

Основные результаты по тематике Научного совета РАН по физике конденсированных сред за 2009 г.

В области теории твердого тела

- Развита теория спектра электронов в периодических вихревых решетках. Показано, что простые зонные структуры возникают только для решеток с рациональным числом квантов потока полного поля (внешнее магнитное поле плюс поле вихрей) на элементарную ячейку. Оказывается, что все наблюдаемые экспериментально дроби соответствуют решеткам с одним или двумя квантами потока в элементарной решетке. Показано, что при половинном заполнении уровня Ландау, энергетическая щель на границе зоны Бриллюэна исчезает в двух точках, и образуются две Ферми-точки, а не Ферми-поверхность, как предполагалось ранее в теории «композитных» фермионов. (ИТФ РАН)

- Сделана классификация всех неприводимых представлений для электронного спектра в 17 поверхностных пространственных группах в симметричных точках зон Бриллюэна как в спинорном, так и безспиновом случаях. Приведены в явном виде все типы особенностей электронного спектра, которые могут встречаться в Природе. Показано, что, наряду с коническим видом, характерным для графена, существуют еще более экзотические формы электронного спектра, диктуемые симметрией решетки. (ИФТТ РАН)

- Построена теория, описывающая физические свойства полупроводниковых интерфейсов и позволяющая установить связь между макроскопическими эффектами, наблюдаемыми экспериментально, и микроскопическим расположением атомов на гетерограницах. Установлено, что атомарная структура интерфейсов оказывает гигантское влияние на оптические свойства наногетеросистем типа II, вызывая линейную поляризацию фотолюминесценции выше 80%. (ФТИ РАН)

В области нанотехнологий и наноматериалов

- Создана трехмерная периодическая решетка нанокристаллов ZrO_2 в прозрачной матрице диоксида кремния путем синтеза нанокompозита диоксид кремния - диоксид циркония в форме монолитного (без пор) прозрачного образца с упорядоченным распределением оксида циркония, который образует трехмерную периодическую решетку нанокластеров по всему объему образца. (ИФТТ РАН)

- Методом дифракции нейтронов при высокотемпературном отжиге фуллеритов, полученных с помощью механоактивации, обнаружен фазовый переход из молекулярного (фуллереноподобного) стекла в атомарное (алмазоподобное), сопровождающийся исчезновением фуллеренных гало при малых углах рассеяния и увеличением температуры разложения (от 1000К до 2000К). (РНЦ КИ)

В области образования и структуры кристаллов

- При кумулятивном нанесении покрытий получены сверхтвердые высокотемпературные фазы W_2B и β -WB и проведены их структурные исследования. Данные фазы образуются при использовании многокомпонентных облицовок, которые кроме аморфного бора содержат мелкодисперсные порошки вольфрама и

титана. Были использованы борсодержащие облицовки и получены покрытия на титане с микротвердостью до 40 ГПа. (ИНХ СО РАН)

- Получены доказательства реализации в хрупких кристаллах, выращиваемых из растворов, механизма релаксации упругих напряжений, альтернативного механизму образования дислокаций. В условиях, когда процессы генерации и движения дислокаций затруднены, основная роль в реализации этого механизма связана с образованием включений маточного раствора. В результате раскрытия этого механизма и создания условий роста кристалла сульфата калия-кобальта, снижающих вероятность образования макроступеней, удалось получить бикристаллический оптический фильтр УФ диапазона (на основе сульфатов калия-никеля – калия-кобальта), эффективность которого в солнечно-слепой области спектра близка к теоретической (рассеяние на дефектах менее 1%). Такой элемент обладает на порядок более высокой эффективностью подавления нерабочих участков спектра по сравнению с традиционным фильтром из гексагидрата сульфата никеля. (ИКРАН)

- Достигнуты высокие результаты в выращивании нелинейно-оптических кристаллов боратов бария BaB_2O_4 (ВВО) и лития LiB_3O_5 (ЛВО) с применением метода изменения симметрии и вращения теплового поля. Особенно значительный прогресс достигнут в выращивании кристаллов ЛВО, в настоящее время вес выращиваемых кристаллов составляет около 1.5 кг, а размер нелинейно-оптических элементов до 65 мм в диаметре с толщиной 15 мм. Элементы из кристаллов ЛВО показали великолепное оптическое качество. (ИГМ СО РАН)

В области физики высоких давлений

- Методом диэлектрической спектроскопии установлено, что при давлениях выше 3 ГПа унимодальный спектр времен релаксации переохлажденного глицерина преобразуется в бимодальный. Бимодальный спектр характерен для большинства стеклующихся жидкостей, и глицерин являлся редким исключением. (ИФВД РАН, ИОФ РАН)

- В оксидах 3d-переходных металлов экспериментально обнаружен новый тип Моттовского перехода полупроводник-металл, причиной которого является скачкообразное уменьшение кулоновской энергии Мотта-Хаббарда под давлением. Аномальное поведение кулоновской энергии при сжатии, в свою очередь, связано с изменением спинового состояния ионов переходных металлов. (ИФВД РАН, ИК РАН, ИФ СО РАН)

- В монокристалле $Fe_{1.02}Se$ в интервале давлений 1.0-1.5 ГПа обнаружен фазовый переход I рода, сопровождающийся скачком температуры T_c сверхпроводящего перехода от 5 до 20 К. Ранее переходы I рода в сверхпроводящих халькогенидах железа не наблюдались, и резкое (на порядок быстрее, чем в любом другом сверхпроводнике) возрастание T_c при давлениях выше 1 ГПа считалось аномальным свойством однофазного состояния $Fe_{1.02}Se$. (ИФТТ РАН, ИФМ УрО РАН)

В области физики магнитных явлений

- В новых мультиферроиках системы $Eu_{1-x}Ho_xMnO_3$ ($0 < x \leq 0.5$) с циклоидальной магнитной структурой обнаружены необычные индуцированные магнитным полем фазовые переходы, сопровождаемые переориентацией электрической

поляризации и связанной с ней плоскости циклоиды. При H , параллельном а-оси обнаружен возвратный переход, когда с ростом поля сначала происходит переориентация поляризации от с- к а-оси ($H \sim 30$ кЭ), а затем при $H \sim 80$ кЭ обратно к с-оси. Механизмы наблюдаемых переходов, определяются: (а) подавлением в поле эффективной анизотропии от Но-подсистемы и (б) конкуренцией зеемановской энергии и энергии анизотропии ионов Mn^{3+} (механизм типа спин-флоп). (ИОФРАН, МГУ, МЭИ)

- Экспериментально исследованы спектры магнитных возбуждений в антиферромагнетиках с сильной фрустрацией обменного взаимодействия $Gd_2Sn_2O_7$ и $Er_2Ti_2O_7$. Изучены свойства различных спектральных мод во всех фазовых состояниях. В обеих системах обнаружены критические поля, выше которых впервые наблюдались квази-локальные мягкие моды, обусловленные возникающим за счет фрустрации макроскопическим вырождением магнитного основного состояния. (ИФП РАН)

- Показано, что магнитное состояние слоистых наногетероструктур Cr/V может быть контролируемым образом модифицировано путём насыщения водородом слоёв ванадия. Установлено, что, изменяя концентрацию водорода, и, следовательно, электронную структуру слоёв ванадия, можно варьировать параметры спин-волнового состояния в слоях хрома (магнитный момент, период волны, температура Нееля). Экспериментально показано, что поглощение водорода слоями ванадия может быть использовано в спинтронных устройствах для реверсивного переключения между соизмеримой и несоизмеримой фазами волны спиновой плотности. (ИФМ УрО РАН, Рурский Университет, Бохум, Германия; Упсальский Университет, Швеция; Институт Лауэ-Ланжевена и Европейский центр синхротронного излучения, Гренобль, Франция)

В области физики сегнетоэлектриков и диэлектриков

- Для систем со слабой анизотропией типа «легкая ось», содержащих примеси типа «случайное локальное поле», найдена критическая концентрации примесей, приводящая к разрушению дальнего порядка, и в диапазоне размерностей пространства $2 \leq d \leq 4$ определена ее зависимость от константы анизотропии. Для многослойных структур «ферромагнетик-антиферромагнетик» предсказано разрушение магнитного дальнего порядка в области, прилегающей к границе раздела нанослоев, вызванное наличием нескомпенсированных спинов антиферромагнетика вблизи краев атомных ступеней на границе раздела. (МИРЭА)

В области физики поверхности

- Обнаружен и идентифицирован ряд новых атомных структур на поверхности монокристалла серебра, возникающих при воздействии молекулярного хлора. Среди них следует отметить краудионы, представляющие собой атомные дефекты поверхностной решетки, двумерные магические кластеры хлора (3x3) и субнанометровые «пирамидки» $AgCl$. Значимость точной идентификации структуры поверхности серебра при воздействии хлора, определяется ролью малых добавок хлорсодержащих молекул как промоутера в промышленно важной каталитической реакции окисления этилена. Обнаруженные структуры позволили объяснить все

экспериментальные результаты, накопленные за последние 30 лет, и снять имеющиеся противоречия для данного объекта исследований. (ИОФРАН)

- На основе данных сканирующей туннельной микроскопии и расчетов из первых принципов предложена структурная модель магических кластеров Cu на поверхности Si(111)7x7. Установлено, что каждый кластер содержит ~20 атомов Cu, вытесняя ~20 атомов Si из половины элементарной ячейки Si(111)7x7, которую занимает кластер. (ИАПУ ДВО РАН)

- Ориентированными монокристаллическими зондами W[001] проведены исследования СТМ-изображений поверхности графита HOPG(0001) с целью выяснения возможности визуализации отдельных электронных орбиталей. Результаты экспериментов и предварительных расчетов плотности электронных состояний атома вольфрама на острие, выполненных в рамках методов сильной связи и теории функционала плотности, демонстрируют возможность контролируемого выбора волновой функции иглы W[001], отвечающей за формирование высокоразрешающих изображений. Это подтверждается изображениями $d_{xz,yz}$ и $d_x^2 - y^2$ орбиталей атома вольфрама на острие иглы, экспериментально измеренными с помощью p_z орбитали атома углерода поверхности при правильно выбранных значениях туннельного напряжения и расстояния между зондом и поверхностью HOPG(0001). (ИФТТ РАН)

В области неразрушающих физических методов контроля

- Показано, что изменение магнитоэлектрики железоуглеродистых сплавов при их упругом деформировании может быть использовано для разработки новых магнитных и магнитоакустических методов обнаружения начальных стадий разрушения объектов. Установлены характеристики необратимого перемагничивания, позволяющие отдельно оценивать растягивающие и сжимающие упругие деформации и имеющие более высокую чувствительность в сравнении с известными параметрами контроля. Предложены новые многопараметровые магнитные методы и аппаратно-программные системы оценки напряженно-деформированного состояния стальных объектов. Установленные закономерности и предложенные методики контроля принципиально важны для совершенствования методов оценки остаточного ресурса ответственных стальных объектов. (ИФМ УрО РАН, МГТУ им. Баумана)

В области исследования конденсированных сред ядерно-физическими методами

- Методом рентгеновской флуоресценции в условиях полного внешнего отражения изучены тонкие особенности структуры биоорганических нанопленок на поверхности жидкости. В частности, определено положение ионов металлов, инкорпорированных из водной субфазы в белково-липидную пленку на основе смеси фосфатидилинозитола и щелочной фосфатазы. Предложена модель слоистой структуры, которая сформировалась благодаря расслоению данной биоорганической пленки. (РНЦ КИ, ИК РАН)

- Методами синхротронной мессбауэровской спектроскопии и рентгеновской эмиссионной спектроскопии высокого разрешения экспериментально обнаружен

переход диэлектрик-металл в кристаллах $Y_3Fe_5O_{12}$ и $BiFeO_3$ при воздействии высоких давлений в камерах с алмазными наковальнями. Одновременно с эффектом металлизации при давлениях 45-55 ГПа обнаружен переход ионов железа из высокоспинового (HS) $S=5/2$ в низкоспиновое (LS) $S=1/2$ состояние. На основе этих данных предложен новый механизм перехода изолятор-металл в мотт-хаббардовских диэлектриках. Этот механизм может быть инициирован сжатием кристаллической решетки и происходит при HS-LS переходе в $3d^5$ ионах. (ИК РАН)

- Изучены магнитные свойства и фазовый состав наночастиц железа, выращенных на полимерных нанокапсулах, предназначенных для адресной доставки лекарств. Нанокапсулы, в оболочки которых внедрены наночастицы железа, исследованы методом мессбауэровской спектроскопии в диапазоне температур 5-300 К. Установлено, что при $T = 300$ К наличие суперпарамагнитной и магнитно-упорядоченной фаз одновременно дает возможность применять капсулы с наночастицами для адресной доставки лекарств и дозированной выдачи препарата. Наличие значительного процента суперпарамагнитной фазы при 300 К необходимо для безопасного выведения остатков капсул из организма. (ИК РАН)

В области физики прочности и пластичности

- Детально изучены особенности структурных и фазовых превращений в процессе мегапластической деформации в камере Бриджмена аморфного сплава $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$. При осуществлении последовательно нарастающей величины пластической деформации обнаружено три цикла последовательных фазовых переходов «аморфное состояние \rightarrow кристалл» и далее «кристалл \rightarrow аморфное состояние». Полученные результаты объяснены в рамках суперпозиции различных каналов диссипации упругой энергии, активируемых в процессе мегапластической деформации. (ИМФМ ГНЦ ЦНИИЧМ МПРТ РФ)

- Выявлены физические причины эффекта автоблокировки дислокаций, заключающейся в превращении дислокаций при нулевом внешнем напряжении из скользящих конфигураций в заблокированные и наблюдающийся в интерметаллидах Ni_3Al и $TiAl$. Показано, что контролирующим является термоактивационный процесс переброса дислокаций из мелкой долины потенциального рельефа Пайерлса в глубокую. Вычислена движущая сила этого процесса и сформулированы условия его реализации. Получены доказательства того, что аномалия предела текучести и автоблокировка имеют единую природу: двухдолинный потенциальный рельеф Пайерлса дислокации. (ИФМ УрО РАН)

Председатель Научного совета РАН
по физике конденсированных сред,
член-корреспондент РАН

В.В. Кведер