источники излучения на основе монокристаллических 2D-фольг GaSe, работающие в интервале от криогенных температур до комнатной. Формирование источников обеспечивается локальными деформациями фольг за счет наноразмерных кластеров Se, вызывающими запирающий потенциал, обеспечивающий локальный захват экситонов.

Руководитель: к.т.н. Н.Н. Колесников

Экспериментально исследован процесс синтеза пленок нитрида алюминия на подложке сапфира методом высокотемпературной сублимации. Эксперименты проводились при температуре 1700°C в атмосфере азота. В качестве исходной шихты

использована смесь порошков оксида алюминия и углерода. При нагревании этой смеси происходят следующие реакции:



Перенос продуктов в газовой фазе происходит на подложку сапфира диаметром 50 мм с эпитаксиально приготовленной гранью (0001), которая расположена при более низкой температуре, чем исходная шихта. Результаты рентгенофазового и элементного анализа показали наличие текстурированной пленки нитрида алюминия на подложке сапфира.

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

Созданы и изучены гетероструктуры на основе сверхпроводящих пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  (YBCO), демонстрирующие биполярный эффект резистивных переключений (БЭРП) с эффектом памяти (мемристор). Родительские соединения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) – Моттовские диэлектрики. Это обстоятельство является ключевым функциональным свойством ВТСП для формирования гетероструктур на их основе с целью реализации БЭРП. Как следует из фазовой диаграммы  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ , при содержании кислорода от 6 до 6.5 (YBCO<sub>6</sub>) является диэлектриком, при содержании кислорода от 6.5 до 7 YBCO является сверхпроводником. Методом фотолитографии были разработаны гетероструктуры на основе эпитаксиальных пленок YBCO в планарной геометрии, в которых реализованы и исследованы БЭРП. Планарные структуры - это МИМ переходы, в которых микроразмер формируются верхним электродом точечного типа. Ранее было показано, что в таких планарных структурах на резистивные переключения значительное влияние оказывает топология распределения электрического поля. В этом случае неоднородное распределение электрического поля в гетероструктуре создает области с максимальной напряженностью электрического поля (критические области), на краю верхнего контакта формируется перколяционный путь в форме кольца. Ключевыми факторами для переключений являются наличие вакансий кислорода в YBCO<sub>6</sub>, геометрические размеры структуры и существование барьеров на электродах структуры, в результате чего реализуется модель двух противоположно направленных диодов.

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.А. Тулина

Проведено картирование химического состояния кислорода в образцах ZnO легированных оловом с использованием методики аналитической просвечивающей электронной микроскопии. Был использован метод спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (EELS). Метод имеет преимущество при анализе легких элементов. На основе полученных данных показано, что состояние кислорода в объеме зерен ZnO и на границе различно, что объясняет появление дополнительных пиков в линии кислорода в спектрах РФС

Руководитель: к.т.н. А.А. Мазилкин

Разработана методика выращивания эвтектических гранат-содержащих ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ), перовскит-содержащих ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{GdAlO}_3$ ) волокон, а также волокон тройной системы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{ZrO}_2$ ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) в режиме одиночного и группового (до 20 волокон) диаметром от 200 до 350 мкм. Оптимизированы режимы выращивания,

позволяющие управлять структурой волокон, которая определяет механические свойства эвтектических волокон. Показано, что при скорости выращивания до 120 мм/час эвтектическая структура однородна. При дальнейшем увеличении скорости возникает колонийная структура, которая снижает механические характеристики гранат-содержащих эвтектических волокон. Оптимизированы режимы выращивания перовскит-содержащих  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-GdAlO}_3$  волокон с высокой объемной долей регулярной rod-like структуры, обеспечивающей пластичный характер разрушения и высокое сопротивление ползучести при температурах более 1300°C. Разработана система стабилизации диаметра эвтектических волокон, позволяющая предотвратить колебания волокон в процессе их выращивания в восходящем газовом потоке тепловой зоны. Система позволяет существенно повысить механические характеристики волокон за счет минимизации поверхностных дефектов (снижения шероховатости и уменьшения разброса диаметра волокон). Проведены механические испытания полученных профилированных эвтектик при комнатной температуре и температурах 1100-1650°C

Руководитель: д.т.н. В.Н. Курлов

### **Материя при высоких давлениях**

*Фазовые переходы и фотоиндуцированные превращения при высоком давлении в молекулярных донорно-акцепторных комплексах фуллерена  $\text{C}_{60}$*

Определена барическая зависимость фононных мод и параметров элементарной ячейки молекулярного комплекса фуллерена  $\{\text{Cd}(\text{dedtc})_2\} \cdot \text{DABCO}_2 \cdot \text{C}_{60} \cdot \text{DABCO}_2$  при высоком давлении методами спектроскопии комбинационного рассеяния света и рентгеноструктурного анализа. Измерения спектров КРС с лазерным излучением 514.5 нм показывают особенность в барической зависимости фононных мод при 2 ГПа. Барическая зависимость параметров решетки комплекса при давлении до 3 ГПа является гладкой и монотонной. Объем ячейки и наименьшее расстояние между молекулами в слоях фуллерена хорошо описываются уравнением состояния Марнагана, а значение объемного модуля и его производной близки к аналогичным параметрам для кристаллов фуллерена. Точно установлено, что в этом диапазоне давлений ковалентные связи между молекулами фуллерена не образуются. Измерены спектры КРС комплекса при возбуждении лазером с частотой 785 нм и показано, что барическая зависимость фононных мод в этом случае не имеет особенностей. Наблюдавшиеся ранее особенности в барической зависимости фононных мод связаны с фотополимеризацией в слоях фуллерена при использовании лазерного возбуждения 514.5 нм, что подтверждается также и измерениями временной эволюцией спектров.

Руководитель: д.ф.-м.н. К.П. Мелетов

Методом закалки построена изобара растворимости водорода и увеличения объема ГПУ ячейки у твердых растворов  $\text{CoH}_x$  при давлении водорода 3.5 ГПа и температурах от 400 до 800 °C. Литературные данные [Y. Fukai et al. J. Alloys Compd. 407 (2006) 16] о переходе растворов  $\text{CoH}_x$  при температуре 600 °C в высокотемпературную ГЦК модификацию  $\text{CoH}_x$  не подтвердились.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Е. Антонов

Дано обоснование сложных структур при высоком давлении для щелочного металла цезия. Проведен анализ в модели взаимодействия сферы Ферми и зоны

Бриллюэна и образование сложных полиэдров расширенной зоны Бриллюэна-Джонса, заполненных электронными состояниями. Такая конфигурация приводит к понижению энергии кристаллической структуры и способствует устойчивости сложных фаз. Необходимым условием является изменение валентного состояния цезия при сжатии вследствие перекрытия электронов остова с валентной зоной.

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

**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**

В рамках предлагаемого проекта в 2017 году предполагалось провести экспериментальное изучение возможности генерации вихревой системы в сверхтекучем гелии колеблющимися и вращающимися телами, провести оценку плотности вносимых в систему возбуждений и возможности контроля их стационарных состояний. В рамках проекта был исследован новый класс колеблющихся камертонов, в которых было возможно возбуждать не только изгибные моды колебаний, но и вращающиеся. Достоинство таких torsion мод заключается в том, что излучение энергии в виде звуковых волн для них существенно ниже, в отличие от обычных, изгибных. Резонансные частоты для этих двух видов колебаний существенно различаются  $f_F \sim 76$  kHz и  $f_T \sim 390$  kHz.

Было показано, что такие bending- torsion камертоны можно использовать в одновременно как генератор квантовых вихрей, так и приемник таких возбуждений. Эксперименты показали, что генерация турбулентности в сверхтекучем гелии в изгибной моде колебаний камертона соответствует ранее проведенным измерениям и имеет порядок 10-15 см/с. Для вращательных колебаний неожиданное оказалось, что эта величина примерно на полтора порядка ниже. Причина такого поведения пока непонятна, для выяснения природы развития турбулентности для вращательных колебаний в настоящее время построен алгоритм вычислений и проводится компьютерное моделирование.

Поведение и изгибных мод (bending), и вращательных (torsion) в ламинарном режиме хорошо описывается в рамках электронно-механической аналогии. При этом ширина резонансной кривой прямо пропорциональна плотности окружающей среды.

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Б. Ефимов

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

**I. Гранты молодых ученых**

1. Исследована природа неклассического света, проходящего через высокочастотный полупроводниковый GaAs микрорезонатор при облучении полупроводниковым лазером, в том числе и с помощью стрик-камеры. Показано, что причиной возникновения и развития пульсаций является асимметричная конкуренция поперечных лазерных мод, возникающая вследствие вынужденного рассеяния

лазерного поля в активном слое на волнах электронной плотности, а полупроводниковый микрорезонатор играет вспомогательную роль в наблюдении длинновременных осцилляций, осуществляя спектральную селекцию мод возбуждающего лазера. Проведены измерения корреляций интенсивностей холостой и сигнальной волн в процессе стимулированного поляритон-поляритонного рассеяния в полупроводниковом микрорезонаторе. Предполагалось обнаружить сверхгруппировку прихода фотонов сигнальной и холостой волн, поскольку стимулированное поляритонное рассеяние есть четырёхквантовый параметрический процесс. Однако экспериментально сверхгруппировка не обнаружена. Возможные причины: i) большая степень декогеренции холостой волны из-за сильного взаимодействия её с экситонным резервуаром, ii) потеря корреляций при ослаблении сигнальной волны при помощи нейтральных фильтров до уровня интенсивности, необходимого для регистрации лавинным фотодиодом в старт-стоп системе.

грант Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук - МК-7844.2016.2

Руководитель: к.ф.-м.н. А.А. Деменев

## **II. Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ**

1. В образцах гетероструктур GaAs/AlGaAs с двумерными электронными системами выполнены экспериментальные исследования температурных зависимостей частоты переключений спонтанного электрического поля, возникающего в индуцированных микроволновым излучением состояниях с пониженной диссипацией на низкой частоте, и проводимости слоя селективного легирования. Обе температурные зависимости следуют закону Аррениуса с близкими значениями энергии активации. Полученный результат указывает на пропорциональность этих величин и подтверждает выдвинутую недавно гипотезу о том, что наблюдаемые переключения спонтанного электрического поля вызываются его динамической экранировкой за счет перераспределения заряда в слое легирования, являющегося неотъемлемой частью гетероструктур с селективным легированием.

Выполнены исследования минимумов поглощения микроволнового излучения двумерными электронными системами, обнаруженных при частотах излучения свыше примерно 100 ГГц в положении гармоник циклотронного резонанса с номерами от двух до восьми. Измерения проведены на частотах до 370 ГГц. Определен декремент затухания амплитуды минимумов с ростом номера гармоники. Проведенный анализ показал, что единственная известная возможность объяснения таких особенностей микроволнового поглощения состоит в учете корреляции последовательных актов рассеяния электронов (немарковские процессы или эффекты памяти). Получено удовлетворительное согласие между теоретическими и экспериментальными значениями декрементов затухания, подтверждающее существенную роль этих эффектов в динамике электронов в исследованной системе.

В образцах гетероструктур GaAs/AlGaAs с двумерными электронными системами в аксиально-симметричной геометрии эксперимента реализованы возбуждение и детектирование безызлучательных плазменных мод, соответствующих нулевому суммарному дипольному моменту высокочастотного электрического поля. Исследования выполнены в диапазоне частот от 10 до 50 ГГц. Для возбуждения использована ближнеполюсная методика, а детектирование выполнялось методом



оптической фотолюминесценции. Исследованы дисперсия, магнитодисперсия и затухание таких мод. Обнаружены малая величина затухания, независящая от частоты излучения, и квадратичная по магнитному полю магнитодисперсия. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетами для таких мод.

На серии образцов с двумерными электронными системами в GaAs квантовых ямах, перекрывающей порядок величины по плотности электронов, исследованы индуцированные микроволновым излучением осцилляции магнетосопротивления периодичные по обратному магнитному полю с периодом, определяемым эффективной массой электронов. Обнаружена зависимость периода осцилляций от плотности электронов, из которой определена соответствующая зависимость эффективной массы, имеющая немонотонный характер. Основным эффектом является значительное возрастание массы при уменьшении плотности электронов в области малых плотностей, являющееся, по-видимому, результатом ее перенормировки за счет электрон-электронного взаимодействия. Величина эффективной массы в минимуме зависимости от плотности оказалось примерно на 10% меньше значения, известного для дна зоны проводимости в GaAs и определяемого в экспериментах по магнитоплазменному и циклотронному резонансам.

Грант РФФИ 14-02-00599

Руководитель: д.ф.-м.н. С.И. Дорожкин

2. Исследовано изменение низкотемпературных спектров фотолюминесценции двумерных электронов в гетеропереходах MgZnO / ZnO при уменьшении плотности электронов от  $2,3 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$  до  $3,5 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . Показано, что значение массы квазичастичной плотности состояний можно прямым образом извлечь из ширины линии фотолюминесценции 2DES и установлено, что дисперсия электронов с сильным взаимодействием претерпевает значительную перенормировку и масса плотности состояний в такой системе может вдвое превышать массу объемного материала, изменяясь от  $0,3 m_0$  до  $0,6 m_0$ . Показано, что эта перенормировка массы двумерных электронов, несомненно, связана с эффектами сильного электрон-электронного взаимодействия.

В гетероструктурах MgZnO/ZnO при четных значениях фактора заполнения уровней Ландау с помощью магнитооптического метода исследованы свойства двумерной электронной системы в режиме ферромагнитной неустойчивости Стонера. На основе этих измерений построена фазовая диаграмма для перехода от парамагнитного к ферромагнитному упорядочению в терминах двумерной плотности электронов и угла наклона магнитного поля. Одним из индикаторов спинового упорядочения является спин-экситон внутризонного уровня, который приобретает большой спектральный вес в ферромагнитных фазах. Из анализа свойств фотолюминесценции и неупругого рассеяния света, мы оценили отношение площадей поверхности, занимаемых областями двух фаз в окрестности точки перехода.

Исследовано резонансное микроволновое поглощение двумерной электронной системы в гетероструктуре AlGaAs / GaAs, возбуждаемой методом ближнего поля. Наряду с коллективными модами магнитоплазмонов мы наблюдали резонанс, который точно следует за положением электронного циклотронного резонанса и не обнаруживает коллективного деполяризационного плазменного сдвига. Показано, что обнаруженная циклотронная мода отсутствует в геометрии Фарадея, возбуждается только в геометрии ближнего поля и локализуется на краю возбуждающего

металлического электрода. Такое поведение указывает на одночастичный характер обнаруженного резонансного микроволнового поглощения, которое во многом аналогично резонансу Азбеля-Канера, наблюдаемого металлах в условиях неоднородного электромагнитного поля, реализующегося в приповерхностном скин-слое.

Грант РФФИ 14-12-00693

Руководитель: академик И.В. Кукушкин

3. Исследованы поляризационная неустойчивость и нелинейный внутренний эффект Джозефсона в поляритонном конденсате резонансно возбуждаемом на верхнем поляритонном подуровне в МР с пониженной симметрией. Обнаружено, что линейно поляризованный конденсат теряет свою устойчивость при плотностях возбуждения выше некоторого порогового значения и переходит в режим внутренних джозефсоновских колебаний с сильно осциллирующими степенями циркулярной и диагональной линейной поляризации, при больших плотностях поляритонов, поляритон-поляритонное взаимодействие приводит к нелинейному эффекту Джозефсона. Установлены причины поляризационной неустойчивости

Исследована возможность динамического сжатия поляритонной системы в планарном микрорезонаторе после окончания резонансного импульса накачки с формированием основного состояния конденсата на дне поляритонной зоны. Показано, что такое состояние конденсата может формироваться при возбуждении когерентными сходящимися гауссовыми импульсами света с большой апертурой при условии, что активная область резонатора находится до перетяжки гауссова пучка, при этом реализуется самоподдерживающийся режим динамического сжатия поляритонного конденсата.

Исследована временная динамика спирного экситон-поляритонного конденсата в высокодобротном анизотропном GaAs микрорезонаторе при резонансном импульсном возбуждении светом с ненулевым орбитальным моментом. Обнаружено явление пространственного разделения спиновых компонент поляритонного конденсата при накачке когерентной суперпозицией двух пучков с противоположными циркулярными поляризациями и орбитальными моментами. Ключевыми факторами для наблюдения эффекта являются анизотропность МР, проявляющаяся в расщеплении линейных компонент основного поляритонного состояния и наличие у спиновых компонент конденсата противоположных орбитальных моментов.

Грант РФФИ 14-12-01372

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

4. Детально исследованы композиты с тремя типами оксидных волокон - на основе иттрий-алюминиевого граната  $YAlO_3$  (YAP) двух силикатов иттербия  $Y_2SiO_5$  и  $Y_2Si_2O_7$ . Композиты с волокнами силицида молибдена  $Mo_3Si$  были также подвергнуты углубленному изучению. Все композиты характеризуются высокой трещиностойкостью, до  $30 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ , высокими величинами отношения прочности образца с надрезом и без него; эта величина может достигать 1, что свидетельствует о возможной практической нечувствительности к дефектам такого типа композитов. Прочность композитов остаётся достаточно высокой до  $1400^\circ\text{C}$ . Получены первые образцы новых композитов с иерархической структурой, в которой стержни

разрабатываемых композитов с оксидными волокнами и молибденовой матрицей помещены в оксидную матрицу. Показана возможность наполнения молибденовой матрицы частицами силицидов. Разработка найденной схемы приведёт к существенному росту крипостойкости композитов и новым возможностям их защиты от окисления. Разработана методика нанесения покрытия на основе молибдатов иттрия с использованием ионно-плазменной установки. Проведены первые эксперименты с окислением образцов с покрытием на воздухе при температуре 1250°C и в газовом потоке с температурой газа до 1350°C, которые показали перспективность защиты композитов от газовой коррозии.

Проект РНФ 16-19-10624

Руководитель: д.т.н. С.Т. Милейко

5. Поставлен первый эксперимент по шумовой спектроскопии при помощи локального шумового сенсора на основе диффузионного ППН. Продемонстрирована принципиальная возможность измерения не только шумовой температуры, но и неравновесной функции распределения в разогретой внешним током низкоомной полоске нормального металла. Сравнение данных неравновесного эксперимента с реперными кривыми в случае равновесной функции распределения в ППН и полоске показало, что форма исследуемой функции распределения близка к локальному равновесию (функция Ферми-Дирака).

Природа эффекта близости исследована в длинных (~ 300 нм) отрезках InAs ППН с контактами из Al в зависимости от плотности носителей, контролируемой задним затвором. Получены экспериментальные свидетельства высокой прозрачности интерфейса в области — эффект возвратного сопротивления, избыточный ток и многократное андреевское отражение. В области больших напряжений на затворе положение щелевых особенностей в дифференциальном кондактансе совпадает с ожидаемым для сверхпроводящей щели в алюминии, определенной независимо. При уменьшении затворного напряжения особенности кондактанса становятся слабее и уходят в область меньших напряжений, что связано с уменьшением прозрачности интерфейса InAs/Al, и подавлением наведенной в InAs сверхпроводящей щели. В сотрудничестве с коллегами из МФТИ разработана модель интерфейса, отличная от классического подхода ВТК и основанная на плавном потенциальном рельефе интерфейса (барьер типа Шоттки). Показано более адекватное поведение модели в области малых затворных напряжений, способное описать экспериментальные зависимости щелевых особенностей.

Проведены численные расчеты энергетической редаксации и теплового баланса в образцах двумерных топологических изоляторов на основе квантовых ям HgTe/CdHgTe с инвертированной зонной структурой. Эти результаты приложены к интерпретации данных по дробовому шуму гипотетических геликальных краевых каналов в квантовых ямах CdTe/HgTe, где имеется необходимость независимой проверки механизма транспорта заряда в самых коротких каналах (~ 500 нм), реализованных в латеральных p-n переходах.

Проект РНФ 16-42-01050

Руководитель: к.ф.-м.н. В.С. Храпай

6. Обнаружено, что в двумерной электронной системе в спин-неполяризованном состоянии целочисленного квантового эффекта Холла при факторе заполнения  $\nu=2$  (холловский изолятор) транспорт неравновесных спиновых возбуждений – спин-триплетных оптически неактивных «темных» магнитоэкситонов – происходит недиффузионным образом. Поскольку триплетные магнитоэкситоны состоят из возбужденного электрона с перевернутым спином на пустом первом уровне Ландау и эффективной дырки на заполненном нулевом уровне Ландау электронной системы, имеет место электрон-дырочная симметрия: масса и заряд возбужденного электрона равны массе и заряду эффективной ферми-дырки. В результате пространственная диффузия спиновых возбуждений в двумерной электронной системе в холловском изоляторе не связана ни с переносом заряда, ни с переносом массы (в процессе распространения возбуждений локальная плотность электронов в пространстве не меняется), а только с переносом энергии возбуждения и спина. Получены указания на то, что в исследуемой системе, в условиях, когда триплетные магнитоэкситоны образуют магнетофермионный конденсат, наблюдаемый транспорт имеет бездиссипативный характер. Спин распространяется на гигантские расстояния: доли миллиметра и более, – что открывает новые возможности для манипуляции спиновой степенью свободы.

Проект РФФИ 16-02-10075

Руководитель: академик В.Б. Тимофеев

7. Разработаны методы ускорения генерации случайных чисел квантового генератора случайных чисел (КГСЧ) на фотоэффекте, а также разработан и изготовлен макетный вариант КГСЧ.

Сделан криптоанализ мезоскопической квантовой криптографии для случая конечных передаваемых последовательностей и реализован макетный вариант системы и выяснена предельная длины передачи секретных ключей.

Завершен криптоанализ системы квантовой криптографии с кодированием в поднесущую частоту и выяснены принципиальные ограничения по дальности передачи секретных ключей.

Получены критерии практической криптостойкости систем квантовой криптографии, основанные на частичном переборе ключей, полученных в системах квантовой криптографии с учетом побочной информации.

Разработаны алгоритмы исправления ошибок в первичных ключах, основанные на кодах с низкой плотностью проверок на четность.

Грант РФФИ 16-12-00015

Руководитель: д.ф.-м.н. С.Н. Молотков

8.

1. Экспериментально исследована генерация волновых мод на частотах выше и ниже частоты монохроматической накачки поверхности воды. В ванне размерами 70x70 см изучалось формирование мод в системе стоячих волн при возбуждении поверхности двумя перпендикулярными плунжерами. На частотах возбуждения 6 и 8 Гц наблюдается формирование гармоник как выше, так и ниже частоты накачки. Амплитуда низкочастотных гармоник экспоненциально возрастает со временем после включения накачки. Характерное время роста амплитуды превосходит вязкое время затухания, измеренное независимо с помощью метода лазерного луча. Показано, что

процесс формирования низкочастотных и высокочастотных гармоник обусловлен четырехволновыми процессами распада волн на частоте накачки. На распределении энергии вихревого движения по волновому вектору основной пик связан с энергией решетки вихрей, сформированной стоячими волнами. Хорошо выраженный пик на волновых векторах меньше вектора накачки обусловлен волнами, которые распространяются вдоль одной из сторон. Этот пик не формирует решетку вихрей, что прекрасно видно на распределении энергии вихревого движения. Однако, стоячая волна, возбужденная одним плунжером вдоль одной из сторон ванны, может сформировать большие вихри на поверхности. По-видимому, именно этому механизму обязано формирование крупномасштабных вихрей на волновых векторах в диапазоне от 0.1 до 0.2 см<sup>-1</sup>. В бегущей волне с близкой угловой амплитуды формирование низкочастотных гармоник не наблюдается, но видна, по-видимому, слабая первая гармоника из волны накачки частотой 9 Гц, которая не оказывает влияния на вихревое движение.

2. Экспериментально показано, что при интенсивной монохроматической накачке волн на поверхности сверхтекучего He-II в прямоугольной ячейке в нераспадной области спектра (длина волны на частоте накачки больше капиллярной постоянной) наряду с прямым турбулентным каскадом капиллярных волн можно наблюдать серию низкочастотных гармоник (гравитационные волны). Это указывает, что помимо прямого потока энергии в сторону высоких частот на поверхности жидкости в ячейках конечных размеров может возникать передача энергии в низкочастотную область турбулентного спектра. Низкочастотные волны затухают вследствие трения о дно и стенки контейнера. Пороговую генерацию низкочастотных гармоник с повышением интенсивности накачки (при  $U_p \geq 105$  В) можно объяснить уширением резонансных мод, с повышением амплитуды волны на частоте накачки. При этом расстояние между собственными модами резонатора  $\Delta$  остается заметно больше резонансного уширения (сохраняется режим дискретной турбулентности). В тоже время, расстройка частоты накачки при неизменной интенсивности также может приводить к исчезновению низкочастотных гармоник из-за невыполнения требований законов сохранения энергии и импульса: в силу дискретности системы здесь разрешены не все процессы четырехволнового взаимодействия. К преимуществам экспериментов с гравитационными волнами на поверхности He-II в прямоугольной ячейке по сравнению с жидким водородом или водой в ячейках тех же размеров относится то, что плотность собственных мод низкочастотных колебаний в области гравитационных волн на поверхности He-II заметно выше, а частота перехода от гравитационных к капиллярным волнам заметно выше, чем в водороде или воде, что облегчает условия наблюдения серии низкочастотных колебаний при интенсивной монохроматической накачке.

3. Развита методика измерения поля трехмерной скорости на поверхности воды, которая позволяет одновременно регистрировать вихревое и волновое движения. Зная эволюцию во времени поля горизонтальных составляющих скорости поверхности, можно получить полную информацию о вихревой структуре на поверхности воды и рассчитать распределения скорости, завихренности и энергии, а также энергетические спектры поверхностной скорости. По известному распределению вертикальной скорости можно делать выводы об амплитуде и фазе волн, о соотношении амплитуд стоячей и бегущей волн. По известному соотношению амплитуды вертикальных

колебаний поверхности и горизонтальных колебаний жидкости можно сделать вывод, например, о наличии пленки на поверхности воды и её влиянии на вихревую систему.

4. Экспериментально показано, что при возбуждении взаимно перпендикулярных гравитационных стоячих волн частотой 6 Гц в результате нелинейного взаимодействия на поверхности воды возникают волны с частотами выше и ниже частоты накачки. Все эти волны принимают участие в формировании вихревого движения на масштабах длины волны.

Распределение энергии  $E(k)$  в диапазоне волновых векторов от  $0.3 \text{ см}^{-1}$  до  $5 \text{ см}^{-1}$  формируется в основном процессами нелинейного взаимодействия вихрей, которые генерируются волнами, распространяющимися по поверхности воды. Вклады генерации вихрей низко- и высокочастотными волнами проявляется в виде отдельных пиков на кривых  $E(k)$ . Распределение  $E(k)$ , пропорциональное  $k^{-1.75}$ , формируется накачкой на нескольких масштабах. Зависимость  $E(k)$  от волнового вектора обусловлена наличием прямых каскадов из областей накачки на масштабах волн с частотами от 3 до 18 Гц.

Отметим, что при интерпретации результатов, полученных в экспериментальных ячейках конечного размера, следует принимать во внимание дискретность в спектре поверхностных возбуждений и в вихревом движении.

5. Экспериментально исследовано затухание вихревой решетки, сформированной стоячими гравитационными волнами на поверхности воды частотой 3 Гц. Установлено, что после выключения накачки решетка вихрей со временем затухает по экспоненциальному закону с характерным временем, определяемым вязким затуханием волн. В этот промежуток времени наблюдается Лагранжево движение декорирующих частиц на поверхности воды. На больших временах затухание обусловлено вязким трением вихрей, сформированными нелинейными волнами – Ейлерово движение. В промежуточном интервале времени наблюдается передача энергии из области накачки в большие масштабы в результате нелинейного взаимодействия вихрей. Во время релаксации вихревой решетки на поверхности воды формируется крупномасштабный вихрь, который затухает в результате вязких потерь по экспоненциальному закону.

6. Выполнено экспериментальное моделирование генерации вихревого движения каскадом волн на поверхности воды. Показано, что при возбуждении двумя перпендикулярными волнами частотами 3 Гц (4 Гц) и 6 Гц на поверхности формируется вихревое течение и наблюдается передача энергии из области накачки в крупные масштабы. При возбуждении поверхности двумя плунжерами, генерирующими волны разных частот и амплитуд, на распределении энергии суммы волнового и вихревого движений хорошо видно, что волны от плунжера распространяются под разными углами. Волны частотой 6 Гц распространяются на поверхности, как параллельно сторон ванны, так и под углом  $45^\circ$ . Волны частотой 3 и 4 Гц распространяются в основном параллельно сторон ванны. Отклонение от параллельного распространения наблюдается для волн частотой 3 Гц. Однако, крупномасштабные вихри всегда формируются, когда на поверхности распространяются волны только в одном направлении, не имеющие перпендикулярных к ним волн той же частоты. Можно полагать, что возникновение стоячих волн вдоль определенного направления параллельно стороне ванны в результате нелинейного взаимодействия волн является аналогом генерации волн

одним плунжером. Как уже отмечалось выше, возбуждение стоячих волн одним плунжером приводит к генерации крупномасштабных вихрей. По-видимому, именно такую ситуацию мы имеем в экспериментах при возбуждении двумя плунжерами на поверхности волн разной частоты. При возбуждении поверхности двумя перпендикулярными гармониками с частотами 3 Гц и 6 Гц, составляющими волновой каскад, на поверхности формируется каскад энергии в системе вихрей. В этом эксперименте доказано предположение, высказанное ранее, что на формирование вихревого движения перпендикулярными волнами одной частоты оказывают существенное влияние низкочастотные гармоники волн, возникающие на поверхности воды в силу нелинейного взаимодействия. При генерации вихревого движения суммой гармоник, которые составляют волновой каскад со степенным распределением энергии по волновому вектору, на поверхности генерируется вихревой каскад. Распределение энергии вихревого движения по волновому вектору практически не зависит от распределения энергии в системе волн.

7. Для запланированных в проекте экспериментов по изучения особенностей вихревого движения требовался оптический криостат, в который можно было бы установить цилиндрическую ячейку диаметром около 150 мм. Для этих целей диаметр хвостовика был значительно увеличен. Естественно, был изготовлен новый азотный экран и окна. Кроме того, было изменено расположение окон, чтобы контролировать волновое движение на поверхности жидкого гелия.

8. Была изготовлена экспериментальная ячейка, которая состоит из четырех металлических сегментов и нижней пластины, смонтированных на алюминиевом основании. Сегменты и пластина изолированы друг от друга и помощью Т-образных диэлектрических прокладок. Сегменты ограничивают внутренний цилиндр с квадратом в основании. Длина стороны квадрата равна 50 мм. Высота цилиндра равна 40 мм. На одном из секторов смонтирован наборный коллектор, состоящий из пяти секторов. Сверху над секторами смонтирован верхний электрод. На нижнюю поверхность электрода напылена прозрачная металлическая пленка. Заряды под поверхность сверхтекучего гелия инжектируются источником зарядов, который смонтирован внутри сектора напротив коллекторов. Каждая деталь ячейки с помощью индивидуального коаксиального кабеля соединяется с приборами, расположенными на верхней плите подвеса криостата. Экспериментальная ячейка устанавливается в цилиндрический контейнер с оптическим окном. Контейнер располагается в хвостовике криостата и соединяется с гелиевым бачком криостата с помощью массивных медных холодопроводов.

Источники зарядов тестировались в сверхтекучем гелии во избежание их деградации при испытаниях в вакууме на уровне 10<sup>-6</sup> мм.рт. ст. Напряжение  $U$  прикладывалось между источником зарядов и металлической пластиной – коллектором. Расстояние источник – коллектор составляло 1 мм. Генерация положительного тока на уровне 10-11 А начинается при напряжении  $U$  близком к 120 В и достигает значения 100 нА при напряжении  $U=200$  В.

Проект РФФ 17-12-01525

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Левченко

9. Проведена закупка необходимого оборудования и материалов. Отлажена методика получения панорамного оптического изображения шлифов покрытий при увеличениях

до 1000х. Получены и исследованы образцы покрытий на углерод-углеродных композиционных материалах (УУКМ). Установлены характерные особенности структуры защитного покрытия в зависимости от фазового состава наносимого шликера, введения слоистых углеродных материалов в покрытие, а также экспериментально оценено влияние предварительной механической обработки поверхности УУКМ на его стойкость к теплосменам. Введение в шликерную смесь больших количеств силицида  $\text{Mo}_3\text{Si}$  позволяет получить сплошной подслои карбида молибдена толщиной до 300 мкм на границе между УУКМ и покрытием. Однако подобный подход требует дальнейшей отработки технологии нанесения, направленной на снижение вязкости расплава шликера для лучшего газоотделения в процессе нанесения покрытия. Определено, что обработка эвтектическими смесями силицидов  $(\text{Mo,W})\text{Si}_2 + (\text{Mo,W})_5\text{Si}_3$  в комбинации с введением волокнистого углеродного материала в покрытие позволяет получить структуру, характеризующуюся образованием барьерного слоя  $\text{SiC}$  вдоль границы УУКМ-покрытие. В толще покрытия при этом образован частично связанный каркас  $\text{SiC}$  в матрице жаростойких силицидов. Отдельным элементом структуры являются частично сохранившиеся даже после высокотемпературной обработки углеродные волокна. Экспериментально определено, что даже при заметном несоответствии КТР материала основы и покрытия, предварительная механическая обработка поверхности УУКМ, направленная на развитие поверхности, способствует заметному повышению адгезии покрытия, а также успешно препятствует росту магистральных трещин вдоль границы УУКМ-покрытие.

Грант РФФИ 17-73-10401

Руководитель: к.т.н. И.Б. Гнесин

10. Впервые проведены прямые “in-situ” исследования химических превращений, происходящих вблизи контакта «анионный проводник – электрод» в зависимости от величины тока, текущего через твердооксидный топливный элемент. Установлено, что увеличение плотности тока, текущего через ТОТЭ, приводит к росту интенсивности линии, отвечающей симметричным колебаниям группы  $\text{CeO}_2$ , что является прямым доказательством переноса заряда в композиционном аноде через перенос анионов кислорода “oxygen spillover”.

Выполнен синтез оксидных серий  $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x-z}\text{Fe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  и  $\text{Nd}_x\text{Sr}_{1-x-z}\text{Fe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ . В пределах  $0.8 \leq x \leq 1$  и  $0 \leq z \leq 0.02$  установлено образование однофазных оксидов с кубической структурой (пространственная группа  $Pm\bar{3}m$ ). Показано, что замещение стронция лантаном меньшего радиуса приводит к увеличению параметра кристаллической решетки от 3.910 Å при  $x=0.05$  до 3.916 Å при  $x=0.20$ , в то время как замещение стронция неодимом не оказывает существенного влияния на параметр решетки.

Термогравиметрические измерения  $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Fe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  и  $\text{Nd}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Fe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  показали, что введение в подрешетку стронция редкоземельного элемента значительно уменьшает интервал изменений содержания кислорода при нагревании.

Выполнены дилатометрические измерения керамических образцов. Установлено, что замещение стронция ионами La и Nd приводит к уменьшению химического расширения керамик, как на воздухе, так и в восстановительных средах.



Измерена электропроводность оксидов  $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Fe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  и  $\text{Nd}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Fe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  в зависимости от температуры на воздухе, и в зависимости от парциального давления кислорода при температурах 750-950°C.

Показано, что частичное замещение стронция в  $\text{SrFe}_{0.8}\text{Mo}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  ионами редкоземельных элементов приводит к повышению стабильности оксидов в восстановительных условиях, уменьшению химического расширения керамики и увеличению электропроводности, что благоприятно для использования продуктов замещения в качестве анодных материалов ТОТЭ.

Проект РФФ 17-79-30071

Руководитель: к.х.н. В.В. Хартон

11. В рамках проекта проведены DFT расчёты дисперсии поверхностных состояний и атомной структуры поверхностного слоя  $\text{Sb}(111)$ . Показано, что поверхностные состояния чувствительны к наличию двумерных дефектов на поверхности.

Результаты расчетов подтверждены экспериментально.

Проект РФФ 17-72-10206

Руководитель: Е.А. Левченко

### **III. Результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ**

1. Изучены фотоиндуцированные превращения в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) комплекса  $\{\text{Pt}(\text{dbdtc})_2\}*\text{C}_{60}$  при облучении видимым и инфракрасным светом. По эволюции спектров КРС определена кинетика образования фото-олигомеров в кристаллах комплекса и проведено сравнение с фотополимеризацией кристаллов фуллерена. В обоих случаях  $\text{Ag}(2)$ -мода молекулы  $\text{C}_{60}$  расщепляется на несколько компонент, связанных с образованием фото-олигомеров фуллерена с различным числом межмолекулярных ковалентных связей на молекулу. Изучена стабильность конечных продуктов фотополимеризации при высокой температуре и показано, что разрушение фото-олигомеров описывается функцией экспоненциального распада, а постоянная времени экспоненциального распада уменьшается при увеличении температуры отжига. Процесс разрушения фото-олигомеров имеет активационный характер и хорошо описывается уравнением Аррениуса. Энергия активации составляет  $E=(1.12\pm 0.11)$  eV для фото-олигомеров в комплексе  $\{\text{Pt}(\text{dbdtc})_2\}*\text{C}_{60}$  и  $E=(0.87\pm 0.06)$  eV для кристаллов фуллерена, а температура полного разрушения равна 130 и 190 Цельсия, соответственно.

Грант РФФИ 15-02-01495

Руководитель: д.ф.-м.н. К.П. Мелетов

2. Исследованы осцилляции Шубникова-де Гааза и угловые осцилляции магнитосопротивления на кристаллах слоистого молекулярного проводника  $\text{k}-(\text{BETS})_2\text{Mn}[\text{N}(\text{CN})_2]_3$ , имеющего локализованные спины в анионных слоях. В сильных магнитных полях до 30Т удалось наблюдать осцилляции Шубникова – де Гааза, связанные с классической и магнитопробойной орбитами, а также угловые осцилляции магнитосопротивления. Из данных по угловым осцилляциям магнитосопротивления построена двумерная ферми-поверхность носителей, которая находится в хорошем согласии с рассчитанной расширенным методом Хюккеля.

Грант РФФИ 15-02-02723

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Н. Зверев

3. Целью проекта являлось исследование влияния спиновой поляризации на низкотемпературный электронный транспорт в однородных и неоднородных системах пониженной размерности для создания экспериментальной базы, необходимой для понимания роли спиновой поляризации. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных, относящихся к области высокой проводимости и сильного межэлектронного взаимодействия в (100) Si MOSFET. Экспериментально обнаружено и объяснено слипание квантовых уровней в квантующем магнитном поле в двойной квантовой яме. Экспериментально изучено влияние спиновой поляризации на транспортные свойства однородных двумерных электронных систем с сильным взаимодействием и слабым беспорядком. Исследован спин-поляризованный транспорт через интерфейс между металлом с макроскопическим параметром порядка и двумерной электронной системой с сильным спин-орбитальным взаимодействием. На квантовых ямах SiGe/Si/SiGe с рекордной подвижностью электронов выполнено исследование влияния спиновой поляризации в магнитном поле, параллельном интерфейсу, на электросопротивление при различных ориентациях поля относительно направления тока.

Грант РФФИ 15-02-03537

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

4. С целью получить эффективно более короткие краевые каналы были изучены латеральные p-n переходы, электростатически сформированные в 14 нм квантовых ямах (КЯ) на основе HgTe с инвертированной зонной структурой. Здесь, сопротивления p-n-переходов близки к  $h / 2e^2$ , что согласуется с некоторыми предыдущими экспериментами с квантовыми ямами глубиной 8-10 нм, а вольт-амперные характеристики являются высоколинейными, что указывает на транспорт через баллистические геликальные краевые состояния. С целью более точной идентификации механизма транспорта в изучаемых структурах измерен дробовой шум. Хотя интерпретация в пользу существования геликальных краевых каналов кажется более правдоподобной, однозначный вывод не может быть сделан только на основе настоящего эксперимента. Наш подход выглядит многообещающим для изучения коротких квазibalлистических краевых каналов в топологических изоляторах в подходящей геометрии образца.

Грант РФФИ 15-02-04285

Руководитель: к.ф.-м.н. В.С. Храпай

5. В результате выполнения проекта был экспериментально исследован новый тип слабозатухающих плазменных возбуждений в двумерных электронных гетероструктурах с большой проводимостью. Были изучены условия возбуждения новых мод, а также их локализация и физическая природа.

В частности, было установлено, что для возбуждения нового типа плазменных мод важнейшую роль играет близость металлического электрода. Было показано, что частота возбуждения в нулевом магнитном поле линейно зависит от расстояния между ДЭС и затвором в пределах 150-400 нм. Установлено, что ключевой параметр, характеризующий новый тип слабозатухающих плазменных волн является соотношений проводимости ДЭС к скорости света. Фактически это соотношение

определяет добротность новой плазменной моды.

Отдельным предметом исследований в рамках проекта было изучение возможности применения полученных результатов для построения систем плазменной терагерцовой электроники при комнатной температуре. На базе полученных в проекте результатов был разработан прототип терагерцового плазмонного детектора с рекордным быстродействием. Прямые измерения с разрешением по времени показали время отклика детектора менее 150 пс. Эти результаты доказывают возможность использовать разработанный терагерцовый детектор в качестве узла высокочастотных телекоммуникационных систем нового поколения (до 10 Гбит/с).

Грант РФФИ 15-02-05521

Руководитель: к.ф.-м.н. В.М. Муравьев

6. Изучено влияние электрического и магнитного поля на частицы в свободно подвешенных смектических плёнках. Исследования проведены в плёнках с числом молекулярных слоёв от двух до двадцати. В антисегнетоэлектрических плёнках обнаружено образование гетерохиральных частиц (смектических островов) с противоположно направленным в электрическом поле топологическим дипольным моментом. Ориентация островов в электрическом поле зависит от четности числа смектических слоёв в антисегнетоэлектрических плёнках. В плёнках с чётным числом слоев топологический дипольный момент островов перпендикулярен электрическому полю. В плёнках с нечётным числом слоёв – параллелен полю. Определены времена переориентации включений дипольного и квадрупольного типа при изменении ориентации электрического поля. Изучено изменение ориентационной структуры плёнок на поверхности твердого тела в электрическом поле с гибридными граничными условиями для молекул у двух поверхностей плёнок. Исследована устойчивость смектических плёнок к внешним воздействиям: механическому, тепловому, световому. Локальное механическое воздействие на плёнки приводит к образованию смектических островов. Наблюдались переходы послойного утоньшения свободно подвешенных плёнок при облучении светом в области собственного и примесного поглощения.

РФФИ 15-02-05706

Руководитель: д.ф.-м.н. В.К. Долганов

7. В ходе выполнения проекта с помощью электронной литографии на поверхности наноструктур были созданы специфические металлические затворы с отверстиями в виде полосок (стрипов) разного периода. Методом время-разрешенного магнито-оптического эффекта вращения Керра в геометрии Фойгта была исследована зависимость времени спиновой дефазировки двумерных электронов в зависимости от величины внешнего приложенного напряжения и магнитного поля. Продемонстрировано, что в керровском сигнале появляется долгоживущая компонента составляющая порядка 10нсек, тогда как изначально время спиновой релаксации составляет порядка 0.5нсек. Это дает дополнительную возможность для управления временем спиновой дефазировки электронов при изучении сложных коллективных эффектов в квантующем магнитном поле

Грант РФФИ 15-02-06388

Руководитель: д.ф.-м.н. А.В. Ларионов

8. Выполнены исследования эффекта близости в гибридных наноструктурах магнитный-диэлектрик-сверхпроводник: иттрий-железистый гранат-алюминий, иттрий-железистый гранат- ниобий. Обнаружено неожиданно сильное влияние диэлектрика на температуру сверхпроводящего перехода  $T_c$  (понижение до 0,6 Тс) и ширину перехода. Кроме того, выявлена зависимость формы перехода от взаимной ориентации намагниченности магнитного диэлектрика и тока в сверхпроводнике. Обнаруженное влияние связывается с одноэлектронным и двуэлектронным спин-зависимым рассеянием электронов от поверхности магнитного диэлектрика, эффектом Эдельштейна-Рашбы и подавлением сверхпроводимости магнитостатическим полями. Грант РФФТ 15-02-06743

Руководитель: д.ф.-м.н. Л.С. Успенская

9. Исследовалась спиновая динамика в квантово-холловском ферромагнетике (GaAs/AlGaAs при заполнениях  $\nu=1$  и  $\nu=3$ ). Методом оптической накачки при наклонном по отношению к лазерному лучу магнитном создается состояние, которое макроскопически отвечает повороту вектора полного спина на некоторый угол от направления магнитного поля. Необычное возбужденное состояние микроскопически не является поворотом спинов всех электронов на одинаковый угол, а представляет собой квантовую комбинацию отклонений спиновой системы на разные углы. Макроскопический угол отклонения зависит и от угла падения когерентных фотонов накачки и от мощности импульса накачки (т.е. от числа фотонов в импульсе). В отраженном сигнале наблюдались характерные осцилляции на частоте, равной зеемановской, и их постепенное затухание (поперечная релаксация). Затухание такой необычной моды отвечает элементарному процессу превращения «голдстоуновского» спинового экситона (не меняющего полный спин  $S_z$ , но отвечающего изменению  $\Delta S_z = -1$ ) в «спин-волновой» экситон, соответствующий одинаковому изменению спиновых чисел системы ( $\Delta S = \Delta S_z = -1$ ). Построена теория, микроскопически описывающая изучаемую моду, а также теория, описывающая ее прецессию (кэрровские осцилляции) и поперечную релаксацию. Феноменологически найдено уравнение движения голдстоуновской моды (аналог уравнения Ландау-Лифшица). Микроскопически рассчитан темп релаксации, соответствующий переходу  $S \rightarrow S-1$  в системе при неизменном значении  $S_z$ . Для объяснения рассмотрен новый механизм, возникающий вследствие пространственных флуктуаций g-фактора двумерных электронов. Рассчитанные времена поперечной релаксации находятся в удовлетворительном согласии с наблюдаемыми в эксперименте:  $\sim 10-12$  нс при заполнении  $\nu=1$  и  $\sim 1$  нс при  $\nu=3$ .

Исследовалась квантово-холловская система на основе MgZnO/ZnO при заполнении  $\nu=2$  в перпендикулярном и наклонном магнитных полях. Магнето-оптические измерения методом неупругого рассеяния света позволяют обнаружить и изучить стонеровскую неустойчивость в этой системе. Этот эффект возникающий вследствие конкуренции ферромагнитной и парамагнитной фаз в данном случае связан с пересечением уровней Ландау, соответствующих различным спиновым состояниям, что, в свою очередь, является следствием специфической 'игры' изменения спиновой восприимчивости в сочетании с изменением угла наклона магнитного поля. Фиксируются стонеровские переходы по изучению оптических спектров, которые качественно видоизменяются при переходе из одной магнитной фазы в другую

Грант: РФФИ 15-02-06992

Руководитель: к.ф.-м.н. С.М. Дикман

10. Исследована люминесценция ионов  $\text{Eu}^{3+}$  в наносферах  $\text{Y}_2\text{O}_3$ . Показано, что заполнение нанопор в исходно пористых наносферах  $\text{Y}_2\text{O}_3$  приводит к сокращению времени спонтанной люминесценции легирующих ионов европия. Изменение времени затухания свечения связывается с изменением эффективного показателя преломления пористых наносфер. В наносферах  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Er}$  диаметром 75-270 нм изменение времени затухания свечения ионов  $\text{Er}^{3+}$  в видимой области спектра (500-700 нм) с ростом диаметра наносфер объяснено появлением фотонных мод, приводящих к ускорению спонтанной люминесценции. Этот вывод подтверждается расчетом диапазонов существования мод связанных оптических мод.

Исследована кинетика люминесценции ионов европия  $\text{Eu}^{3+}$  в наносферах  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  диаметром 100-270 нм и малой дисперсией размеров <15%. Резкое уменьшение времени затухания свечения ионов  $\text{Eu}^{3+}$  в красной области спектра с ростом диаметра наносфер объяснено появлением фотонной моды, приводящей к ускорению спонтанной люминесценции. Этот вывод подтверждается расчетом диапазонов существования оптических мод в исследуемых наносферах.

Грант РФФИ 15-02-07638

Руководитель: к.ф.-м.н. С.В. Зайцев

11. Образцы аморфных силикатов магния  $\text{Mg}_y\text{SiO}_{2+y}$  с концентрацией магния, варьировавшейся от  $y = 0$  до  $y = 0.88$ , были насыщены водородом при давлении 7.5 ГПа и температуре 250°C, закалены до температуры жидкого азота и исследованы при нормальном давлении методами рентгеновской дифракции, комбинационного рассеяния света и термодесорбции. Согласно термодесорбционным данным, содержание водорода  $X$  в закаленных образцах  $\text{Mg}_y\text{SiO}_{2+y}-\text{XH}_2$  уменьшается с ростом концентрации ионов магния  $\text{Mg}^{2+}$  нелинейным образом с  $X = 0.53$  при  $y = 0$  до  $X = 0.26$  при  $y = 0.88$ . Методом комбинационного рассеяния света показано, что во всех изученных образцах водород растворялся в виде молекул  $\text{H}_2$ , при этом с повышением концентрации магния ( $y$ ) полоса валентных колебаний Н-Н сужалась примерно в пять раз. Как уменьшение содержания молекул  $\text{H}_2$ , так и сужение полосы валентных колебаний этих молекул предположительно вызваны уменьшением вариативности размеров доступных для водорода силикатных полостей по мере перехода от аморфной матрицы, близкой к кварцевому стеклу при  $y = 0 \div 0.3$ , к матрице энстатитного типа при  $y = 0.45 \div 0.9$ .

Грант РФФИ 15-02-08508

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

12. Синтезированы поликристаллические 3С-SiC структуры с размерами кристаллитов 20-30мкм и исследована температурная зависимость люминесценции полученных структур в диапазоне 4.2-300К. Установлено, что с повышением температуры коротковолновая часть люминесценции с максимумом в области 1.97эВ претерпевает более сильное гашение, чем длинноволновая часть с максимумом в области 1.5эВ. Интенсивность данной ИК полосы люминесценции в исследуемых кристаллитах SiC падает в 2 раза при изменении температуры от гелиевой до комнатной. Проведено

комплексное исследование нанокристаллических покрытий, а также наноструктурированных пленок карбида кремния, синтезированных из смеси паров гексана с гидридами при пониженных ( $600^{\circ}\text{C}$  -  $800^{\circ}\text{C}$ ) температурах роста методами фотолюминесценции, рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии. Фотолюминесценция данных пленок SiC представлена широкой интенсивной полосой с максимумом в ультрафиолетовой области спектра (2.8-3.0 эВ). Предполагается механизм оптических переходов между локализованными состояниями излучательных центров, расположенных на межзеренных границах пленки SiC.

Грант РФФИ 15-02-08925

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

13. Были закончены высокотемпературные отжиги сплавов на основе системы Nd–Fe–В и промышленных сплавов на основе системы Nd–Fe–В разного состава при температурах сосуществования твердой и жидкой фаз (от  $650$  до  $1200^{\circ}\text{C}$ ). Были также закончены измерения магнитных свойств исходных и отожженных образцов. Были определены кристаллографические параметры входящих в них фаз (с помощью рентгеновской дифрактометрии). Было закончено определение доли границ зерен с полным, неполным и псевдонеполным смачиванием границ зерен расплавом с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Была установлена корреляция между наличием, а также толщиной и составом тонких зернограницных прослоек с величиной контактного угла в тройных стыках и кристаллографическими параметрами разориентации зерен (с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии). Было определено влияние состава сплава, а также влияние температуры и продолжительности отжигов в присутствии жидкой фазы на относительную долю границ зерен с полным, неполным и псевдонеполным смачиванием. Было определено влияние состава сплава, а также температуры и продолжительности отжигов в присутствии жидкой фазы на толщину и состав тонких зернограницных прослоек фазы, обогащенной неодимом или железом.

Сплав на основе Nd-Fe-B, полученный с помощью жидкофазного спекания, был изготовлен в компании Vacuumschmelze GmbH (Германия) и изучен в трёх состояниях (1) полностью термообработанном, включая жидкофазное спекание при  $1200^{\circ}\text{C}$ , а затем – два последовательных отжига при  $800$  и  $500^{\circ}\text{C}$ ; (2) после дополнительного отжига при  $1200^{\circ}\text{C}$  (состояние после жидкофазного спекания) и (3) после двух дополнительных отжигов при  $1200^{\circ}\text{C} + 800^{\circ}\text{C}$ . В этой работе мы впервые наблюдали, что границы между зёрнами магнитожёсткой фазы  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  в постоянных магнитах могут быть псевдо-неполностью (или псевдо-частично) смочены не только расплавом, богатым неодимом, но и оксидной фазой  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ . Такие ГЗ образуют ненулевой контактный угол с фазой в тройных стыках и, одновременно, содержат равномерно тонкий (около  $5$  нм) слой фазы, богатой неодимом. Таким образом, они отличаются от полностью смоченных ГЗ (нулевой угол контакта), и неполностью смоченных ГЗ (ненулевой контактный угол, нет слоя фазы, богатой неодимом). Тонкие зернограницные слои фаз, богатых неодимом, в псевдо-неполностью (псевдо-частично) смоченных ГЗ  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , наиболее вероятно, определяют превосходные магнитные свойства постоянных магнитов на основе NdFeB. Это происходит потому, что эти слои могут обеспечить магнитную изоляцию между зёрнами фазы  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , необходимую для высокой коэрцитивности.

Грант РФФИ 15-03-01127

Руководитель: д.ф.-м.н. Б.Б. Страумал

14. В ходе выполнения проекта были проанализированы состав, структура и магнитные свойства аэрогелей оксида цинка, полученных методом суперкритической сушки. Исследовались исходные образцы; образцы, отожженные в водороде; а также образцы, после воздействия высокого давления. Было установлено, что магнитные свойства образцов находятся в корреляции с химическим состоянием кислорода. Основная аналитическая линия кислорода O 1s на РФЭС спектре указывает на присутствие кислорода в образцах в нескольких состояниях. Обнаружено, что существует некое критическое количество кислорода в дополнительном состоянии при котором образец демонстрирует слабый ферромагнетизм.

Грант РФФИ 15-03-04220

Руководитель: к.ф.-м.н. С.Г. Протасова

15. На завершающем этапе работ по исследованию газовой коррозии композитов с молибденовой матрицей были выбраны наиболее перспективные с точки зрения высокотемпературных механических характеристик, комбинации материала оксидного волокна (такowymi являются иттрий-алюминиевый перовскит  $YAlO_3$  и силикаты иттрия и иттербия) и матрицы и проведены систематические измерения кинетики окисления на воздухе при температурах 800 – 1250°C. Получены также зависимости скорости высокотемпературной коррозии от предварительного окисления при пониженной температуре с целью формирования защитной пленки. Исследован фазовый состав пленки, возникающей при контакте молибденовой матрицы с кислородом, показано, что основной фазой является молибдат иттрия или иттербия. В то же время на поверхности имеются оксиды молибдена и алюминия (в случае  $YAlO_3$ -волокна). Основным итогом всей работы является указание путей защиты композитов от окисления выбором материалов защитного покрытия, возможные дефекты которого могут залечиваться продуктами взаимодействия кислорода с материалом волокна.

В продолжение начатых в первом году работ, получены новые результаты по кинетике окисления и структуре защитных плёнок на композитных образцах с молибденовой матрицей и различными оксидными волокнами, а также на композитах с оксидной матрицей и молибденовыми волокнами. В числе новых оксидных волокон, получаемых кристаллизацией из расплава и поэтому отличающихся высокой прочностью при высоких температурах – новые соотношения в системе  $2Al_2O_3 \cdot SiO_2 + ZrO_2$ , а также системы, включающие силикаты иттрия и иттербия. Последнее важно, поскольку стали известными данные, свидетельствующие о высоком сопротивлении окислению указанных силикатов и возможностях защитных покрытий на молибденовых сплавах, состоящих их такого типа силикатов.

Грант РФФИ 15-03-05415

Руководитель: к.ф.-м.н. Новохатская

16. В 2017 г. был закончен анализ влияния параметров КВД-обработки (приложенного давления, степени и скорости деформации) на изменения микроструктуры в сплавах Cu-Vi. Закончено сравнение влияния КВД (сжатие + сдвиг) с влиянием одноосного сжатия без сдвига. В дополнение к обработке сплавов Cu-Vi,

получены образцы чистой меди с использованием идентичной процедуры НРТ. Были закончены стабилизирующие отжиги сплавов Cu-Vi при температурах немного выше точки плавления висмута из-за эффекта торможения границ атомами растворенного вещества. Были также закончены отжиги обработанных с помощью КВД меди и сплавов Cu-Vi в контакте с жидким висмутом. Эти эксперименты по проникновению жидкого висмута и диффузии выполнялись при различных температурах в диапазоне от 272 до 500 °С. Была определена кинетика диффузии и жидкометаллического проникновения. Эта задача выполнена путем исследования сечений отожженных образцов с помощью сканирующей электронной микроскопии высокого разрешения с одновременным химическим анализом на поверхности сечений методом энергодисперсионной и волновой спектроскопии (совместно с израильским партнером). Получены данные по рекристаллизации сплавов Cu-Vi, обработанных методом КВД. Проведены отжиги рекристаллизованных сплавов Cu-Vi в контакте с жидким висмутом. Установлены соотношения между проникновением расплава и топологией дефектов. Обобщены знания о кинетике диффузии и проникновения жидкой фазы, морфологии жидкой фазы, топологии дефектов, полученные на предыдущих этапах. В дополнение к запланированным работам была установлена эффективная температура КВД чистой меди по морфологии фасеток на двойниковых границах зёрен. Для выявления общих закономерностей влияния топологии по разному смоченных зернограничных ансамблей на структуру и свойства поликристаллов был проведен (в дополнение к запланированным работам) сравнительный анализ топологии зернограничных ансамблей: в магнитных сплавах на основе системы NdFeB; легких сплавах на основе алюминия; тугоплавких сплавах на основе вольфрама; бинарных титановых сплавах и ферромагнитных оксидах на основе ZnO.

Грант РФФИ 15-53-06008

Руководитель: д.ф.-м.н. Б.Б. Страумал

17. Исследованы магнитотранспортные свойства двумерных электронных систем в квантовых ямах InGaAs/InAlAs с встроенным слоем InAs в слабом нормальном к поверхности магнитном поле при сверхнизких температурах. Обнаружено, что поведение магнитосопротивления качественно напоминает поведение, ожидаемое для слабой локализации и антилокализации, но величина наблюдаемых эффектов значительно превосходит масштаб квантовых поправок. Выполненные расчеты показывают, что наблюдаемое магнитосопротивление обусловлено классическими эффектами при движении электронов в квазипериодическом потенциальном рельефе, возникающем благодаря наличию грядок на поверхности структуры. Одним из перспективных направлений исследований в 2017 было внедрение методики локальной шумовой спектроскопии неравновесного электронного распределения, по-видимому, впервые в мире. Для этих целей были по нашему дизайну изготовлены образцы нанопроволок InAs с контактами нагревателями в форме металлических нанополосок. Кроме того, были изготовлены образцы однослойного графена в форме нано-полосок различной ширины (150 нм – 10 мкм) и длины (10-50 квадратов). Тестовые измерения контактного сопротивления были проведены в ИФТТ РАН.

Грант РФФИ 15-52-78023

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Шашкин



18. Мы экспериментально исследовали Андреевский транспорт через интерфейс между сверхпроводящим индием и краем двуслойной системы InAs/GaSb в различных режимах - прямозонного полупроводника, топологического изолятора, двумерного полуметалла. Для изучения этих режимов InAs/GaSb спектра, мы исследовали образцы с шириной InAs квантовой ямы 10 нм, 12 нм, и 14 нм. В тривиальном случае прямого спектра в образцах с узкой 10 нм ямой, дифференциальное сопротивление ведёт себя монотонно внутри сверхпроводящей щели. Для InAs/GaSb структур с инверсией зон (12 и 14 нм) мы наблюдаем дополнительные структуры в Андреевском сигнале при низких напряжениях, что может быть надёжно интерпретировано как проявление индуцированной эффектом близости сверхпроводимости в проводящем токнесущем состоянии на краю InAs/GaSb системы. Для образцов с 14 нм InAs квантовой ямой мы дополнительно обнаружили особенности в сопротивлении внутри щели, напоминающие мезоскопические флуктуации, и продемонстрировали их пороговое подавление в слабых магнитных полях.

Кроме того, мы исследовали транспорт заряда через ниобиевый контакт к краю двуслойной электрон-дырочной системы, реализованной в InAs/GaSb двойной квантовой яме в режиме наличия индивидуальной проводимости слоёв, т.е. полуметаллическом режиме InAs/GaSb системы. В случае высокопрозрачного интерфейса Nb-InAs, мы показали, что сопротивление контакта определяется межслоевым переносом заряда вблизи интерфейса. Из анализа экспериментальных вольт-амперных кривых мы заключаем, что наведённая сверхпроводимость эффективно связывает электронный и дырочный слои при малых токах между слоями. Критический ток, при котором эта связь разрывается, демонстрирует периодическую зависимость от магнитного поля, ориентированного в плоскости двуслойной системы, но монотонно уменьшается в магнитном поле, перпендикулярном слоям.

Грант РФФИ 16-02-00405

Руководитель: д.ф.-м.н. Э.В. Девятков

19. 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.

За период 2017 года выполнено исследование влияния корреляционных эффектов на перенос заряда и на основное состояние в двумерных электронных структурах с сильным межэлектронным взаимодействием. 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 растёт 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.

Грант РФФИ 16-02-00404

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Шашкин

20. В высокоподвижной двумерной электронной системе в режиме холловского диэлектрика (целочисленный квантовый эффект Холла при факторе заполнения 2), в условиях формирования магнетофермионного конденсата – коллективного состояния в ансамбле неравновесных «темных» триплетных циклотронных магнитоэкситонов, обнаружено растекание конденсатной фазы из пятна фотовозбуждения на макроскопические расстояния в сотни микрон и более. Для визуализации растекания использован эффект 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. Обнаружено, что растекание конденсата можно также диагностировать с помощью канала излучательной рекомбинации равновесных электронов из окружающего ферми-моря, в котором возникает конденсатная фаза. При накапливании в системе неравновесных «темных» экситонов в спектре фотолюминесценции появляются линии многочастичных экситонных комплексов, составной частью которых и является триплетный спин-флип магнитоэкситон. Растекание магнетофермионного конденсата проверяется простыми экспериментами с пространственным разнесением лазерного пятна накачки, порождающего конденсатную фазу, и пятна зондирования малой мощности, в котором возбуждается фотолюминесценция.

Грант РФФИ 16-02-00137

Руководитель: д.ф.-м.н. А.В. Горбунов

21. Была подробно исследована эволюция микроструктуры поликристаллических сплавов двух- и трехкомпонентных сплавов на основе титана (Ti-V-(Al)) в температурном интервале от 660 до 820°C. Показано, что выше 790°C во всех исследованных сплавах существует «смачивание» границ зерен второй твердой фазой. Был проведен сравнительный анализ сплавов Ti-4мас.% V и Ti-4мас.% V-6мас.% Al, подвергнутых кручению под высоким давлением (КВД) с предварительной термообработкой. Добавка алюминия приводит к подавлению образования фаз  $\beta$  и  $\omega$ , а так же к изменению параметра решетки  $a$  в  $\alpha$ -фазе и уменьшению значения твердости при температуре 700°C. Были проведены измерения твердости для сплавов Ti-(V, Fe, Co, Ni, Cr), которые показали, что значения твердости для Ti-V лежат ниже остальных сплавов. Таким образом, наличие  $\omega$ -фазы резко понижает твердость, даже при самом высоком содержании ( $\alpha$ Ti)-фазы в сплаве титан-ванадий. Было определено, что в сплаве ВТ6 нанотвердость фазы ( $\alpha$ Ti) выше, чем ( $\beta$ Ti)-фазы, а микротвердость ансамбля ( $\alpha$ Ti +  $\beta$ Ti) – фаз ниже нанотвердости отдельных фаз примерно на 0,5-1 ГПа.

Были также изучены фазовые переходы  $\alpha'$ -Ti  $\rightarrow$   $\omega$ -Ti в сплавах Ti-Fe при КВД. После отжига в области твердого раствора  $\beta$ - (Ti, Fe) и последующей закалки литые сплавы Ti с 0,5, 1, 2,2 и 4 мас.% Fe превращались в гексагональный мартенсит  $\alpha'$ -Ti. После КВД параметры решетки  $\alpha'$ -Ti возрастали по сравнению с параметрами для чистого  $\alpha$ -Ti, а большая часть  $\alpha'$ -Ti превращалась в  $\omega$ -Ti. Этот процесс включает ускоренный массоперенос атомов железа из  $\alpha'$ -Ti.

Грант РФФИ 16-03-00285

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

22. Исследованы спектры низкотемпературной фотолюминесценции двумерной электронной системы в гетеропереходе MgZnO/ZnO в широком диапазоне электронных плотностей. Значение массы плотности состояний квазичастиц получено из ширины полосы люминесценции. Показано, что значение массы меняется от 0.3  $m_0$  до 0.6  $m_0$  ( $m_0$  – масса свободного электрона) при изменении параметра взаимодействия  $\tau_s$  от 2.4 до 6.5. Исследуемые энергии квазичастиц значительно превышают предел применимости теории Ферми-жидкости Ландау.

Грант РФФИ 16-02-00225

Руководитель: к.ф.-м.н. В.Е. Бисти

23. Определены энергии активации ползучести в интервале температур 1200 – 1300 °С двух естественных композитов Nb-Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, легированных равными атомными долями элементов 4-й, 5-й и 6-й в групп, содержащих 10 и 20 ат.% Si. Объемная доля силицида Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> во втором сплаве в 3 раза больше, чем в первом. Энергия активации ползучести для сплава с 10 ат.% составила 266 кДж/моль, для сплава с 20 ат.% - 110 кДж/моль. Сравнение полученных результатов позволяет предположить, что основным механизмом релаксации напряжений в сплаве с 10% кремния является активное переползание дислокаций матрицы вдоль границ твердый раствор-силицид по диффузионному механизму. Энергия активации при этом близка к энергии активации самодиффузии в ниобии. Во втором сплаве основным механизмом релаксации напряжений предположительно является консервативное скольжение дислокаций в силициде, энергия активации этого процесса ниже. Это означает также, что упрочнение ниобиевых сплавов силицидами эффективно только при температурах ниже 1300°С.

Грант РФФИ 16-02-00384

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

24. Обнаружено, что пластическая деформация кристаллов FZ-29Si, обогащенных магнитным изотопом <sup>29</sup>Si, приводит к перераспределению атомов <sup>29</sup>Si и комплексов <sup>29</sup>Si16O на поверхности кристалла и в его приповерхностных слоях. Перераспределение магнитного изотопа хорошо коррелирует с плотностью дислокаций, введенных пластической деформацией. Исследовано распределение парамагнитных кислородных центров <sup>29</sup>Si16O по глубине деформированного кристалла. Изучен процесс образования стабильной окиси SiO. Начальный шаг окисления интерпретировался в терминах квантовых вычислений в соответствии с квантовым вентилем CNOT, эквивалентных переходу из триплетного состояния в

синглетное и последующего считывания хранимой квантовой информации как логической “1” в образующемся SiO комплексе или логического “0” при распаде SiO пары. Экспериментально обнаружено, что процесс окисления существенно влияет на температурные зависимости интенсивности длинноволновых линий дислокационной люминесценции в исследуемых образцах изотопно обогащенного Si<sup>29</sup>.

Грант РФФИ 16-02-00420

Руководитель: д.ф.-м.н. Э.А. Штейнман

25. Выполнены детальные исследования степени циркулярной поляризации и угловой зависимости спектров излучения ансамбля квантовых точек InAs в фотонных наноструктурах GaAs с хиральной симметрией, в отсутствие внешнего магнитного поля. Обнаружена сильная угловая зависимость спектрального состава и степени циркулярной поляризации излучения квантовых точек, а также существенное влияние на характеристики излучения периода решетки фотонного кристалла. Проведено детальное изучение дисперсии фотонных мод в окрестности брэгговских резонансов ( $\pm 3, 0$ ) и ( $\pm 2, \pm 2$ ). Наблюдаемые в эксперименте поляризационные и спектрально-угловые особенности излучения квантовых точек находят свое объяснение в рамках теоретического рассмотрения процессов излучения в фотонных наноструктурах, обладающих хиральной симметрией.

Грант РФФИ-16-02-00631

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

26. Исследованы переходы аморфных опалоподобных структур на основе различных модификаций кремнезема при термобарическом воздействии и уточнены границы областей существования модификаций кремнезема в T-P фазовой диаграмме. Показано, что граница коэзит – стишовит сдвигается в сторону меньших давлений при термообработке аморфного кремнезема. Синтезированы опаловые матрицы с оксидными наполнителями (NiO, ZrO<sub>2</sub>). Проведены предварительные измерения малоугловой дифракции нейтронов с целью обнаружения упорядоченной структуры компонентов наполнителя. Эксперименты будут продолжены в следующем году. Измерена плотность коэзита, полученного из аморфного кремнезема при температуре 300°C, давлении 7 ГПа в течение 2 минут. Кажущаяся плотность составила 3.02 г/см<sup>3</sup>, эффективная плотность -3,22 г/см<sup>3</sup>.

Грант РФФИ 16-02-00755

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

27. Темплатным методом синтезированы углеродные структуры с решеткой инвертированного опала, модифицированные соединениями никеля. В качестве углеродного прекурсора впервые был использован антрацен, молекула которого имеет плоскую форму из трех бензольных колец. Анализ результатов исследования пористой системы показал доминирующее положение мезопор (размер от 2 до 50 нм) в измеренных образцах. Основной вклад в объем пор внесли поры размером 27 нм (C-IOPant) и 31 нм (C-IOPant-NiO(Ni<sub>7</sub>S<sub>6</sub>)). Следует отметить достаточно высокую емкость электрохимической ячейки на единицу площади поверхности 98 мкФ/см<sup>2</sup> для образца C-IOPant-NiO(Ni<sub>7</sub>S<sub>6</sub>) при плотности тока 5 мА/см<sup>2</sup>. По измерениям импеданса эквивалентное последовательное сопротивление ( $R_s$ ) и сопротивление переноса заряда ( $R_c$ ) конденсатора имеют низкие значения, что позволит в перспективе достичь

высокой плотности мощности запасенной энергии конденсатора при дальнейшем повышении площади удельной поверхности материала. Исследован процесс осаждения углерода на различных подложках (кварцевое стекло, сапфир, монокристаллический SiC) из паровой фазы антрацена. Показано, что в процессе карбонизации и осаждения на подложках образуется пленка графитоподобного нанougлерода и нанокристаллы кубической фазы углерода C<sub>8</sub>, редкой аллотропной модификации углерода высокой плотности (на 15% выше алмаза).

Грант РФФИ 16- 29-06164 офи-м

Руководитель: д.т.н. Г.А. Емельченко

28. В серии квантовых ям GaAs / AlGaAs и гетеропереходах с различной плотностью двумерных электронов исследованы осцилляции сопротивления электронной системы, индуцированные микроволновым излучением. Показано, что при малых плотностях двумерных электронов измеренная масса значительно увеличивалась (становилась значительно тяжелее циклотронной массы). Обнаруженная зависимость эффективной массой от концентрации явно имеет многочастичную природу. Показано, что минимальное значение эффективной массы наблюдаются при умеренной плотности двумерных электронов и оказывается даже меньше циклотронной массы.

Грант РФФИ 16-32-00399

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

29. Проведено магнитооптическое и магнитосиловое исследование магнитной структуры микропровода состава CoSiBC. Проведено исследование микропровода состава FINEMET FeSiBCuNb. Магнитооптические и магнитосиловые исследования показывают, что в микропроводе на основе Co как в оболочке, так и без оболочки, слой поверхностных доменов существует, но, его толщина меньше 1 мкм и он не оказывает значительного влияния на процесс намагничивания. Поэтому появление прямоугольной формы петли гистерезиса после снятия стеклянной оболочки, полученное в предыдущих исследованиях, связано с уменьшением локальных отклонений намагниченности в доменах сердцевины – цилиндрических доменах. Магнитооптические изображения поверхностной доменной структуры аморфного микропровода FINEMET ( $\lambda > 0$ ) показывают аналогичную микропроводу на основе Fe ( $\lambda > 0$ ) магнитную структуру. После отжига при 550С микропроводов FINEMET наблюдается увеличение размера поверхностных доменов и области отсутствия магнитооптического контраста. Такой режим изотермического отжига приводит к частичной нанокристаллизации микропровода с выделением кристаллической ОЦК фазы с отрицательной константой магнитострикции. Следовательно, наблюдение областей отсутствия доменного контраста может быть связано с появлением областей с нулевой магнитострикцией.

Грант РФФИ 16-32-00797

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.Н. Орлова

30. Исследованы самоорганизованные пространственные структуры, возникающие в распределении плотности сильнонеравновесного поляритонного конденсата в латерально ограниченных системах; в частности, проанализирован случай

резонаторных микростолбиков размером 10–200 мкм, имеющих форму диска или правильных многоугольников. Также изучено влияние пространственной анизотропии на коллективные состояния поляритонов, возникающие в режиме многомодовой неустойчивости, и завершено исследование многомодовой неустойчивости с учетом спиновых степеней свободы поляритонного конденсата.

Установлено, что в латерально ограниченных поляритонных системах возможно появление метастабильных состояний с нарушенной пространственной симметрией даже в отсутствие анизотропии и/или спиновых степеней свободы и в условиях, когда амплитуда возбуждающего электромагнитного поля постоянна в пространстве. Ключевым эффектом, приводящим к нарушению симметрии, является эволюция конденсата в режиме “с обострением”, что случается по достижении порога распадной параметрической неустойчивости. В этом случае энергия конденсата накапливается до тех пор, пока фиолетовый сдвиг поляритонного резонанса не компенсирует отстройку частоты внешнего поля от невозмущенного резонансного уровня, после чего параметрическое рассеяние становится запрещенным в силу законов сохранения. Выяснилось, что в латерально ограниченных поляритонных системах состояния с относительно высокой плотностью распадных мод и нарушенной вследствие этого пространственной симметрией могут стать относительно долгоживущими. В общем случае тип и симметрия самоорганизованного распределения амплитуды конденсата зависят от формы и пространственных размеров резонаторного микростолбика.

Грант РФФИ 16-02-01172

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

31. Исследован переход от локализованного к делокализованному состоянию в квазиодномерной экситон-поляритонной системе, возбуждаемой нерезонансно в микрорезонаторе на основе GaAs с неупорядоченным экситонным потенциалом. При малых плотностях возбуждения поляритонная система локализуется в пределах области возбуждения. Найдено, что делокализация поляритонов происходит при плотностях возбуждения выше порога конденсации поляритонов. Распространение вдоль проволоки обеспечивается высокоэнергетическими поляритонами. Поляритонный конденсат возвращается в состояние бозе-стекла, когда синий сдвиг поляритонного резонанса в области возбуждения уменьшается ниже критического уровня, который зависит от потенциального беспорядка.

Грант РФФИ 16-02-00407

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

32. Экспериментально исследованы транспортные характеристики гибридных субмикронных структур S-NF-S (сверхпроводник - нормальный металл/ферромагнетик - сверхпроводник) при наличии инжекции спин-поляризованного тока из ферромагнитного инжектора в область слабой связи джозефсоновского перехода S-NF-S. В качестве сверхпроводника использовался Al, в качестве нормального металла – Cu, и Fe – в качестве ферромагнетика. Были исследованы два типа структур с разной толщиной слоя Cu – 30 нм и 60 нм. На структурах с толщиной меди 30 нм сверхпроводящий критический ток не наблюдался, но удалось пронаблюдать расщепленную минищель на дифференциальном сопротивлении и ее подавление при помощи тока инжекции. На структурах с

толщиной меди 60 нм была исследована зависимость сверхпроводящего критического тока от тока инжекции и была обнаружена нелинейная зависимость, что может говорить о том, что при определенных условиях джозефсоновский контакт переходит в пи-состояние. Также на дифференциальном сопротивлении этих структур удалось пронаблюдать расщепленную минищель, но при конечных значениях тока инжекции, кроме того, были исследованы эти зависимости при разных значениях тока инжекции. Все измерения были проведены при низких температурах 0.3 К

Грант РФФИ 16-02-00418

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

33. Зернограничные рёбра и зернограничные фасетки, как тройные и четверные стыки, являются дефектами микроструктуры. Знание свойств этих дефектов даёт возможность стабилизировать микроструктуру и управлять ею. В ходе выполнения проекта экспериментально изучены термодинамические и кинетические свойства зернограничных рёбер на специальных границах наклона [11-20] в цинке.

1. Впервые экспериментально определены подвижности зернограничных систем из границы наклона [11-20] с углами разориентации  $35^\circ$ - $85^\circ$  с фасеткой и рёбрами.

2. Определены параметры торможения зернограничными рёбрами движения границ наклона [11-20] с углами разориентации  $35^\circ$ - $85^\circ$ .

3. Определены температуры фазовых переходов огрубления для зернограничных систем из границ наклона [11-20] с углами разориентации  $35^\circ$ - $85^\circ$  и рёбрами.

Грант РФФИ 16-03-00248

Руководитель: к.ф.-м.н. В.Г. Сурсаева

34. В течение второго года выполнения проекта исследования изменений структуры были проведены в более широком интервале давлений (30-80 кбар), в качестве среды, передающей давление, использовались порошок нитрида бора и тефлоновые пластинки, что позволяло создавать напряженное состояние. Было обнаружено, что трансформации структуры в пределах аморфного состояния зависят от упругих параметров материала и слабо от величины давления при барической обработке. Степень расслоения аморфной фазы при барических обработках меньше, чем при деформации методом многократной прокатки. Установлено, что в сплаве  $Al_{88}Ni_{10}Y_2$ , в котором кристаллизация начинается непосредственно в процессе барической обработки, при увеличении давления от 30 до 80 кбар размер нанокристаллов алюминия не изменяется, а доля нанокристаллической фазы заметно возрастает; доля нанокристаллической фазы растёт с увеличением давления во всех рассмотренных случаях, а размер нанокристаллов при использовании порошка VN оказывается больше. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что длительность процесса деформирования является важным параметром и может влиять на количество нанокристаллов. Сделанные оценки скорости зарождения нанокристаллов показывают, что скорость зародышеобразования в местах локализации пластической деформации повышена. Изменения, происходящие в неоднородной аморфной структуре в процессе деформации, способствуют образованию более мелкой наноструктуры.

Грант РФФИ 16-03-00505

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

35. В 2017 г. были изготовлены и термически обработаны образцы для КВД из сплавов титана с  $\beta$ -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  $\alpha$ - и  $\beta$ -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 отжигов в однофазной  $\beta$ -области и последующей закалки. Была продолжена характеристика морфологии и взаимного расположения структурных составляющих. Было продолжено определение фазового состава сплавов до и после КВД методами СЭМ, ПЭМ, ВПЭМ, рентгеновской дифракции (РД) и РМА (совместно с германскими партнерами). Было продолжено исследование микроструктуры сплавов титана с кобальтом и железом после отжигов 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  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз. Образцы (2) содержали смесь  $\alpha$ -Ti, насыщенного Fe или Co и соответствующей интерметаллической фазы TiFe или Ti<sub>2</sub>Co. Во время КВД во всех образцах формировалась  $\omega$ -фаза высокого давления. Количество  $\omega$ -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  $\omega$ -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  $\alpha$  частично разлагались после КВД. После КВД параметры решетки  $\alpha$ -фазы, содержащей кобальт или железо, изменялись по сравнению с параметрами чистого  $\alpha$ -Ti. Впервые было отмечено, что состав фазы TiFe также изменяется после КВД.

Грант РФФИ 16-53-12007

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

36. Отработана методика диспергирования неорганических и органических материалов и частиц в сверхтонкие свободно подвешенные плёнки смектических сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических жидких кристаллов. Путём диспергирования частиц в антисегнетоэлектрические жидкокристаллические плёнки получены острова нанометровой толщины и включения без слоевого упорядочения. Изучена самоорганизация островов и включений в одномерные и двумерные конгломераты с различной ориентационной и трансляционной структурой. В антисегнетоэлектрических плёнках получены несколько не наблюдавшихся ранее типов структур из топологических дефектов в ограниченной геометрии. Получены образцы опалоподобных фотонных кристаллов с трехмерным упорядочением на основе частиц диоксида кремния с различным спектральным положением фотонной запрещенной зоны. Образцы допированы органическими красителями. Проведены измерения спектров отражения и люминесценции



полученных образцов. Из результатов измерения люминесценции в области фотонной запрещённой зоны определена плотность фотонных состояний в опалоподобных структурах. Результаты измерений сопоставлены с данными для других типов фотонных кристаллов.

При центрифугировании суспензий из наносцинтилляторов и органических люминофоров обнаружено формирование сцинтилляционных микро- и нано-волокон с поперечной модуляцией структуры, обеспечивающей резонансную обратную связь излучаемых фотонов. За счет этого в рентгенолюминесценции волокон преобладает продольная направленность светового излучения, создающая предпосылки создания радиационных детекторов с улучшенными чувствительностью, быстродействием, пространственным разрешением. При рентгеновском облучении водных суспензий наночастиц меди с органическими молекулами обнаружено образование субмикронных агломератов подковообразной формы, перспективных для создания метаматериалов с отрицательным показателем преломления в видимой части спектра

Грант РФФИ 16-29-11702-офи\_м

Руководитель: д.ф.-м.н. П.В. Долганов

37. В работе показано, что получение однородных монокристаллов диоксида циркония совместно стабилизированных оксидами скандия и иттрия возможно при определенных концентрациях стабилизирующих оксидов. Так для получения монокристаллов полностью стабилизированного диоксида циркония суммарная концентрация стабилизирующих оксидов скандия и иттрия находится в интервале концентраций 10 - 12 мол.%.

Рентгеноструктурные исследования полученных кристаллов показали, что однородные, прозрачные кристаллы полностью стабилизированного диоксида циркония были однофазными с кубической флюоритовой структурой. Параметр решетки кубических твердых растворов при постоянной концентрации оксида иттрия уменьшался с увеличением концентрации оксида скандия. Проведена оценка фазовой устойчивости твердых растворов на основе диоксида циркония к механическим воздействиям. Из кубических кристаллов изменение фазового состава при истирании установлено только для образца содержащего 10 мол.% оксида скандия и 2 мол.% оксида иттрия. Для кристаллов этого состава после приготовления порошков наблюдали частичный переход кубической фазы в ромбоэдрическую.

Исследования транспортных характеристик кристаллов методом импедансной спектроскопии показало, что наиболее высокую проводимость в области рабочих температур твердооксидных топливных элементов показали твердые растворы на основе диоксида циркония с 8 мол.% оксида скандия и 2 мол.% оксида иттрия и состав с 10 мол.% оксида скандия и 1 мол.% оксида иттрия. Данные составы имеют кубическую структуру, но расположены близко к границе тетрагонально-кубической области соответствующих фазовых диаграмм.

В работе показано, что получение однородных монокристаллов диоксида циркония совместно стабилизированных оксидами скандия и иттрия возможно при определенных концентрациях стабилизирующих оксидов. Так для получения монокристаллов полностью стабилизированного диоксида циркония суммарная концентрация стабилизирующих оксидов скандия и иттрия находится в интервале концентраций 10 - 12 мол.%.

Рентгенодифрактометрические исследования полученных кристаллов показали, что однородные, прозрачные кристаллы полностью стабилизированного диоксида циркония были однофазными с кубической флюоритовой структурой. Параметр решетки кубических твердых растворов при постоянной концентрации оксида иттрия уменьшался с увеличением концентрации оксида скандия. Проведена оценка фазовой устойчивости твердых растворов на основе диоксида циркония к механическим воздействиям. Из кубических кристаллов изменение фазового состава при истирании установлено только для образца содержащего 10 мол.% оксида скандия и 2 мол.% оксида иттрия. Для кристаллов этого состава после приготовления порошков наблюдали частичный переход кубической фазы в ромбоэдрическую.

Исследования транспортных характеристик кристаллов методом импедансной спектроскопии показало, что наиболее высокую проводимость в области рабочих температур твердооксидных топливных элементов показали твердые растворы на основе диоксида циркония с 8 мол.% оксида скандия и 2 мол.% оксида иттрия и состав с 10 мол.% оксида скандия и 1 мол.% оксида иттрия. Данные составы имеют кубическую структуру, но расположены близко к границе тетрагонально-кубической области соответствующих фазовых диаграмм.

Грант РФФИ 16-38-00521 мол\_а Конкурс научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант)

Руководитель: И.Е. Курицына

38. На основе явлений формирования регулярных наноструктур и ускоренного массопереноса при деформационной обработке приповерхностных слоев металлов создан набор методик улучшения эксплуатационных характеристик металлических изделий посредством сочетания шариковой обкатки и виброакустической обработки. В том числе разработаны процессы химического и механического упрочнения металлоконструкций непосредственно в местах их эксплуатации, включая антикоррозионную и механическую защиту их поверхностей и сварных швов в полевых условиях.

Грант РФФИ 16-58-00132

Руководитель – к.ф.-м.н. Н.В. Классен

39. Проведено детальное исследование КР и ИК спектров  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , в результате которого установлено, что дипольно активные фононы могут проявляться в спектрах КР при наличии дефектов кристаллической структуры.

Полносимметричные  $A_{1g}$  фононы были детально исследованы для равновесного и когерентного состояния решетки  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Изучение равновесных фононов проводилось в частотном домене методом спонтанного рамановского рассеяния, тогда как для когерентных фононов был использован метод активной фемтосекундной спектроскопии, позволяющий реализовать измерения во временном домене. В последнем случае фемтосекундные лазерные импульсы были использованы как для генерации, так и для детектирования  $A_{1g}$  когерентных фононов, наличие у которых хорошо определенной фазы позволило осуществить селективный оптический контроль динамики решетки. Сравнение результатов, полученных в частотном и временном доменах, позволяет предположить, что диагональные и недиагональные элементы матрицы плотности решеточных возбуждений релаксируют с одним и тем же характерным временем к равновесному и нулевому значениям, соответственно.

Исследована температурная зависимость комбинационно-активных фононных мод топологического изолятора  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Обнаружено различие в температурных зависимостях полносимметричных и дважды вырожденных фононных мод (интенсивность последних сильнее зависит от температуры).

Обнаружен отрицательный, короткоживущий чирп частоты для  $A_{1g}$  фононов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  во временном домене, и отсутствие асимметрии спектральных линий полносимметричных фононов в частотном домене. Чирп фононов выявлялся как при помощи Фурье и вэйвлет преобразований, так и при анализе динамики решетки в реальном времени

Грант РФФИ 17-02-00002

Руководитель: д.ф.-м.н. О.В. Мисочко

40. Исследовано изменение низкотемпературных спектров фотолюминесценции двумерных электронов в гетеропереходах  $\text{MgZnO} / \text{ZnO}$  при уменьшении плотности электронов от  $2,3 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$  до  $3,5 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . Показано, что значение массы квазичастичной плотности состояний можно прямым образом извлечь из ширины линии фотолюминесценции 2DES и установлено, что дисперсия электронов с сильным взаимодействием претерпевает значительную перенормировку и масса плотности состояний в такой системе может вдвое превышать массу объемного материала, изменяясь от  $0,3 m_0$  до  $0,6 m_0$ . Показано, что эта перенормировка связана с эффектами сильного электрон-электронного взаимодействия, Исследованы свойства квазичастиц глубоко под поверхностью Ферми, энергия которых значительно превышает пределы теории Ферми-жидкости Ландау.

Из поведения спектральной интенсивности спиновой волны вблизи точки Стонеровской неустойчивости определен скачок средней спиновой поляризации ДЭС в Изинговых КХФ вблизи  $\nu=2$  и  $\nu=3$ , показано, что ферромагнитная фаза имеет место со стороны меньших магнитных полей от точки перехода. Зафиксирована сильная ферми-жидкостная перенормировка параметра спиновой восприимчивости ДЭС в диапазоне концентраций электронов  $1 - 4 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . За счет этого при концентрации электронов  $\sim 2 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$  ферромагнитный переход при  $\nu=2$  происходит при нормальной ориентации магнитного поля, и является аналогом Стонеровской неустойчивости.

Грант РФФИ-17-02-00122

Руководитель – академик И.В. Кукушкин

41. Методом неупругого рассеяния света (НРС) исследована магнитополевая динамика межподзон-ных коллективных возбуждений в двумерных электронных системах на основе гетероструктур  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}/\text{ZnO}$ . На серии высококачественных гетероструктур с концентрациями двумерного электронного канала  $2,8, 3,5$  и  $4,5 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$  и электронными подвижностями, превышающими  $250'000 \text{ см}^2/\text{Вс}$ . Установлено, что в диапазоне факторов заполнения  $\nu=2 \rightarrow \nu=1$  энергия межподзонного возбуждения зарядовой плотности приобретает энергетический сдвиг, зависящий от степени спиновой поляризации электронной системы. Данный эффект можно использовать для измерения локальной степени спиновой поляризации основного состояния.

Грант РФФИ-17-02-00128

Руководитель: д.ф.-м.н. Л.В. Кулик

42. Экспериментально определена плотность фотонных состояний в высококачественных образцах холестерического фотонного кристалла. Исследования проведены с использованием методики, разработанной авторами проекта, основанной на измерениях спектров вращения плоскости поляризации света. Плотность состояний определена в образцах различной толщины как вне, так и внутри фотонной квазизапрещенной зоны. Прослежена трансформация квазизапрещенной зоны в запрещенную при изменении толщины образца. С использованием параметров, определенных из независимых измерений, рассчитана плотность фотонных состояний, результаты расчёта сопоставлены с экспериментом. В бездефектных образцах наблюдается хорошее согласие экспериментальных данных и результатов расчёта. В холестерических жидких кристаллах, допированных органическими красителями, проведены измерения спектров люминесценции в поляризованном свете. Из измерений люминесценции в сочетании с прямыми измерениями плотности фотонных состояний определены параметры ориентационного упорядочения холестерических фотонных кристаллов. Результаты исследований будут использованы при изучении других типов жидкокристаллических фотонных кристаллов.

В полярных смектических фотонных кристаллах проведены измерения спектров отражения и пропускания в широком температурном диапазоне. Измерения проведены на образцах в виде свободно подвешенных плёнок однородной толщины и на объёмных образцах на поверхности твёрдого тела и в оптических кюветах. Определена температурная зависимость спектрального положения и ширины фотонной запрещенной зоны в сегнетоэлектрической и антисегнетоэлектрической фазе. Из экспериментальных данных оценена плотность фотонных состояний в смектических структурах. Вблизи температуры фазового перехода в  $\text{SmC}^*_a$  фазу фотонная запрещенная зона резко смешается в коротковолновую область. Уменьшение ширины фотонной запрещенной зоны при увеличении температуры связано с уменьшением угла наклона молекул в смектических слоях и вызванным этим уменьшением эффективной оптической анизотропии структуры.

Грант РФФИ 17-02-00246

Руководитель: д.ф.-м.н. П.В. Долганов

43. Была проведена серия измерений магнитотранспорта в проволоках InAs при гелиевых температурах ( $T=4.2\text{K}$ ) в присутствии заряженного острия атомно-силового микроскопа. В проволоке высокого качества с длиной 1.9 мкм было продемонстрировано, что амплитуда волны зарядовой плотности (ВЗП) достаточно сильно зависит от величины приложенного магнитного поля и уменьшается в два раза уже при  $B=100\text{mT}$ . Данный результат слабо зависит от величины отстройки от резонанса ВЗП. Зависимость величины амплитуды ВЗП от внешнего магнитного поля полностью подтверждает предположение о том, что наблюдаемая ВЗП - есть результат именно перестройки электронной системы в нанопроволоке, а не является следствием влияния внешних кулоновских центров.

Измерения магнитотранспорта на ультракороткой проволоке InAs (длина проволоки составляла 300нм) позволили существенно улучшить качество калибровки влияния заряженного зонда атомно-силового микроскопа на исследуемую структуру.

Проведённая калибровка является важным заделом для будущих измерений магнитотранспорта с использованием магнитных зондов.

Кроме того, с использованием двухзондового наноманипулятора была разработана методика измерения жесткости вольфрамовых зондов. Данная методика позволила определить жесткость используемых зондов экспериментально. В результате измерение силы адгезии пучка нанопроволок InAs к подложке было проведено без привлечения каких-либо дополнительных модельных расчетов и приближений.

Грант РФФИ 17-02-00454

Руководитель: к.ф.-м.н. А.А. Жуков

44. Построена теория квазижидкого слоя льда, существующего вблизи поверхности при температурах не ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Теория основана на состоянии льда с жидкой системой водородных связей и объясняет такие свойства льда как низкий коэффициент трения, смерзание льда, адгезию и высокую поверхностную протонную проводимость.

С помощью численного моделирования исследована точность гипотезы Полинга о вырождении конфигураций, удовлетворяющих правилам льда, в гексагональной модификации. Показано, что вклады от дипольного взаимодействия в значительной степени сокращаются, что можно рассматривать как самоэкранирование дальнедействующего дипольного взаимодействия. Экспериментально наблюдаемые переходы в упорядоченное состояние по протонам могут быть связаны с искажениями В рамках модели магнитных монополей построена теория магнитных шумов в спиновом льде, что существенно расширяет возможность описания динамики магнитных процессов в таких системах.

Грант РФФИ 17-02-00512

Руководитель: к.ф.-м.н. И.А. Рыжкин

45. Исследована магнитополевая динамика межподзонных коллективных возбуждений в двумерных электронных системах на основе гетероструктур  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}/\text{ZnO}$ . Обнаружено, что при изменении спиновой поляризации в условиях перехода от фактора заполнения 2 к фактору заполнения 1 энергия межподзонного магнитоплазмона значительно изменяется. Проведенный теоретический анализ показал связь данного эффекта с сопутствующим изменением обменного взаимодействия в энергии возбуждения. Исследована термодинамическая устойчивость фаз холловских ферромагнетиков вблизи точки ферромагнитного (стонеровского) перехода при  $\mu=2$ . Показано, что с ростом температуры фазовый контраст вблизи точки перехода падает из-за формирования доменов. Найдено, что критическая температура стабильности фаз холловских ферромагнетиков  $\sim 2\text{K}$  и определяется кулоновской энергией формирования доменных стенок. На серии гетероструктур  $\text{ZnO}/\text{MgZnO}$  с сильнодействующими ДЭС обнаружены качественные изменения спектра циклотронных спин-флип возбуждений при фазовом переходе в состоянии КЭХ  $\mu=2$ . При перестройке спиновой конфигурации основного состояния системы меняется и количество данных возбуждений и структура много частичного вклада в их энергии.

Грант РФФИ 17-02-00751

Руководитель: к.ф.-м.н. А.Б. Ваньков

46. Экспериментально изучена релаксация фотовозбужденных носителей в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах второго типа на основе ZnMnSe/BeMnTe, обладающих рядом особенностей, которые, в свою очередь, меняют кинетику намагниченности в этих структурах. Скорость ухода фотовозбужденных дырок из слоя ZnMnSe определяет эффективность нагрева марганцевой подсистемы в этом слое. При высоких уровнях оптического возбуждения в гетероструктурах второго типа происходит сильная модификация зонной структуры, возникают метастабильные надбарьерные дырочные состояния, что приводит, в том числе, к дополнительному, помимо изменения намагниченности, сдвигу полос излучения пространственно прямых оптических переходов. Были выполнены подробные исследования пикосекундной кинетики люминесценции таких переходов в немагнитных квантовых ямах ZnSe/BeTe, и построена модель, которая объяснила не экспоненциальную кинетику люминесценции и спектральные сдвиги пространственно прямых оптических переходов при изучаемых оптических накачках. Это позволило выделить и определить пикосекундные времена релаксации фотовозбужденных дырок в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах за счет обменного взаимодействия со спинами ионов  $Mn^{2+}$ .

Грант РФФИ 17-02-00959

Руководитель: к.ф.-м.н. А.А. Максимов

47. Метод емкостной спектроскопии адаптирован для исследования сжимаемости отдельных электронных слоев в двухслойной электронной системе, реализуемой в широкой квантовой яме. Показано, что метод позволяет выделять особенности в сжимаемости каждого слоя, обусловленные заполнением уровней Ландау в этом слое, и определять распределение электронной плотности между слоями. В экспериментах, выполненных на образце с широкой квантовой ямой GaAs в гетероструктуре GaAs/AlGaAs, обнаружена перестройка структуры подзон размерного квантования, происходящая при изменении магнитного поля и приводящая к серии переходов между двухслойными и однослойными состояниями электронной системы. Однослойные состояния возникают в магнитных полях, соответствующих заполнению одного или двух уровней магнитного квантования всеми электронами в системе, и, по-видимому, являются проявлением эффектов электрон-электронной корреляции.

Грант РФФИ 17-02-00769

Руководитель: д.ф.-м.н. С.И. Дорожкин

48. Изготовлены управляемые эффектом поля планарные гибридные структуры сверхпроводник/ полупроводниковая нанопроволока/ сверхпроводник на основе InAs-нанопроволок и сверхпроводящих ниобиевых (алюминиевых) электродов. Проведены исследования дифференциальной проводимости структур в поперечном магнитном поле при различных температурах. В структурах Al/InAs-нанопроволока/Al, при положительных затворных напряжениях, соответствующих высоким концентрациям носителей заряда в InAs-нанопроволоках, индуцированная в InAs сверхпроводящая щель близка к сверхпроводящей щели алюминия. С уменьшением напряжения на затворе мы наблюдали существенное уменьшение индуцированной щели, что объясняется зависимостью прозрачности границы раздела сверхпроводник/ нанопроволока от концентрации носителей в InAs-нанопроволоке. Экспериментальная

зависимость индуцированной щели от затворного напряжения хорошо описывается в рамках модели прямоугольного потенциального барьера на поверхности Al/InAs-нанопроволока.

Нами были детально исследованы температурные и магнитополевые зависимости дифференциальной проводимости структур Nb/InAs-нанопроволока/ Nb в области низких температур. Обнаружен пик в дифференциальной проводимости в структурах Nb/InAs-нанопроволока/Nb при нулевом напряжении смещения и расщепление пика проводимости в сильных магнитных полях ( $B > 1T$ ). Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с имеющимися теоретическими расчетами.

Грант РФФИ 17-02-00933

Руководитель: к.ф.-м.н. И.Е. Батов

49. Экспериментально исследовано формирование вихревого движения нелинейными гравитационными волнами на поверхности воды в ванне с размерами 70x70 см. Гравитационные волны возбуждаются двумя плунжерами, установленными перпендикулярно друг к другу на расстоянии 1 см от стенок ванны. Частота накачки равняется 4 Гц, длина возбуждаемой волны составляет 9.6 см. Визуализация течения жидкости осуществляется полиамидными декорирующими частицами. После включения накачки бегущие волны распространяются по поверхности и вначале формируют систему валов, которая затем она трансформируется в вихревую решетку при установлении на поверхности стоячей волны. Идеальная решетка вихрей со временем разрушается интенсивным вихревым взаимодействием. Распределение энергии по волновому вектору можно описать зависимостью близкой к  $E \sim k^{-3}$ . Масштаб максимального по размеру вихря близок к размеру ванны. Предполагается, что в системе вихрей устанавливается прямой каскад энергии, однако нелинейное взаимодействие вихрей слабо. После выключения накачки волн и их затухания на поверхности сохраняется вихревое движение в вязком подслое, созданное нелинейными волнами. С течением времени быстрее затухают вихри меньшего масштаба, и на поверхности доминирующими остаются один или два больших вихрей.

Грант РФФИ 17-02-01090

Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Левченко

50. Методом ARPES на синхротроне ELETTRA (Триест, Италия) изучена Ферми-поверхность трехслойного графена, синтезированного на SiC(001) и исследовано ее поведение в области температур  $T = 10 - 300K$ . Доказано, что во всей исследованной области температур в К-точке графена не обнаружено открытия зонной щели.

СТМ-изображение показало, что графеновое покрытие состоит из нанометровых доменов, разделенных четкими границами (NBs). В большинстве случаев NBs поворачиваются на  $3,5^\circ$  относительно одного из двух ортогональных  $\langle 110 \rangle$  направлений. При этом с одной стороны NB имеет зигзагообразную структуру, а с другой – структуру типа кресла. Ширина нанодоменов составляет от нескольких до 40-50 нанометров. Графеновые решетки в нанодоменах развернуты на  $27^\circ$  относительно друг друга, что составляет  $\pm 13,5^\circ$  от направления  $[110]$ . Лист графена при удалении от NB сначала изгибается вверх, а затем вниз, образуя полутрубки, вытянутые вдоль направления NB с типичной кривизной, соответствующей «диаметру» в несколько нанометров. Таким образом, NBs представляют собой комбинацию ряби (в виде нано-полутрубок) и границ между зернами графена.

Для образцов графена в геометрии Холла была измерена зависимость магнетосопротивления (MR) при 10 К от магнитного поля в плоскости графена и обнаружено увеличение MR до 5%. Многочисленные тестовые исследования и анализы исключили возможность артефактов и доказали реальность обнаруженного эффекта. Кроме того, в предположении, что образец содержит NBs были проведены теоретические расчеты с использованием неравновесной функции Грина (NEGF), которые показали, что поля «в плоскости» и «вне плоскости» графена дают положительное MR и отрицательное MR, соответственно, что согласуется с нашими экспериментальными данными. Таким образом, положительное MR в плоскости графена обусловлено внутренними свойствами самих границ.

Грант РФФИ 17-02-01139

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Ю. Аристов

51. Методом оптического детектирования резонансного микроволнового поглощения были исследованы магнитоплазменные возбуждения в AlAs/AlGaAs квантовых ямах с сильной анизотропией эффективных масс двумерных электронов. Данный метод впервые применен для непрямозонного полупроводника. Для циклотронной магнитоплазменной моды было обнаружено сильное отклонение от теоретической магнитодисперсионной зависимости. Такое поведение связано со значительно более сильным проявлением эффектов запаздывания в двумерных системах с анизотропным энергетическим спектром.

Грант РФФИ 17-02-01140

Руководитель: д.ф.-м.н. С.И. Губарев

52. При высоких давлениях водорода синтезирован дигидрид тантала. В отличие от известных ранее дигидридов других металлов IVb и Vb групп (Ti, Zr, Hf, V и Nb) с гранецентрированной кубической структурой, синтезируемых при давлениях порядка атмосферного, дигидрид тантала образуется только при давлениях выше 5.5 ГПа, имеет необычную гексагональную плотноупакованную структуру и сверхстехиометрический состав H/Ta = 2.2. Ни в одном другом гидриде высокого давления, полученном за последние 18 лет, содержание водорода не было определено экспериментально.

Грант РФФИ 17-02-01142

Руководитель: д.ф.-м.н. В.Е. Антонов

53. Разработана комбинированная технология изготовления многослойных джозефсоновских структур, включающих одновременно туннельный и ферромагнитный барьер из слабоферромагнитного сплава CuNi с содержанием никеля 53 ат %, разделенных слоем сверхпроводника 10-15 нм. С использованием разработанной технологии удалось изготовить и исследовать различные типы джозефсоновских структур: длинные джозефсоновские контакты (с длиной больше характерного джозефсоновского пространственного масштаба); джозефсоновские переходы, разделенные на две и более частей; круглый джозефсоновский переход, двухконтактный СКВИД. Толщина ферромагнитного слоя (10 нм) выбиралась таким образом, чтобы наведенная в нем сверхпроводящая волновая функция изменяла знак при переходе от берега к берегу (пи-состояние). В экспериментах варьировалась длина джозефсоновских переходов, количество «разрезов», а также наличие/отсутствие



ферромагнитного барьера (пи-контакта). Было показано, что полевая зависимость критического тока образцов с ферромагнитным барьером имеет очень сложный характер, тогда как для контрольных образцов наблюдается стандартная Фраунгоферова зависимость с поправкой на собственное поле транспортного тока и экранировку. Вольт-амперные характеристики образцов демонстрируют наличие сложной структуры ступеней Фиске в приложенном магнитном поле как для контрольных, так и для «комбинированных» образцов, включающих ферромагнитный барьер. Для комбинированных образцов ступени Фиске наблюдались даже в нулевом магнитном поле, что является индикатором наличия вихревых токов вокруг границы ферромагнитного слоя. Вольт-амперные характеристики комбинированных образцов имели такой же вид, как для контрольных, что подтверждает возможность использования низкоомных SFS-контактов в джозефсоновских структурах со слабым затуханием.

Исследован эффект магнитного переключения в джозефсоновских SIsFS-контактах на основе сверхпроводящего ниобия, туннельного барьера их оксида алюминия и ферромагнитного барьера их слабоферромагнитного сплава PdFe (содержание железа около 1%), который обладает плоскостной магнитной анизотропией и создает заметный магнитный поток через сечение джозефсоновского перехода. Такие контакты рассматриваются как перспективные элементы джозефсоновской магнитной памяти, в которой цифровые состояния кодируются величиной и направлением намагниченности ферромагнитного барьера, а считывание цифрового состояния производится путем измерения критического тока контакта. Показано, что приложение к образцу высокочастотного переменного поля частотой около 4 ГГц позволяет изменять направление намагниченности импульсами внешнего магнитного поля уменьшенной амплитуды. Мы полагаем, что приложение высокочастотного сигнала выводит локальные магнитные моменты из равновесия, что облегчает их разворот под действием перемещающего поля. Здесь усматривается аналогия с температурными флуктуациями, которые также уменьшают коэрцитивную силу ферромагнитного барьера. Приложение высокочастотного сигнала в наших экспериментах оказывало такое же воздействие, как повышение температуры на 0.5 К. Полученный результат открывает новые возможности для адресации перспективных элементов джозефсоновской магнитной памяти. Действительно, при уменьшении амплитуды записывающих импульсов магнитного поля изменять свое цифровое состояние будут только те контакты, к которым приложен ВЧ-сигнал. Таким образом, задача адресации джозефсоновской магнитной памяти сводится к адресации ВЧ-сигнала, которую гораздо проще осуществить.

Грант РФФИ 17-02-01270

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

54. Изучены особенности формирования СТМ-изображений атомного разрешения поверхности силицида гадолиния на Si(111) при различных параметрах туннелирования и структурах зондов. Выполнены теоретические расчеты СТМ-изображений поверхности  $GdSi_{2-x}/Si(111)$  для различных вариантов упаковки дефектов кристаллической решетки (вакансий атомов кремния) в приповерхностных слоях. Расчеты выполнены при различных параметрах туннелирования (ток, напряжение) с учетом реалистичной структуры острия. Результаты теоретических расчетов сопоставлены с экспериментальными данными атомного разрешения. Анализ

полученных результатов показал, что для такой слоистой системы существует два предпочтительных варианта структуры вакансионной решетки в приповерхностных слоях. Показано, что наиболее точное соответствие СТМ-изображений атомного разрешения реальной структуре слоев силицида гадолиния достигается при использовании чистых вольфрамовых зондов. При использовании вольфрамовых зондов с атомом кислорода на острие положения максимумов на СТМ-изображениях не соответствует истинному положению атомов кремния поверхности.

Грант РФФИ 17-02-01291-а

Руководитель: к.ф.-м.н. А.Н. Чайка

55. В работе экспериментально исследована фотолюминесценция неравновесного конденсата поляритонов в цилиндрических микростолбиках, вытравленных на поверхности высокодобротного микрорезонатора на основе GaAs, в широком диапазоне расстроек в магнитном поле до 12 Тл при различных уровнях нерезонансной лазерной накачки наносекундными импульсами. Такой способ возбуждения приводит к высокой плотности неравновесных экситонов в резервуаре, что согласно теоретическим оценкам должно влиять на величину зеемановского расщепления и приводить к его существенной зависимости от плотности накачки вплоть до смены знака расщепления. Однако измерения фотолюминесценции в широком диапазоне плотностей оптического возбуждения продемонстрировали слабую зависимость зеемановское расщепление от накачки. Выяснилось, что его изменение не превышает 15 % от величины расщепления в поле 12 Тл. Оценка плотности экситонов в резервуаре, полученная из этих данных, дает величину, не превышающую  $10^8 \text{ см}^{-2}$ , что заметно меньше ожидаемого. Дополнительно было установлено заметное, до 1.8 раз, уменьшение порога конденсации поляритонов в магнитном поле.

Грант РФФИ 17-02-01390

Руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Черненко

56. Закончена методическая работа по определению конструкции и выбору способа сборки многослойных пакетов для твердофазного получения жаропрочных слоистых композитов с упрочнением интерметаллидами ниобия и молибдена с углеродом, кремнием и бором. Разработан способ нанесения суспензионных (C–Si)- и (B–Si)-покрытий на поверхности Mo- и Nb-фольг. Проведена диффузионная сварка (ДС) запланированных на 1-й год пакетов, собранных из фольг с покрытиями из бора и кремния в соотношении  $\text{Si/B} = 3$ . Исследовано изменение слоистой структуры композитов в зависимости от времени и температуры ДС. Для Mo–Si–B изменялась температура с 1500 до 1700°C, для Nb–Si–B изменялись время и давление ДС при 1500°C. Эволюция фазовой структуры происходила от соединений с меньшим содержанием Mo и Nb к соединениям с их большим содержанием и характерна для диффузионных пар с ограниченными источниками. Проведен «пилотный» эксперимент по получению жаропрочного покрытия из карбида-силицидов Mo и W на поверхности композита Nb/(Si–B) заодно с его ДС. Испытания композитных образцов на 3-точечный изгиб при 1100–1500°C показали удовлетворительные для таких высоких температур прочности, сохранявшиеся во всем температурном интервале: ~200 МПа для Nb/(Si–B) и ~300 МПа для Mo/(Si–B). По результатам испытаний композита  $16\text{Nb}/(\text{Si–B})$  на трещиностойкость – от 12 до 13 МПа·м<sup>1/2</sup> – материал

находится между керамикой и высокопрочными сплавами. Обращает на себя внимание плотность композита Nb/(Si-B), равная  $7,22 \text{ Г/см}^3$ , по сравнению с плотностью известных Ni-сплавов –  $7,46 \text{ Г/см}^3$ , и его модуль упругости, увеличившийся относительно модуля чистого ниобия на 20%.

Грант РФФИ 17-03-00687

Руководитель: к.т.н. В.П. Коржов

57. Разработаны методики оценки эффективности оксидных композитных волокон на основе оксида алюминия и алюминатов кальция в качестве армирующего средства хрупкой матрицы. Оценки проведены по результатам механических испытаний композитов с хрупкой матрицей из рекристаллизованного молибдена и микроскопического исследования характера их разрушения. Получены зависимости прочности, трещиностойкости, эффективной поверхностной энергии от составов и режимов получения волокон и композитов на их основе. Показано, что при определенных условиях трещиностойкость указанных композитов может существенно превосходить трещиностойкость композитов с волокнами из монокристаллического сапфира. Кривые деформирования указанных композитов и поверхности их разрушения имеют вид, характерный для нехрупких материалов. Изучены особенности формирования структуры волокон при их кристаллизации из расплава в каналах молибденовой матрицы. Проведены пилотные испытания композитов при высоких температурах. Разработана также методика получения оксидных композитных пластин, предназначенных для использования в качестве армирующей компоненты композитов с хрупкой матрицей, и исследована их структура.

Грант РФФИ 17-03-01136

Руководитель: к.т.н. В.М. Кийко

58. Разработана методика изготовления ТГц волноводов нового типа на основе профилированных кристаллов сапфира с использованием метода роста профилированных кристаллов – метода Степанова. Согласно предложенной методике, на первом этапе проводится численный расчет геометрии сечения волновода с целью оптимизации дисперсии и потерь при передаче ТГц излучения в одномодовом режиме, либо обеспечения заданного количества и качества волноводных мод для реализации интерференционных принципов измерений.

С помощью разработанной методики изготовлен пилотный образец микроструктурированного ТГц волновода с одним центральным каналом и двумя рядами каналов фотонно-кристаллической оболочки. Данный волновод был охарактеризован экспериментально с помощью методов ТГц спектроскопии и имиджинга. Он обеспечивает высокую эффективность передачи ТГц излучения в широком спектральном диапазоне от 0,2 до 1,2 ТГц в двухмодовом режиме – экспериментально продемонстрирована низкая дисперсия (до  $0.14 \text{ пс} / (\text{ТГц см})$ ) и малые потери на распространение - 3 дБ/м и 1 дБ/м на частоте 1,2 ТГц для фундаментальной моды и моды высокого порядка, соответственно.

Проведены эксперименты, демонстрирующие возможность детектирования малого количества вещества (порошка  $\text{NaNO}_2$ ), а также его плавления как за счет ТГц внутриволноводных спектроскопических измерений (измерения спектра пропускания ТГц излучения), так и за счет ТГц внутриволноводной интерферометрии (измерение интерференционной картины на выходе волновода и оценка фазового набега между

двумя волноводными модами). Полученные результаты демонстрируют перспективность использования методов ТГц внутриволноводной спектроскопии и интерферометрии на основе многоканальных сапфировых волноводов для решения различных задач ТГц науки и техники.

Грант РФФИ 17-38-80057

Руководитель: Г.М. Катыба

59. Исследовано изменение структуры и магнитных свойств группы аморфных сплавов на основе железа и кобальта в процессе термообработки. Обнаружено, что в образцах лент с аморфно-кристаллической структурой наблюдается незначительное повышение значения намагниченности насыщения, по сравнению с исходными аморфными образцами. В ленте состава  $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{16}\text{B}_{6.5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1$  с аморфно-кристаллической структурой намагниченность насыщения на ~5% больше чем в исходном образце. В случае ленты состава  $\text{Fe}_{76}\text{Si}_{11}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$  намагниченность насыщения увеличивается на 6-7% по сравнению с исходным образцом. Повышение значения намагниченности насыщения обусловлено с формированием нанокристаллов железа в процессе первичной кристаллизации.

Грант РФФИ 17-42-500633

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

60. В результате проведенной работы было исследовано влияние предварительного прессования древесины на структуру и свойства биоуглеродных каркасов, полученных путем ее пиролиза. Показано, что прессование ведет к существенному искажению клеточных стенок древесины и накоплению в них внутренних напряжений, в результате чего изменяются величины усадок во время пиролиза, а также повышается конечная плотность углеродных каркасов. Деформация древесины также приводит к образованию в клеточных стенках дефектов, что снижает удельное сопротивление биоуглерода, но, так как дефекты имеют микронные размеры, слабо влияет на удельную поверхность материала. Исследовано влияние плотности биоуглеродных каркасов на процесс их силицирования, в частности показано, что при плотностях более  $0,9 \text{ г/см}^3$  силицирование методом наложения может приводить к растрескиванию заготовки, т.к. процесс протекает медленно и неравномерно из-за существенно сниженной проницаемости каналов для расплава кремния. Разработан способ неразрушающего определения фазового состава целого ряда SiC/Si/C материалов, получаемых силицированием пористых углеродных заготовок, в частности биоморфных материалов, силицированных графитов и других

Грант РФФИ 17-43-500079

Руководитель: к.т.н. А.Е. Ершов

61. Исследована зависимость прочностных свойств (микротвердости) от размеров нанокристаллов в аморфно-нанокристаллическом сплаве Al88Ni6Y6. Показано, что зависимость прочностных свойств от размеров нанокристаллов определяется эффективностью взаимодействия полос сдвига с нанокристаллами. Для установления корректной зависимости микротвердости от размеров нанокристаллов комплексной обработкой аморфных сплавов, сочетающей деформацию и термообработку, были получены аморфно-нанокристаллические образцы с одинаковой объемной долей нанокристаллов и разными средними размерами (5 и 13 нм). Микротвердость

образцов с размером нанокристаллов 13 нм составила 415 МПа, а 5 нм – 260 МПа. Такая зависимость от размера соответствует обратному закону Петча – Холла. Поскольку толщина полосы сдвига составляет в данном образце 5-10 нм, то нанокристаллы размером 5 нм не являются эффективным препятствием для ее распространения и не оказывают существенного влияния на твердость образцов.

Грант РФФИ 17-43-500809

Руководитель: д.ф.-м.н. А.С. Аронин

62. Показана возможность нанесения sol-gel методом покрытий SiO<sub>2</sub> на углеродное волокно, препятствующих образованию карбида алюминия и обеспечивающих прочную связь на границе раздела с матрицей на основе алюминиевого сплава. Получены образцы угле-алюминиевого композита с использованием жидкофазных технологических методов. Начато исследование цепочки структура и параметры покрытия - прочность и трещиностойкость композита.

Грант РФФИ 17-48-500843

Руководитель: д.т.н. Милейко С.Т.

#### **IV. Результаты, полученные при выполнении хоз.договоров**

Теоретически исследованы сверхбыстрые (на масштабе пикосекунд) переключения в дискретном наборе режимов отклика полупроводникового микрорезонатора с сильной экситон-фотонной связью под действием деформационных акустических импульсов пикосекундной длительности. Найдено, в частности, что в резонаторных микростолбиках (3–10 микрометров) отклик системы является мультистабильным при постоянной оптической накачке, при этом под действием акустических импульсов возможны переходы между состояниями с разными интенсивностями и поляризациями. В противоположном пределе латерально однородной системы, возбуждаемой плоской электромагнитной волной в сочетании с пространственно ограниченными деформационными импульсами имеет место эффект распространения возбуждения. Установлено, что акустический импульс может служить триггером цепочки переходов на верхнюю ветвь устойчивости оптического отклика, последовательно распространяющейся от точки к точке в плоскости активного слоя гетероструктуры. Обнаруженный эффект предоставляет новый способ акусто-оптического контроля макроскопически когерентных состояний поляритонов.

Руководитель – Кулаковский В.Д.

Контракт 1-17-1

Экспериментально исследованы низкотемпературные спектры излучения планарных микрорезонаторов с хиральными фотонно-кристаллическими слоями (ХФКС) в режиме сильной связи между экситонной и микрорезонаторной мод. Найдено, что ХФКС приводит к появлению циркулярной поляризации излучения поляритонов в нулевом магнитном поле. Величина степени циркулярной поляризации излучения поляритонов при плотности возбуждения, меньшей пороговой для их конденсации в исследованных структурах не превышала 30%. При повышении плотности возбуждения выше пороговой степень циркулярной поляризации излучения образующейся макрозаполненной поляритонной моды повышается до 60-75%. При

этом было найдено, что излучение этой моды демонстрирует и частичную линейную поляризацию. С учетом наличия линейной поляризации излучения полная степень поляризации достигает 85%. Причина наличия линейной поляризации при симметрии структуры С4 пока не ясна и требует дальнейших исследований.

Руководитель – Кулаковский В.Д.

Хоздоговор 1170-17

Проведены работы по развитию методик, обеспечивающих исследование зависимости свойств тонкопленочных металлических покрытий от их толщины. Внедрена процедура осаждения слабоферромагнитного сплава  $Pd_{0.99}Fe_{0.01}$  в форме клина заранее заданной формы с перепадом толщин на краях клина вплоть до 4 раз. Также освоено осаждение однородных высококачественных слоев ниобия с толщиной порядка длины когерентности (около 10) нм на длинную подложку методом ее протяжки над зоной распыления ниобия с пт-магнетрона. Разработанные методы были применены для исследования зависимости критической температуры бислоев Nb- $Pd_{0.99}Fe_{0.01}$  от толщины ферромагнитного слоя. Полученная зависимость представляет собой монотонное затухание с перегибом в окрестности толщин 15-20 нм, который может быть связан с осцилляциями наведенной сверхпроводимости в ферромагнитном слое за счет спинового антагонизма ферромагнетизма и сверхпроводимости. Это соответствует периоду осцилляций наведенной сверхпроводящей волновой функции около 70 нм.

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

хоздоговор 0581-2017

1. Усовершенствована методика “лазерного листа”. Регистрация вихревого движения под поверхностью происходит на площади всей ванны. На дно ячейки смонтирован контрастный трафарет со светодиодной подсветкой для регистрации колебаний поверхности воды. Выбраны частицы (полиамид РА-12) с нейтральной плавучестью, обеспечивающие нахождение во взвешенном состоянии в объеме чистой воды до 2 часов и до суток в 8% растворе глицерина.
2. Экспериментально показано, что в объеме решетка вихрей ослабевает в глубины согласно экспоненциальному закону  $\exp(-2kh)$ , где  $k$  — волновой вектор возбуждаемой решетки, а  $h$  — глубина слоя жидкости.
3. Экспериментально оценено характерное время 200 секунд проникновения завихренности решетки вихрей из вязкого подслоя в объем.
4. Экспериментально показано, что наличие крупномасштабных вихрей приводит к «сносу» завихренности, проникающей в объем из вязкого подслоя. При этом величина завихренности решетки вихрей близка к вкладу завихренности возникающего из-за дрейфа Стокса.
5. При возбуждении волн одним плунжером, монохроматическим сигналом на частотах 4 и 6 Гц, возникают крупномасштабные течения с характерным размером равным размером ячейки. Временная зависимость амплитуды завихренности крупномасштабного течения близка к корневой, которую предсказывает теоретическая модель.
6. При возбуждении волн монохроматическим сигналом помимо основной волны от плунжера и отраженной возникают волны, распространяющиеся под углом к основной волне от плунжера.

7. При накачке двумя плунжерами, монохроматическим сигналом на частотах 3, 6, 8 Гц также возникают крупномасштабные течения и временная зависимость амплитуды завихренности на больших масштабах также близка к корневой, которую предсказывает теоретическая модель.

Руководитель – к.ф.-м.н. М.Ю. Бражников  
Хоз. Договор № 1178-17

Эксперимент «ОАСИС» проводился на Международной космической станции (МКС). Объектами исследования являлись плёнки смектического типа в форме сферических пузырей, острова со смектической структурой (участки с большей толщиной, чем плёнка), дырки (участки с меньшей толщиной, чем плёнка), капли жидкости.

В смектических плёнках наблюдалось взаимодействие и самоорганизация дырок и капель жидкости с образованием линейных и разветвлённых цепочек. При малом числе частиц образовывались кластеры, в которых частицы находились в соприкосновении. При большом количестве капель наблюдалось образование структуры с межчастичными расстояниями, существенно превышающими размер капель и ближним квазигексагональным упорядочением. Образование квазигексагональной структуры связано с многочастичными взаимодействиями. Количественно описано огрубление островов, показано, что коалесценция вносит основной вклад в огрубление. Обнаружен термокапиллярный эффект, приводящий при градиенте температур к перемещению островов в область более низкой температуры. Наблюдалась переконденсация и коллапс островов, связанные с перемещением вещества по смектической плёнке между включениями. Обнаружен двумерный аналог эффекта Рэля-Плато: при вращении пузыря происходило разбиение полосы толстой смектической плёнки на острова круглой формы.

ДОГОВОР №1168-17 Обработка и комплексный анализ результатов, полученных в завершённом КЭ «ОАСИС»

КОНТРАКТ № 47702388027160000510/1168-17/(32-1301-2016)-1301/63-2017

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш)

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

В результате работ по Договору методами рентгенографии, сканирующей, просвечивающей и высокоразрешающей электронной микроскопии проведено изучение фазового состава и структуры компактных образцов (брикетов) алюмоматричного композиционного материала Al-Si-Ni-C с углеродными наполнителями разного типа после механического легирования (механоактивации). Сравнительный анализ особенностей распределения углеродных наполнителей показал, что имеет место корреляция между структурным и морфологическим состоянием исходного углеродного наполнителя и его распределением в композиционном материале. Распределение наполнителей в образцах неоднородное. Наполнитель, имеющий форму с максимальной поверхностью (графеноподобный) содержится в виде межзеренных слоев толщиной в несколько нанометров и в виде более обширных областей размером около микрона. Эти области, вероятно, образовались из углеродного наполнителя, остававшегося свободным в порошковой композиции. Наполнитель ЭГ (электродный графит) содержится в виде частиц

микронного размера. Образования слоев графита между зернами при использовании наполнителя ЭГ не обнаружено.

Хоздоговор № № 1166-17/ «Сравнительный анализ распределения углеродных наполнителей в компактных образцах (брикетах) алюмоматричных композиционных функциональных материалов для деталей прецизионных приборов».

Руководитель - д.ф.-м.н. А.С. Аронин

12. Разработан эскизный проект конструкторской документации на экспериментальную установку для выращивания смешанных кристаллов  $K_2Ni_xCo_{(1-x)}(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  методом температурного перепада и в условиях пересыщения раствора путем испарения растворителя с контролем состава маточного раствора; изготовлена и испытана экспериментальная установка; выращены образцы смешанных монокристаллов и би-кристаллов  $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O / K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  с пропусканием 80% в солнечно – слепой области спектра.

Хоз/Договор № 1114-15

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

Синтезированы коллоидные частицы  $SiO_2$  со средним размером 200 nm и 280 nm и изготовлены концентрированные водные суспензии этих частиц (45% мас.). Методом пневматического распыления водной суспензии коллоидных частиц получены микросферы диаметром 3 – 50 микрон из плотноупакованных упорядоченных частиц  $SiO_2$ . Показано, что размеры получаемых сфер зависят от диаметра выходного отверстия форсунки и концентрации частиц в суспензии. Установлено, что отжиг при температуре 950 – 1000°C в течение 4 часов на воздухе обеспечивает необходимую прочность для дальнейшего их использования. Микросферы демонстрируют плотнейшую упорядоченную упаковку коллоидных частиц  $SiO_2$  и селективное отражение света в синей и оранжевой области в соответствии с законом Брэга. Отработаны способы заполнения микросфер различными типами красителей (куркумин, хиолин) в интервале концентраций 0.2 % - 7% мас. Измерены спектры оптического отражения полученных образцов.

Контракт №1-16-4-2017

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

Синтезированы коллоидные частицы  $SiO_2$  со средним размером 145 nm, 240 nm, 300 nm и изготовлены концентрированные водные суспензии этих частиц (45% мас.). Методом пневматического распыления водной суспензии коллоидных частиц получены микросферы диаметром 3 – 50 микрон из плотноупакованных упорядоченных частиц  $SiO_2$ . Установлено, что отжиг при температуре 950 – 1000°C в течение 4 часов на воздухе обеспечивает необходимую прочность для дальнейшего их использования. Микросферы демонстрируют плотнейшую упорядоченную упаковку коллоидных частиц  $SiO_2$  и селективное отражение света в УФ, зеленой и красной области в соответствии с законом Брэга. Отработаны способы заполнения микросфер различными типами красителей (флоксин, гибискус) в интервале концентраций 0.2 % - 2% мас. Измерены спектры оптического отражения полученных образцов.

Контракт 17-4-2017,

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



Проведены экспериментальные исследования влияния состава и методов получения на работоспособность стеклогерметика на основе BaO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, CaO. Проведен сравнительный анализ изготовления биполярных пластин методом электроэрозионной обработки и фрезерования. Отсутствие нагрева заготовок при обработке методом электроэрозионной обработки приводит к отсутствию необходимости проведения термического выравнивающего обжига с целью достижения необходимой плоскостности. Эта положительная особенность приводит к снижению времени и стоимости обработки биполярных токовых коллекторов. Показано, что метод электроэрозионной позволяет избежать больших операционных затрат, связанных с дорогостоящими расходными материалами – качественными фрезами в случае фрезерной обработки. Результаты исследования отечественных нержавеющей сталей позволяют сделать вывод о том, что сталь 08X18T1 может быть использована в качестве материала для токовых коллекторов ТОТЭ ввиду подходящего значения КТР, но только с защитными покрытиями, которые будут препятствовать образованию на поверхности многофазной окалины с низкой адгезией и при этом обеспечивать высокую проводимость в контакте с катодом ТОТЭ.

Хоздоговор 1177-17

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

Подготовлены контейнеры с загрузками теллурида цинка-кадмия (КЦТ) и пакеты ампул с загрузками фуллерена C<sub>60</sub> высокой очистки для наземной отработки КЭ «ВАМПИР» и «Фуллерен» на опытном образце научной научной аппаратуры (НА) «МЭП-01», предназначенном для установки на многофункциональном лабораторном модуле (МЛМ) МКС. Проведен анализ экспериментов с имитаторами загрузок, выбраны предварительные технологические параметры процессов выращивания кристаллов КЦТ методом движущейся зоны растворителя и фуллерита C<sub>60</sub> физическим транспортом паров. По результатам экспериментов проведена коррекция технологических параметров. Выполнена наземная отработка космических экспериментов и проведено исследование оптических, структурных и электрофизических характеристик выращенных кристаллов. Сформированы предложения по режимам КЭ на МЛМ МКС.

Договор на выполнение СЧ ОКР от 29 декабря 2016 г. № 47702388027160000570/1167-16

Руководитель: к.т.н. Н.Н. Колесников

Методами электронной литографии и магнетронного напыления изготовлены образцы Nb/Ni-nanowire/Nb, где Ni-nanowire – единичная, изготовленная темплатным методом электроосаждения, нанопроволока. Исследованы их магнетотранспортные характеристики. Исследована динамика проникновения абрикосовских вихрей в данной системе. При низких температурах вклад магнитокристаллической анизотропии возрастает, что оказывает существенное влияние на процесс перемагничивания нити. На основе методов микромагнетизма смоделирован процесс перемагничивания и кривая магнитосопротивления при продольном направлении поля. Для учета поликристалличности был использован подход случайной анизотропии. Сравняются экспериментальные и расчетные кривые магнитосопротивления.

Российско-греческий проект RFMEFI61717X0001

Руководитель - д.ф.-м.н. В.В. Рязанов

Проведены рентгеноструктурные исследования монокристаллов 9 новых анионных комплексов металлофталоцианинов и безметалльных фталоцианинов при низких температурах в инертной атмосфере. Решена и уточнена их кристаллическая структура. Данные опубликованы в базе данных CCDC. Проведен кристаллохимический анализ полученных структур, рассчитана их электронная структура. Среди них комплекс  $\text{SnPc-Ir}_4(\text{CO})_{11}\text{-Cp}^*_2\text{Ct}$  является уникальным как со структурной, так и с точки зрения электронной подсистемы, т.к. содержит в своем составе разные классы металлоорганических соединений – фталоцианин олова, с сильной координационной связью с тетраэдрическим кластером тяжелого металла. Ожидается, что указанная координация приведет к существенным изменениям в электронной подсистеме как SnPc, так и самого кластера Ir.

Хоздоговор № 1173-17

Руководитель – к.ф.-м.н. С.С. Хасанов

Проведено рентгеноструктурное исследование монокристаллов 3х новых анион-радикальных координационных комплексов парфиразинов при низких температурах в инертной атмосфере. Решена и уточнена их кристаллическая структура. Впервые охарактеризована кристаллическая структура комплекса  $[\text{H}_2\text{TPuzPz}]^{2-}_2\text{crypt}[2,2,2]\text{Na}$ . В макроцикле анионе порфиразина было обнаружено диспропорционирование в длинах связей с частичным разрушением ароматичности свойственное ян-теллеровским анионам металлофталоцианинов.

Хоздоговор № 1170-17

Руководитель – к.ф.-м.н. С.С. Хасанов

Изучены квантовые осцилляции магнитосопротивления в низкоразмерных слоистых органических металлах на основе (BEDT-TTF) при гидростатических давлениях до 10 кбар. В качестве объектов исследования будут использованы квазидвумерные органические соединения состава  $(\text{BEDT-TTF})_4\text{MBr}_4(\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2)$ , где  $\text{M}=\text{Co.Zn.Hg.Mn}$

Хоздоговор №1180-17

Руководитель – д.ф.-м.н. В.Н. Зверев

Изготовлены гибридные наноструктуры на основе сверхпроводника S (Al), нормального металла N (Cu), и ферромагнетика F (Fe). Структуры представляют из себя гибридные джозефсоновские переходы SNFS с различным типом слабой связи и инжекторами: структуры с перпендикулярным ферромагнитным инжектором в область слабой связи с разной толщиной слоя Cu; SNFS переходы, аналогичные исследованным ранее с дополнительными гибридными N/F берегами в качестве инжекторов в S-берега переходов по аналогии с разной длиной L слабой связи (расстоянием между сверхпроводящими берегами перехода). Начаты экспериментальные исследования транспортных характеристик данных гибридных субмикронных структур при температурах 20мК, 0.3-1.5К.

Контракт Минобрнауки № 1181-17 «Исследование неравновесных физических процессов в гибридных наноструктурах».

Руководитель – д.ф.-м.н. проф. В.В. Рязанов

В ходе выполнения работы исследована микроструктура, механические характеристики и химическая стойкость предоставленных Заказчиком комплектов деталей из материала на основе карбидокремниевой керамики (комплекты подшипника скольжения (вкладыши ПКИ.713193.014-95, которые являются неподвижными частями подшипников, устанавливаемых в корпус; кольца ПКИ.711143.015-95 и втулки ПКИ.713143.030-95, являющиеся подвижными элементами), выполненных из однотипного материала на основе карбидокремниевой керамики.). Проведены электронно-микроскопические и рентгено-спектральные исследования зеренной структуры и химического состава образцов. Установлено, что материал представляет собой реакционно-связанную керамику на основе карбида кремния, состоящий в основном из карбида кремния (78,1-84,5 % об.) и кремния (15,5-21,9 % об.) с отдельно встречающимися фрагментами примесной фазы (железо, алюминий и др.). Образцы, проработавшие 1600 и 22000 часов, содержат участки с пористым карбидом кремния, образованные взаимодействием кислот с остаточным кремнием и дальнейшим вымыванием продуктов реакции из SiC-Si структуры - глубина вымывания зависит от количества наработанных часов. Проведены испытания механических характеристик бразов, определены пределы прочности при деформации на сжатие и изгиб. Проведено исследование химической стойкости образцов в концентрированных кислотах (HNO<sub>3</sub>, HCl и HF). Весовые потери указаны в тексте отчета.

Хоздоговор 1175 – 17

Руководитель – д.т.н. В.Н. Курлов

### **Научно-организационная деятельность ИФТТ РАН**

В 2017 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 2017 год

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

Обсуждение и утверждение результатов конкурса научно-исследовательских работ 2017 года

Отчет дирекции института по итогам 2016 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 2017 академик Кукушин И.В. был удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки Московской области».

В 2017 году сотрудниками ИФТТ РАН защищены 1 докторская и 5 кандидатских диссертаций:

1. Колесников Н.Н. – "Физико-химические и технологические основы получения кристаллов халькогенидов металлов, содержащих летучие компоненты" **диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по 05.27.06** – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники, 05.10.2017, диссертационный совет Д 212.132.06 (МИСиС)

2. Агарков Д.А. «Изучение взаимосвязи микроструктуры и процессов переноса заряда в композиционных электродах ТОТЭ планарной геометрии», диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 13.02.2017, диссертационный совет Д 002.100.01 (ИФТТ РАН)

3. Першина Е.А. «Влияние интенсивной пластической деформации на процессы кристаллизации и свойства аморфных сплавов на основе Al и Fe», диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 09.10.2017, диссертационный совет Д 002.100.01 (ИФТТ РАН)

4. Шульга К.В. «Микроволновое исследование сверхпроводящих когерентных систем и квантовых метаматериалов» диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 09.10.2017, диссертационный совет Д 002.100.01 (ИФТТ РАН)

5. Кукушкин В.И. «Плазмон-поляритонные возбуждения и гигантское усиление оптического отклика», диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 07.12.2017, диссертационный совет Д 212.134.03 (МИЭТ)

6. Страумал А.Б. «Полное, неполное и псевдонеполное смачивание границ зерен твердыми и жидкими фазами, диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 23.12.2017, диссертационный совет Д 212.132.08 (МИСиС)

7. Юдин М.В. «Исследование процессов кристаллизации крупногабаритных профилированных кристаллов сапфира» диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 25.12.2017, диссертационный совет Д 002.063.02 (ИОФАН)

## 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 работают четыре базовые кафедры:

1) две базовых кафедры 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. Кафедра «Физика и технология наноструктур». Кафедра организована в 2009 г., зав. кафедрой чл.-корр. РАН В.В. Лебедев, количество привлеченных научных сотрудников ИФТТ - 6, всего из разных институтов - 13, количество студентов, проходящих обучение – 13, направление подготовки – 010600

2) Базовое физическое отделение факультета фундаментальной физико-химической инженерии МГУ им. М.В. Ломоносова

Ведущий ВУЗ – Московский государственный университет, физическое отделение создано в 2006 году, зав. физическим отделением д.ф.-м.н. В.Д. Кулаковский, количество привлеченных научных сотрудников – 5, количество студентов, проходящих обучение – 14, направление подготовки – 010400 (физика).

3) Базовая кафедра «Высоких технологий и физических методов исследования материалов» АГУ. Кафедра организована в 2012 г., зав. кафедрой д.ф.м.н. Левченко А.А. количество привлеченных научных сотрудников – 4, количество студентов, проходящих обучение – 10, направление подготовки – 010600

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 плазмонная 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.

5.

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 – Терещенко Алексей Николаевич, научный сотрудник, кандидат физико-математических наук.

В 2017 году двум молодым научным сотрудникам ИФТТ РАН: Филатову Сергею Васильевичу и Катыве Глебк Михайловичу были присуждены стипендии имени Ю.А. Осипьяна за работы

- Генерация вихревых структур на поверхности жидкости с помощью поверхностных волн» (С.В. Филатов)
- Разработка ТГц фотонно-кристаллических волноводов на основе профилированных кристаллов сапфира (Катыба Г.М.)

### **Инновационная и выставочная деятельность**

**Получено патентов 10:**

*На изобретение РФ 9:*

1. №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 опубликован: 20.03.17
2. №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, опубликован: 27.04.17
3. №2617114 «Состав электрода накопителя электроэнергии», автор: Брантов С.К., приоритет: 14.03.16, зарегистрирован: 21.04.17, опубликован: 27.04.17
4. №2617133 «Способ получения опорных плит для обжига керамических изделий», автор: Брантов С.К., приоритет: 28.03.16, зарегистрирован: 21.04.17, опубликован: 27.04.17

5. № 2620688 «Способ получения нагревателей сопротивления на основе углеродкарбидокремниевого материала», автор: Бранов С.К., приоритет: 25.04.2016, зарегистрирован: 29.05.17, опубликован: 10.06.17
6. №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, опубликован: 27.06.17
7. №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, опубликован: 27.06.17
8. №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, опубликован: 27.07.17
9. № 2631372 «Способ получения кремниевых мишеней для магнетронного распыления», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 04.04.16, зарегистрирован: 21.09.17, опубликован: 27.09.17

*На полезную модель 1:*

1. № 174676 «Теплопроводящая прокладка для охлаждения изделий электроники», авторы: Брантов С.К., Ефимов В.Б., приоритет: 20.02.17, зарегистрирован: 25.10.17, опубликован: 27.10.17

#### **Подано 7 заявок на получение патентов**

*на изобретения РФ 5:*

1. № 2017123478 «Способ выращивания кристаллов фуллерена C<sub>60</sub>», авторов: Баженов А.В., Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., Левченко А.А., приоритет: 05.07.17
2. №2017125610 «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
3. №2017132812 «Материал шпонки для высокотемпературных применений», авторов: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 19.09.17
4. №2017141505 «Способ изготовления биполярного токового коллектора батарей твердооксидных топливных элементов», авторов: Агарков Д.Н., Бредихин С.И., Бурмистров И.Н., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., приоритет: 28.11.17
5. №2017144267 «Каталитически активный защитный подслои для ТОТЭ на основе оксидов церия», авторов: Иванов А.И., Бредихин С.И., Хартон В.В., приоритет: 18.12.17

*на полезную модель 2:*

1. №2017105690 «Теплопроводящая прокладка для охлаждения изделий электроники», авторы: Брантов С.К., Ефимов В.Б., приоритет: 20.02.17
2. №2017140545 «Батарея ТОТЭ планарной геометрии с керамическими вкладышами», авторов: Бредихин С.И., Матвеев Д.В., Федотов Ю.С., Голодницкий А.Э., приоритет: 21.11.17

#### **Получено положительных решений по заявкам 10:**

*на изобретения РФ 9:*

1. №2015152764 «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, положительное решение: 09.02.17
2. №2016109162 «Состав электрода накопителя электроэнергии», автор: Брантов С.К., приоритет: 14.03.16, положительное решение: 27.03.17
3. № 2016122435 «Способ изготовления изделия с фильтром для агрессивных жидкостей и газов», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., Тимонина А.В., приоритет: 06.06.16, положительное решение: 29.03.17
4. № 2016111552 «Способ получения опорных плит для обжига керамических изделий», автор: Брантов С.К., приоритет: 28.03.16, положительное решение: 30.03.17
5. № 2016116129 «Способ получения нагревателей сопротивления на основе углеродкарбидокремниевых материала», автор: Брантов С.К., приоритет: 25.04.2016, положительное решение: 26.04.17
6. №2015152768 «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, положительное решение: 28.04.17
7. №2016144599 «Способ получения сульфида галлия (II)», авторы: Колесников Н.Н., Борисенко Д.Н., Борисенко Е.Б., Тимонина А.В., приоритет: 14.11.16, положительное решение: 01.06.17
8. №2016141698 «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, положительное решение: 29.06.17
9. № 2016112843 «Способ получения кремниевых мишеней для магнетронного распыления», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 04.04.16, положительное решение: 29.08.17

*на полезную модель 1:*

1. №2017105690 «Теплопроводящая прокладка для охлаждения изделий электроники», авторы: Брантов С.К., Ефимов В.Б., приоритет: 20.02.17, положительное решение: 28.09.17

**Список патентов, поддерживаемых в силе в 2017 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., Сеницын 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. №2572245 «Холодный катод», авторы: Левченко А.А., Котов Ю.В., Борисенко Д.Н., Колесников Н.Н., приоритет: 22.10.2014, зарегистрирован: 07.12.15
22. №2573146 «Композиция углеродной заготовки для получения Si/C/Si керамики и способ получения Si/C/Si изделий», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Шикунув С.Л., приоритет: 24.12.14, зарегистрирован: 17.12.15

23. 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
24. №2576439 «Способ изготовления высокотемпературного фильтрующего материала для агрессивных жидкостей и газов», автор: Брантов С.К., приоритет: 03.02.15, зарегистрирован: 05.02.16
25. 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
26. 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
27. №2583967 «Фотохромное люминесцентное стекло», авторы: Редькин Б.С., Синицын В.В., Колесников Н.Н., Орлов В.И., приоритет: 05.05.15, зарегистрирован: 15.04.16
28. №2585634 «Способ увеличения размеров алмазов», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 06.07.15, зарегистрирован: 06.05.16
29. №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
30. №2601049 «Способ нанесения газоплотного покрытия из карбида кремния», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Шикунов С.Л., Ершов А.Е., приоритет: 29.04.15, зарегистрирован: 06.10.16
31. № 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
32. №2601770 «Сапфировый терагерцовый фотонно-кристаллический волновод», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Зайцев К.И., Юрченко С.О., Карасик В.Е., приоритет: 28.10.15, зарегистрирован: 14.10.16
33. 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
34. ПМ №165789 «Высокотемпературный термозонд для измерений в газовом потоке», авторы: Курлов В.Н., Шикунова И.А., Шикунов С.Л., Ершов А.Е., приоритет: 29.03.16, зарегистрирован: 14.10.16
35. №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
36. №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
37. №2617114 «Состав электрода накопителя электроэнергии», автор: Брантов С.К., приоритет: 14.03.16, зарегистрирован: 21.04.17
38. №2617133 «Способ получения опорных плит для обжига керамических изделий», автор: Брантов С.К., приоритет: 28.03.16, зарегистрирован: 21.04.17,

39. № 2620688 «Способ получения нагревателей сопротивления на основе углеродкарбидокремниевого материала», автор: Брантов С.К., приоритет: 25.04.2016, зарегистрирован: 29.05.17
40. №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
41. №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
42. №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
43. № 2631372 «Способ получения кремниевых мишеней для магнетронного распыления», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 04.04.16, зарегистрирован: 21.09.17
44. ПМ № 174676 «Теплопроводящая прокладка для охлаждения изделий электроники», авторы: Брантов С.К., Борисенко Д.Н., приоритет: 20.02.17, зарегистрирован: 25.10.17

#### **Выставочная и инновационная деятельность за 2017г.**

1. 12-ая Международная специализированная выставка «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2017» (28.02.2017г. – 03.03.2017г.), г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
2. 20-ая Международная выставка «ЭкспоЭлектроника-2017» (25.04.2017г. – 27.04.2017г.), г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
3. XX Московский Международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед-2017» (15.05.2017г. – 19.05.2017г.), г. Москва, КВЦ «Сокольники».
4. 3-я Международная специализированная выставка «Импортозамещение-2017» (12.09.2017г. – 14.09.2017г.), г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
5. Конференция «Композитные материалы специального назначения» в рамках выставки «IntellTechExpo: Интеллектуальные промышленные технологии 2017» Форума «АРМИЯ – 2017» (23. 09. 2017г.), КВЦ «Патриот», Московская область, г. Кубинка. Доклад Милейко С.Т. «Высокотемпературные оксид - молибденовые композиты».
6. VII Всероссийский Фестиваль науки (05.10.2017-08.10. 2017г.), г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
7. 20-ая Международная выставка химической промышленности и науки (23.10.2017г. – 26.10.2017г.), г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
8. 14-ая Международная выставка компонентов и систем силовой электроники «Силовая электроника» (24.10.2017г. – 27.10.2017г.), г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».

Награды за инновационную деятельность (на выставках, форумах, салонах инноваций и инвестиций, конференциях и т.д.) за 2017 год:

1. Диплом ИФТТ РАН за участие в 12-ой Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2017», февраль-март 2017 г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».

2. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Терагерцовые фотонно-кристаллические волноводы на основе профилированных кристаллов сапфира», представленную на 12-ой Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2017», февраль-март 2017г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
3. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Разработка высокоэффективных солнечно-слепых оптических фильтров на основе смешанных кристаллов  $K_2Ni_xCo_{1-x}(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ », представленную на 12-ой Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2017», февраль-март 2017г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
4. Дипломом I степени по итогам конкурса Лазерной ассоциации на лучшую отечественную разработку в области фотоники в номинации «Лазерное оборудование для медицины и технологии (способы) лечения с использованием лазерного излучения (конкурс имени О.К. Скобелкина) и звания «Лауреат конкурса ЛАС 2017 года» удостоен проект: «Сапфировый зонд для оптической экспресс - диагностики и удаления злокачественных тканей мозга», представленный на 12-ой Международной специализированной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2017», февраль-март 2017г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
5. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Тонкопленочные преобразователи ультрафиолетового излучения в видимый свет», представленную на 20-ой Международной выставке «ЭкспоЭлектроника-2017», апрель 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
6. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Маломасштабный образец батареи твердооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью до 500 Ватт для высокоэффективных энергоустановок различного назначения», представленную на 20-ой Международной выставке «ЭкспоЭлектроника-2017», апрель 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
7. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Джозефсоновская магнитная память для сверхпроводниковой электроники», представленную на 20-ой Международной выставке «ЭкспоЭлектроника-2017», апрель 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
8. ИФТТ РАН награжден Сертификатом участника 20-ой Международной выставки «ЭкспоЭлектроника-2017», апрель 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
9. Диплом и Золотая Медаль Институту за разработку «Способ нанесения массивов углеродных нанотрубок на металлические подложки», представленную на XX Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2017», май 2017г., г. Москва, КВЦ «Сокольники».
10. Диплом и Серебряная Медаль Институту за разработку «Сапфировый терагерцовый фотонно-кристаллический волновод», представленную на XX Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2017», май 2017г., г. Москва, КВЦ «Сокольники».
11. Диплом почтения и благодарности Институту за активное участие в оформлении и проведении Салона на XX Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2017», май 2017г., г. Москва, КВЦ «Сокольники».
12. Сертификат финалиста конкурса «Премия ВОИР» в номинации «Лауреат Премии ВОИР» Шикуновой И.А. за проект «Сапфировый нейрозонд для удаления глиобластом головного мозга под контролем флуоресцентной диагностики»,

- представленный на XX Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2017», май 2017г., г. Москва, КВЦ «Сокольники».
13. Диплом Институту за участие в 3-ей Международной специализированной выставке «Импортозамещение-2017», сентябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
14. Диплом Институту за разработку «Элементная база и батареи твердооксидных топливных элементов для отечественных высокоэффективных энергоустановок киловаттного класса», представленный на 3-ей Международной специализированной выставке «Импортозамещение-2017», сентябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
15. Диплом Институту за разработку ««Нейрохирургический сапфировый зонд для интраоперационной оптической диагностики, лазерной коагуляции и аспирации злокачественных тканей мозга», представленную на 3-ей Международной специализированной выставке «Импортозамещение-2017», сентябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
16. Диплом Институту за участие в VII Всероссийском Фестивале науки, г. Москва, октябрь 2017г., ЦВК «Экспоцентр».
17. Диплом ИФТТ РАН за участие в 20-ой Международной выставке химической промышленности и науки, октябрь 2017г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
18. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Фотонно-кристаллические ТГц волноводы на основе профилированных кристаллов сапфира», представленную на 20-ой Международной выставке химической промышленности и науки, октябрь 2017г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
19. Диплом ИФТТ РАН за разработку «Синтез и свойства перспективных материалов для электродных систем твердооксидных топливных элементов», представленную на 20-ой Международной выставке химической промышленности и науки, октябрь 2017г., г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».
20. Дипломом победителя конкурса (1 место) «Лучшие разработки молодых исследователей и инженеров для силовой электроники» в номинации «Системы электропитания на основе возобновляемых источников энергии» награждена Деменева Н.В. за работу: «Разработка батарей твердооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью свыше 500 Вт для отечественных энергоустановок различного назначения», представленную на 14-ой Международной выставке компонентов и систем силовой электроники «Силовая электроника», октябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».
21. Дипломом победителя конкурса (1 место) «Лучшие разработки молодых исследователей и инженеров для силовой электроники» в номинации «Системы электропитания на основе возобновляемых источников энергии» награжден Федотов Ю.С. за работу: «Разработка батарей твердооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью свыше 500 Вт для отечественных энергоустановок различного назначения», представленную на 14-ой Международной выставке компонентов и систем силовой электроники «Силовая электроника», октябрь 2017г., г. Москва, «Крокус Экспо».
22. Дипломом победителя конкурса (1 место) «Лучшие разработки молодых исследователей и инженеров для силовой электроники» в номинации «Системы электропитания на основе возобновляемых источников энергии» награжден Агарков

Д.А. за работу: «Разработка батарей твердооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью свыше 500 Вт для отечественных энергоустановок различного назначения», представленную на 14-ой Международной выставке компонентов и систем силовой электроники «Силовая электроника», октябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».

23. Дипломом победителя конкурса (1 место) «Лучшие разработки молодых исследователей и инженеров для силовой электроники» в номинации «Системы электропитания на основе возобновляемых источников энергии» награжден Бурмистров И.Н. за работу: «Разработка батарей твердооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью свыше 500 Вт для отечественных энергоустановок различного назначения», представленную на 14-ой Международной выставке компонентов и систем силовой электроники «Силовая электроника», октябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».

24. Дипломом победителя конкурса (1 место) «Лучшие разработки молодых исследователей и инженеров для силовой электроники» в номинации «Системы электропитания на основе возобновляемых источников энергии» награжден Колотыгин В.А. за работу: «Разработка батарей твердооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью свыше 500 Вт для отечественных энергоустановок различного назначения», представленную на 14-ой Международной выставке компонентов и систем силовой электроники «Силовая электроника», октябрь 2017г., г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо».

#### **Сведения по международной деятельности ИФТТ РАН за 2017 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	2014-2018
Украина	Договор о сотрудничестве в	0	2011-2021

	проведении совместных исследований в области новых, в том числе нанокристал-лических, материалов с ДонФТИ НАНУ ( г.Донецк)		
Украина	Договор о сотрудничестве в проведении совместных исследований в области новых, нанокристаллических материалов с Приазовским государственным техническим университетом г.Мариуполь	0	2012-2021
Азербайджан	Договор о научном сотрудничестве с Институтом физики НАНА «Экспериментальные исследования особенностей электронной системы в слоис-тых полупроводниках, а также в тонких пленках на их основе»	0	2016-2017
Франция	Договор ИФТТ РАН –L'OREAL «Синтез компактных материалов и порошков из аморфных частиц диоксида кремния для использования в косметической и/или дерматологической продукции»	0	2016 - 2017
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»	7	2015-2018
Германия	Соглашение о проведении фундаментальных исследований с лабораторией Petra III при немецком электронном синхротроне DESY в исследовательском центре им.Геймгольца в Гамбурге	0	2012-2017
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,	0	2016-2019

	наноматериалы) с целью разработки нового поколения электронных и оптоэлектронных устройств; исследования обменных реакций ультрабыстрых лигандов с использованием комбинированного фемтосекундного рентгеновского рассеяния и эмиссионной спектроскопии.		
Германия	Меморандум о намерениях с институтом Вальтера Мейсснера Баварской академии наук по научной кооперации в области исследования электронных свойств сильно коррелированных металлов и полупроводников	0	2016-2021
Франция	Корпоративный договор о совместном руководстве в подготовке кандидатской диссертации с Университетом Пьера и Марии Кюри Париж VI «Атомарно-тонкие сверхпроводящие пленки для перспективных квантовых устройств»	0	2016-2019
США	Некоммерческий Договор Пользователя № NN-16-0972 с Компанией UT-BATTELLE, LLC, осуществляющей хозяйственное и оперативное управление Окриджской национальной лабораторией «Исследование гидрида $\alpha$ -MnH <sub>0.07</sub> методом неупругого рассеяния нейтронов»	0	2016-2021
Египет	Договор о сотрудничестве с Университетом Каира в области научно-образовательных программ по физике твердого тела, обмена учеными и студентами, проведения исследований по совместным проектам.	0	2017-2020

### 3. Участие в международных конференциях за рубежом

Страна	Название конференции	Даты конференции	Чис-ло делегатов	Финансовые условия (ПС-за счет принимающей стороны,
--------	----------------------	------------------	------------------	---



				РАН – из средств Прог-рамм РАН, РНФ-грант Российского научного фонда, Х/Д-средства хоздоговора, РФФИ МО- грант РФФИ Московской области
Германия	7-th Annual Congress on Materials Research and Technology	19.02-22.-02	1	ПС
Италия	13-я Международная школа по транспорту в наноструктурах	23.04-01.05	1	ПС
Австрия	19-й Международный Plansee-семинар	28.05-02.06	1	РАН
Испания	10-th International Conference on Chaotic modeling, Simulation and Applicationg (CHAOS2017)	29.05-04.06	1	РНФ
Португалия	7-я Международная конференция «Mechanics and Materials in Design, M2D2017»	10.06-16.06	1	РНФ
Испания	24-th International Symposium on Metastable, Anmorphous and Nanostructured Materials, ISMANAM 2017	17.06-25.06	2	РФФИ МО
Италия	21-я Международная конференция по ионике твердых тел	16.06-23.06	2	РАН
Литва	24-th International Conference on Noise and Fluctuations	19.06-24.06	1	РНФ
Германия	Международная конференция «The Optical Metrology 2017 (Laser Munich)	24.06-29.06	2	Х/Д, РАН
Германия	18-я Международная конференция по взаимодействию света с веществом в наноструктурах (PLCMN 18)	08.07-19.07	2	РНФ, К
Франция	Международная конференция «Frontiers in Materials Processing Applications, Research & Technology, FiMPART'17»	09.07-14.07	1	РНФ
Италия	25 <sup>th</sup> International Conference on Composite Engineering	16.07-24.07	1	РНФ
Швеция	28 <sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT-28)	08.08-16.08	2	РАН, ПС, РНФ
Италия	School and Workshop on	31.07-11.08	1	РАН, ПС

	Fundamentals on Quantum Transport			
Вьетнам	Международная конференция «Nanophysics, from Fundamentals to Applications: reloaded»	29.07-06.08	2	РАН
Великобритания	Международная конференция «Optics of Excitons in Confined Systems»	11.09-16.09	2	х/д, РФФ
Болгария	Международная конференция по металлам, керамике, композитам	14.09-17.09	2	РФФИ МО, РФФ
Р.КОРЕЯ	9-Международная конференция Nanoscale Spectroscopy and Nanotechnology (NSS-9)	22.09-29.09	1	РФФ
Китай	XIV Китайско-Российский Симпозиум «Новые материалы и технологии»	26.11-06.12	2	РАН, ПС
Греция	1-й семинар Российско-Греческого проекта Эйнштейн	16.11-22.11	1	Х/Д

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

Наименование мероприятия	Даты проведения
Всероссийская конференция с международным участием «Топливные элементы и энергоустановки на их основе»	25.06-29.06 Суздаль

5. Участие в международных программах

Название программы	Период действия
Европейские Комиссии (грант консорциума PIRSES-GA-2013-612552-Седьмая Рамочная программа, тема «Экспериментальное исследование и моделирование наномасштабных твердотельных реакций с высоким технологическим воздействием»)	2014-2017
РФФИ-Италия №15-52-78023 «Управление коррелированным транспортом и локализацией в низкоразмерных электронных системах со спин-орбитальным взаимодействием».	2015-2017
Проект РФФ №16-42-01050 и грант партнера Института твердотельной электроники им. Пауля Друде №КО4005/5-1 LU819/10-1, Германия, Берлин, по теме: «Неравновесные явления и взаимодействия в ультратонких III-V нанопроводах»	2016-2017

6. Стажировки и прием иностранных ученых

Стажировки российских ученых (кол-во)	Стажировки зарубежных ученых (кол-во)	Принято иностранных ученых (кол-во)

1	3	27
---	---	----

7. 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.
-			

8. Дополнительные сведения.

8.1. Количество зарубежных командировок сотрудников института – 62

из них за счет принимающей стороны – 21,

частично за счет принимающей стороны – 19

8.2. Количество зарубежных командировок директора института, оформленных в ИФТТ РАН (общая продолжительность в днях) – 0

#### Справка по штатному состоянию на 31 декабря 2017 г.

Количество сотрудников	2016 год	2017 год
Сотрудники ИФТТ	439	412 (504?)
Совместители	49	60
в том числе научные сотрудники	24	33
Научные сотрудники	201	211
в том числе:		
доктора наук	55	54
кандидаты наук	105	115
Молодые специалисты, принятые в ИФТТ	1	1

#### Финансовая справка на 1 декабря 2017 года в тыс. руб.

Доходы за 12 месяцев, всего (тыс. руб.)	437708.30	100%
Бюджетное финансирование:		
Госзадание	230 605.00	52.7
Программы РАН	10 546	2.4
Целевые ФАНО	13437.50	3.1
РФФИ	44673.00	10.2
Миннауки (субсидии на грант)	600.00	0.1
Финансирование из РНФ	80550.00	18.4
Получено по хоздоговорам	43 434.70	9.9
Получено по международным контрактам	7028.30	1.6
Получено по коммерческой деятельности	2975.20	0.7
Аренда	3 858.60	0.9

<b>Расходы за 11 месяцев, всего</b>	<b>358 581.50</b>	<b>100%</b>
Заработная плата	181127.80	50.5
Начисления на заработную плату	53 442.00	14.9
Выплаты из ФМП	1.50	0.0
Коммунальные платежи	20 454.20	5.7
Научная работа (материалы, приборы и т.п.)	78152.90	21.8
Прочие расходы (канц., связь, ремонт)	24569.90	6.9
Оборудование	833.20	0.2