

## Справка об организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук (28)

Адрес: 142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, дом 2

Официальный сайт: [www.issp.ac.ru](http://www.issp.ac.ru)

Руководитель: Левченко Александр Алексеевич

История:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН) был образован 15 февраля 1963 г. Академией Наук СССР с целью обеспечить оптимальное сочетание и взаимодействие фундаментальных исследований в области физики конденсированных сред и физического материаловедения. Решающий вклад в формирование задач и принципов организации ИФТТ сделали выдающийся ученый-металловед, академик Георгий Вячеславович Курдюмов, академик Юрий Андреевич Осипьян и член-корреспондент Чеслав Васильевич Копецкий. Первым директором ИФТТ РАН был Юрий Андреевич Осипьян, с 2002 по 2017 год директором был Виталий Владимирович Кведер, в настоящее время директором является Александр Алексеевич Левченко.

В момент создания ИФТТ была угадана многообещающая перспектива нашей области науки, сочетающей высокий уровень показателей активности, востребованности новых результатов и неожиданность уже полученных. Дальнейшее развитие подтвердило правильность исходных идей, заложенных в основание нашего Института. В настоящее время ИФТТ представляет собой одно из крупнейших академических учреждений физического профиля, является признанным научным центром, успешно развивающим многообразные работы по широкому фронту научных задач.

Структура и численность организации (кратко: количество подразделений, наличие в структуре филиалов, средняя численность)

17 научных подразделений (16 лабораторий и центра коллективного пользования научным оборудованием), среднесписочная численность штатных сотрудников составляет 419,5, среднесписочное количество внешних совместителей 21,4. Филиалов нет.

Основные научные направления

постановление Президиума Российской академии наук № 74 от 26.02.2008:

- физика конденсированных сред и физическое материаловедение,

- электронные, магнитные, электромагнитные, оптические и механические свойства кристаллических и аморфных материалов и нано- и мезо-структур на их основе,
- спектроскопия твердых тел и твердотельных структур,
- структура конденсированных сред, физика дефектов, рост кристаллов,
- транспортные явления в кристаллических и аморфных материалах и структурах,
- фазовые равновесия, фазовые переходы,
- низкоразмерные структуры, нано- и мезоскопические структуры и системы, атомные и молекулярные кластеры,
- новые материалы и структуры,
- квантовые макросистемы и квантовые методы телекоммуникации,
- новые экспериментальные методы изучения и диагностики твердых тел и твердотельных нано- и мезо-структур
- новые технологии твердотельных материалов и структур.

### Значимые достижения

#### *Наблюдение стонеровского ферромагнитного перехода в двумерной электронной системе.*

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. Показано, что в условиях пересечения уровней Ландау, вызванного усиленной спиновой восприимчивостью в сочетании с наклоном магнитного поля, переход между двумя конкурирующими фазами - парамагнитным и ферромагнитным - прослеживается в терминах реконструкции оптических спектров. Синхронные резкие превращения наблюдаются как в структуре фотолюминесценции, так и в параметрах коллективных возбуждений при переходе от парамагнитного к ферромагнитному упорядочению. На основе этих измерений построена фазовая диаграмма для перехода от парамагнитного к ферромагнитному упорядочению в терминах двумерной плотности электронов и угла наклона магнитного поля. Спиновая конфигурация во всех случаях однозначно определяется посредством неупругого рассеяния света на спин-чувствительных коллективных возбуждениях. 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.

### *Недиффузионный спиновой перенос*

Создан плотный ансамбль долгоживущих спин-триплетных возбуждений в двумерной электронной системе в магнитном поле. При понижении температуры ансамбль претерпевает переход в новое состояние материи - магнетофермионный конденсат. В этом состоянии спиновые возбуждения распространяется на гигантские расстояния (доли миллиметра и более) недиффузионным образом, что открывает новые возможности для манипуляции спиновой степенью свободы электронной системы. Для визуализации распространения спиновых возбуждений в объеме исследуемого образца разработана оригинальная методика фотоиндуцированного резонансного отражения.

*Наблюдение циклотронного резонанса Азбеля-Канера в системе двумерных электронов.*

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.

*Экспериментальное измерение средней по энергии эффективной масса и массы квазичастиц на уровне Ферми*

Используя квантовые ямы SiGe/Si/SiGe ультравысокого качества при милликельвиновых температурах, экспериментально измерена средняя по энергии эффективная масса,  $m$ , и масса квазичастиц на уровне Ферми,  $m_F$ . Обнаружено, что поведение этих величин при уменьшении электронной плотности качественно различно. С понижением электронной концентрации (или увеличением силы взаимодействия), масса на уровне Ферми монотонно растет во всем диапазоне электронных плотностей, в то время как средняя по энергии масса насыщается при низких плотностях, см. рисунок. Качественно различное поведение является предшественником индуцированного

взаимодействием уплощения одночастичного спектра на уровне Ферми в этой электронной системе.

*Перенормировка дисперсии квазичастиц в двумерной Ферми-жидкости.*

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  $0,6 m_0$ . 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.

*Реализация сверхпроводниковых потоковых кубитов с большими временами когерентности и однокубитных квантовых вентилях на их основе.*

Сверхпроводниковые кубиты являются одними из самых перспективных элементов для реализации квантового компьютера. Их преимущества связаны с относительной простотой изготовления и масштабирования за счет использования стандартных тонкопленочных методов и нанолитографии. Кроме того, благодаря сильной связи таких структур с микроволновыми резонаторами («квантовыми шинами») обеспечиваются относительно несложное управление кубитами и возможность считывания их состояний.

Существенным недостатком сверхпроводниковых кубитов считается сравнительно низкое время когерентных процессов. Шунтирование планарными емкостями позволяет существенно увеличить это время за счет уменьшения кулоновского взаимодействия кубита с зарядовыми дефектами. В 2017 г. была реализована шунтированная емкостью версия потокового кубита. Достигнутые времена когерентности позволили реализовывать квантовые вентили с точностью однокубитных операций, превышающей 90%.

*Закономерности процесса переманивания нанокластерных плёнок.*

Экспериментально и методом численного моделирования изучены закономерности процесса перемагничивания нанокластерных плёнок  $\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}$ . Установлен двухкомпонентный характер их намагниченности, обнаружена аномальная магнитная релаксация в таких гетероструктурах. Показано, что плёнки толщиной 20-40 нм обладают необходимыми для использования в элементах спинтроники свойствами: нанокластерная ферромагнитная подсистема не подавляет сверхпроводимость ниобия и обеспечивает переключение намагниченности за счет процессов вращения с малой коэрцитивностью и характерными временами порядка  $10^{-10}$  секунды. Наблюдаемая в тонких плёнках  $\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}$  магнитная релаксация не препятствует их использованию в приборах, поскольку наблюдается лишь после переключения магнитного поля.

#### *Турбулентность на поверхности сверхтекучей жидкости.*

Впервые наблюдаются макроскопические двумерные вихри на поверхности сверхтекучего гелия-2. Обнаружено, что взаимодействие между неколлинеарными фарадеевскими волнами на поверхности He-2 в прямоугольной ячейке может приводить к возникновению периодической решетки не только гравитационно-капиллярных волн, но и вихрей, как и на поверхности классической жидкости, например, воды.

#### *Нанопоры в полосах сдвига аморфных сплавов*

Обнаружен способ релаксации свободного объема в аморфных сплавах путем образования наноропор в полосе деформации. Применение подхода Киршнера для кинетики роста выделений второй фазы на межфазной границе для анализа роста нанопор позволило определить значение эффективного коэффициента диффузии в полосе при комнатной температуре. Это значение составило около  $D \sim 10^{-22} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$  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.

#### *Эффект фильтрации спина в наноструктурированном графене, синтезированном на пластинах SiC/Si(001)*

Обнаружено большое положительное магнетосопротивление в наноструктурированном графене, синтезированном на поверхности стандартных кремниевых пластин Si(001), предварительно покрытых

эпитаксиальным слоем карбида кремния. Показано, что изгиб графенового слоя вблизи междоменных границ приводит к одномерной проводимости (вдоль границ доменов) при низких температурах и накоплению заряда с одним направлением спина на границах. Полученные результаты демонстрируют возможность создания новых наноструктур с уникальными свойствами на пластинах SiC/Si(001), что позволяет адаптировать развитые кремниевые технологии для производства приборов электроники и спинтроники нового поколения на базе графена.

#### *Фазовые переходы при интенсивной пластической деформации*

На примере двух сплавов с памятью формы Cu-Al-Ni показано, что мартенситные (бездиффузионные) фазовые переходы при интенсивной пластической деформации могут происходить в сочетании с диффузионными. Так, диффузионные превращения в этих сплавах, вызванные кручением под высоким давлением (КВД), влияют на последующее мартенситное превращение. Полученные результаты открывают новые возможности для использования эффектов памяти формы и сверхупругости в наноструктурированных сплавах Cu-Al-Ni.

#### *Синтез дигидрида тантала*

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.

*Би-кристаллы сульфатов никеля и кобальта состава  $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O / K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  и смешанные кристаллы  $K_2Ni_xCo_{(1-x)}(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  для солнечно-слепых УФ фильтров*

Разработана методика выращивания и впервые получены би-кристаллы сульфатов никеля и кобальта состава  $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O / K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  и смешанные кристаллы  $K_2Ni_xCo_{(1-x)}(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ , демонстрирующие высокую прозрачность (80%) в «солнечно-слепой» области спектра ультрафиолетового диапазона длин волн 200-300 нм и непрозрачность в других диапазонах длин волн, позволяющие приборам, регистрирующим излучение в данном диапазоне спектра, работать при солнечном свете. Именно зонная

фильтрация позволяет поддерживать высокое соотношение сигнал/шум и добиваться гигантских (до  $10^8$  раз) коэффициентов усиления в УФ диапазоне, обеспечивая уникальную чувствительность аппаратуры. УФ фильтры на основе полученных кристаллов используются для дистанционной инспекции линий электропередач, экологического мониторинга земных и водных пространств, отслеживание траекторий движения ракет и реактивных снарядов.

### *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  $\text{GaSe}_{1-x}\text{S}_x$  ( $x = 0-1$ ) 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.

### *Технология жаропрочных композитов с металлической матрицей*

Созданы основы технологии силицид-молибденовых и оксид-молибденовых волокнистых композитов. Разработка этой технологии позволит создать материалы для ключевых элементов газовых турбин, таких как рабочие лопатки, работающие при температурах до  $1400^\circ\text{C}$ , что на  $300^\circ$  превышает возможности существующих никелевых сплавов и на  $100^\circ$  выше температуры разрабатываемых зарубежными научными центрами молибденовых сплавов. Работоспособность композитов определяется их трещиностойкостью, высокой крипостойкостью и возможностью защиты от газовой коррозии.

### *Прямое наблюдение структуры магнитного потока в ферромагнитных сверхпроводниках $\text{EuFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ .*

Методами низкотемпературной магнитно-силовой микроскопии и декорирования ферромагнитными наночастицами исследована структура магнитного потока на поверхности монокристаллов  $\text{EuFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  с содержанием фосфора 10.0-10.5 ат.%. Впервые в объёмном сверхпроводнике с критической температурой  $T_{sc}=22\text{K}$  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.

*Исследование метастабильной высокотемпературной сверхпроводимости межфазной области раздела Al и его оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .*

Обнаружена сверхпроводимость при температуре  $\approx 65\text{ K}$  в образцах на основе металлических алюминиевых фольг, подвергнутых поверхностному окислению при специальных условиях. Сверхпроводимость образцов возникает в пограничном (интерфейсном) слое, расположенном между фазами металлического алюминия и его оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Установлено, что исследованные сверхпроводники являются нестабильными при нормальных условиях, в то время как хранение образцов при температуре жидкого азота (77 K) позволяет достаточно долго сохранять их сверхпроводящие свойства.

*Температурные, частотные и магнетопольные зависимости комплексной высокочастотной проводимости.*

С помощью уникальной техники спирального резонатора впервые исследованы температурные, частотные и магнетопольные зависимости комплексной высокочастотной проводимости гетероструктур  $\text{La}_{1.65}\text{Sr}_{0.45}\text{CuO}_4/\text{La}_2\text{CuO}_4$  в магнитном поле  $H$  параллельном и перпендикулярном к сверхпроводящему двумерному слою толщиной 0,2 нм. Зависимость  $H_m(T)$  не испытывает насыщения при низких температурах, а непрерывно растёт с понижением температуры в противоречии с существующими моделями. Показано, что: (i) температурная зависимость действительной части проводимости имеет температуру сверхпроводящего перехода  $T_c$  при более низких на  $2\text{K}$  температурах, чем мнимая часть, (ii) это аномальное смещение  $T_c$  исчезает в слабом поле 0,3Т, а затем опять растёт вплоть до 3Т, (iii)  $T_c$  растёт с увеличением частоты от 30 кГц до 55 МГц. Эти особенности обнаружены впервые и свидетельствуют о проявлении перехода Березинского – Костерлица-Тоулесса.

*Переход от классического к зеркальному режиму Андреевского отражения на интерфейсе между сверхпроводником и двумерным полуметаллом.*



Эффект Андреевского отражения на границе сверхпроводника (S) и нормального металла (N) разрешает транспорт заряда через NS границу при энергиях, меньших сверхпроводящей щели. В классическом режиме Андреевского отражения, отражённая от границы дырка остаётся в зоне проводимости нормального металла. Однако, в тех системах, что активно изучаются в последние годы (графен, вейлевские полуметаллы), возможен иной процесс – дырка оказывается в валентной зоне, так что, в силу иного знака массы, испытывает зеркальное отражение от NS границы. В нашей работе мы экспериментально исследовали процесс Андреевского отражения на интерфейсе между классическим, трёхмерным сверхпроводником (ниобий) и двумерным полуметаллом, реализованным в широкой квантовой яме CdHgTe/HgTe/CdHgTe либо в двуслойной системе InAs/GaSb. Мы обнаружили переход от классического (ретро) к зеркальному режиму Андреевского отражения, проявляющийся как резкий рост дифференциального сопротивления вне некоторого интервала напряжений на NS границе, определяемого спектром двумерного полуметалла, см. рисунок. Мы так же исследовали особенности транспорта заряда в режиме зеркального Андреевского отражения, приводящие к  $1/n$ -периодичным локальным экстремумам дифференциального сопротивления одиночного NS контакта.

*Неравновесная функция распределения двумерных электронов по уровням Ландау под микроволновым излучением*

Обнаружены индуцированные микроволновым излучением магнето-осцилляции емкости полевого транзистора с двумерной электронной системой. В отличие от всех известных магнето-осцилляций в электронном транспорте, возникающих под облучением, период осцилляций магнетоемкости определяется заполнением двух подзон размерного квантования, и только положения биений этих осцилляций даются частотой излучения. Показано, что осцилляции емкости обусловлены перераспределением электронов между подзонами в условиях неравновесного заполнения электронных состояний, осциллирующего по энергии. Таким образом, установлено возникновение нетривиальной неравновесной функции распределения электронов по энергии, происходящего под влиянием микроволнового облучения.

*Магнетофермионный конденсат в двумерной электронной системе*

При возбуждении долгоживущих триплетных магнитоэкситонов в холловском изоляторе с высокой подвижностью электронов, фактором

заполнения  $n=2$  и низких температурах,  $T < 1\text{K}$ , обнаружено принципиально новое коллективное состояние – магнетофермионный конденсат. Конденсированная фаза взаимодействует когерентно с внешним электромагнитным полем, обладает сверхизлучающими свойствами, а также из-за низкой вязкости растекается по поверхности двумерной структуры на макроскопически большие расстояния ( $>2$  мм!, см. рис.). Обнаруженные эффекты являются прямым следствием возбуждения в неравновесной системе двумерных фермионов с полностью квантованным энергетическим спектром магнитоэкситонной составляющей, имеющей бозевскую природу.

*Пространственно-временной хаос и спонтанное упорядочение в поляритонных системах*

Предсказано, что неравновесный бозе-конденсат поляритонов, возникающий под действием резонансно-оптической накачки, может иметь нестационарные состояния в строго постоянных внешних условиях. Прошедшая через плоский микрорезонатор световая волна обнаруживает периодические или хаотические изменения круговой поляризации от  $+1$  до  $-1$  на масштабе времени, сопоставимом со временем жизни поляритона (десятки пикосекунд); подобные решения характерны для квазиульмерных резонаторных "микростолбиков". В одномерных квантовых нитях открывается возможность самоорганизации конденсата за счет спонтанного пространственного разделения областей со спинами  $+1$  и  $-1$  в виде периодической жестко упорядоченной структуры. В двумерных системах дальний порядок сохраняется, но перестает быть жестким и напоминает скорее турбулентную жидкость, чье состояние может быть хаотично в пространстве и времени. Физическая причина предсказанного эффекта заключается в появлении нового канала поляритон-поляритонного рассеяния вследствие пониженной симметрии системы. В итоге пространственная и временная симметрии системы нарушаются спонтанно.

*Создание композитных зондов для анализа систем с топологическими особенностями в электронных спектрах*

Используя сфокусированные ионные пучки, разработана методика создания композитных зондов СТМ из вискера топологического изолятора – сплава  $\text{Bi-Sb}$ . С помощью подобного зонда получено атомное разрешение на поверхности  $\text{Sb}(111)$ , демонстрирующие высокий потенциал таких зондов для исследования свойств топологических систем.

*Квантовая криптография*

Сделаны оценки дальности передачи ключей через открытое пространство для трех различных протоколов. Для протоколов BB84 и PTC (PhaseTimeCoding) в случае однофотонного источника, и для протокола релятивистской квантовой криптографии RQKD (RelativisticQuantumCryptography) в случае ослабленного лазерного излучения.

Системы релятивистской квантовой криптографии оказались устойчивыми к PNS и UM атакам при любых потерях, а также к атаке с ослеплением детекторов. Единственным фактором ограничивающим дальность передачи секретных ключей, в отличие от других систем, являются темновые шумы однофотонных детекторов. По этой причине, для открытого пространства можно обойтись без строго однофотонного источника. Тем не менее, интересно сравнить скорость передачи ключей в зависимости от потерь в линии связи для нерелятивистских протоколов BB84, протокола с фазово-временн\`ым кодированием (PTC -- PhaseTimeCoding) с однофотонным источником и протокола релятивистской квантовой криптографии RQKD (RelativisticQuantumKeyDistribution) с неоднотонным источником (ослабленным лазерным излучением). Оказывается, что протокол RQKD обеспечивает гарантированно секретную передачу ключей с б\`ольшей скоростью при б\`ольших потерях, чем протокол BB84 со строго однофотонным источником. Наибольшую дальность обеспечивает протокол PTC со строго однофотонным источником.

#### *Фазовые превращения в аморфных и нанокристаллических материалах*

Установлено, что в процессе деформации в аморфной фазе происходит процесс композиционного расслоения, приводящий к образованию аморфных областей, характеризующихся разным типом ближнего порядка. Ранее такие изменения наблюдались только при повышении температуры. Радиусы первых координационных сфер образующихся аморфных фаз зависят от химического состава сплава и степени деформации. Степень расслоения при деформации немного ниже, чем после термообработки. Например, в сплаве  $Al_{88}Ni_6Y_6$  радиус первой координационной сферы меняется от 0.289 нм (исходная аморфная фаза) до 0.286 нм (аморфная фаза, обедненная Y) и 0.297 нм (обогащенная Y), в сплаве  $Al_{87}Ni_8La_5$  радиусы первых координационных сфер новых аморфных фаз равны 0.298 нм (обогащенная La) и 0.254 нм (обогащенная Ni). Размер нанокристаллов, формирующихся в неоднородной (двухфазном) аморфном сплаве, меньше

размера нанокристаллов, образующихся в однородной аморфной фазе, что важно для получения высокопрочных материалов

*Расширение температурного диапазона методики термобарической закалки с 400 до 800° С: система Мо-Н*

T-P диаграмма системы Мо-Н, исследованная ранее в группе Y. Fukai методом in-situ рентгеновской дифракции, изучена вновь при  $P \leq 6$  ГПа и  $T \leq 800$  °С методом термобарической закалки. Данные об образовании высокотемпературного ГЦК ( $\gamma$ ) гидрида МоН при  $T > 480-570$  °С не подтвердились. Вместо этого, обнаружено расширение области устойчивости низкотемпературного ГПУ ( $\epsilon$ ) гидрида МоН<sub>1.1</sub> с ростом давления. Ранее, фазовые диаграммы систем металл-водород при температурах выше 450–500°С и давлениях ГПа диапазона изучались только в группе Y. Fukai. Один из основных результатов этой группы состоял в том, что все гидриды переходных металлов приобретают ГЦК структуру при высоких температурах и давлениях.

*Сапфировые терагерцовые фотонно-кристаллические волноводы*

Впервые разработаны и изготовлены терагерцовые фотонно-кристаллические волноводы на основе профилированных кристаллов сапфира. Результаты исследования распространения терагерцового импульсного излучения в многоканальных волноводах показали возможность их использования для передачи импульсного излучения с минимальной дисперсией в широком спектральном диапазоне от 1,0 до 1,55 ТГц и рекордно низкими потерями – до 2,0 дБ/м на частоте 1,45 ТГц. Полученные результаты демонстрируют эффективность разработанных волноводов для создания новых терагерцовых методов контроля качества, дефектоскопии и медицинской диагностики.

*Разработка стандартного образца для обеспечения единства оптических измерений дзета-потенциала*

Дзета-потенциал – основной показатель стабильности коллоидных систем в жидких средах. Коллоидные системы используются во многих областях науки и техники, таких, например, как медицина, фармацевтика, химическая промышленность, обогащение полезных ископаемых, водоочистка, очистка почв от загрязнений и многое другое. Для повышения точности и правильности измерений необходимы сертифицированные эталонные материалы. В настоящее время из-за отсутствия отечественных материалов для этих целей используются европейские и американские стандартные образцы. Для их импортозамещения разработали отечественные

стандартные образцы (СО) на основе водной суспензии наночастиц диоксида кремния, синтезированные методом гетерогенного гидролиза тетраэтилортосиликата (ТЕЭС) с использованием экологически чистого катализатора (L-аргинин). Получены частицы диоксида кремния с управляемым электрокинетическим потенциалом, демонстрирующие значения дзета-потенциала (ZP) в диапазоне  $-30 \text{ mV} \div -50 \text{ mV}$  (Рис.).

*Нестабильность свободной поверхности сверхтекучего гелия, обусловленная постоянным тепловым потоком в объеме жидкости.*

В работе исследована нестабильность поверхности сверхтекучего гелия –II обусловленная относительным движением нормальной и сверхтекучей компонент вдоль поверхности. Эксперименты выполнялись в открытом сверху контейнере частично заполненным жидким гелием размерами 30x24 мм и высотой 5 мм. Стационарный противоток компонент вызывался постоянным потоком тепла в объеме жидкости, идущем от пленочного нагревателя. Нагреватель монтировался на стенке контейнера. На этой стенке и противоположной были сделаны по два отверстия диаметром 2.5 мм для свободного протекания нормальной компоненты из контейнера. Стабильность поверхности контролировалась по мощности отражающегося лазерного луча. Было установлено, что изначально плоская поверхность теряет устойчивость при достижении тепловым потоком некоторой критической величины. На рисунке показана зависимость критической величины теплового потока от температуры жидкости. Точки – экспериментальные данные, полученные при разных временах развертки мощности на нагревателе, сплошная кривая - расчет в рамках модели Коршунова. Предполагается, что на поверхности развивается неустойчивость типа Кельвина-Гельмгольца при достижении относительной скорости нормальной и сверхтекучей компонент некоторого критического значения. Разность между экспериментальными данными и теоретической кривой обусловлена, по-видимому, развитием турбулентности в жидком гелии. После перехода поверхности в неустойчивое состояние на поверхности в развивается волновая турбулентность в интервале частот от 10 Гц до 5 кГц.

*Двумерная гексагональная структура, образованная упорядоченными топологическими дефектами в смектических наноплёнках*

В полярных смектических наноплёнках наблюдалось образование двумерной гексагональной структуры из упорядоченных точечных топологических дефектов с топологическим зарядом  $S=+1$  и пересекающихся стенок.

Ориентация наклона молекул в двумерных слоях противоположна в соседних гексагональных ячейках. Гексагональное упорядочение топологических дефектов предсказывалось теоретически, но до настоящего времени не наблюдалось. Гексагональная структура образуется путём самоорганизации смектических островов большей толщины в двухслойных смектических наноплёнках. Метод, использованный для получения структур из топологических дефектов, может быть использован для получения наноплёнок со сложным двумерным упорядочением.

Объем финансового обеспечения (всего) (2018 год):

В том числе:

- 1) Субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания (для бюджетных организаций) 302525900 руб.
- 2) Субсидии на иные цели (с указанием цели субсидии) (для бюджетных организаций) 7854164 руб.  
6000000 руб. – кап.ремонт  
200000 руб. – конференция  
28800 руб. – именная стипендия  
1625364 руб. – стипендия аспирантов.
- 3) Поступления от оказания услуг (выполнения работ) на платной основе и от иной приносящей доход деятельности 184786622,29 руб.