

Физика конденсированных сред (2010 г.)

В области теории твердого тела

- Предсказано новое явление - циркулярный эффект Холла, который заключается в возникновении постоянного тока, вызванного скрещенными электрическим и магнитными полями электромагнитной волны. Эффект наблюдался в графене при комнатной температуре при облучении терагерцовым излучением. Теория и параллельно проводившийся эксперимент находятся в удовлетворительном согласии. (ФТИ РАН).

- Решена задача о нахождении спиновой восприимчивости и туннельной плотности состояний изолированной квантовой точки с прямым и обменным взаимодействиями вблизи стоунеровской неустойчивости. Найдено, что вблизи стоунеровской неустойчивости туннельная плотность состояний демонстрирует немонотонное поведение как функция энергии при температурах существенно превышающих величину обменной энергии. Полученные результаты могут быть экспериментально проверены на квантовых точках из почти ферромагнитных металлов. (ИТФ РАН).

В области нанотехнологий и наноматериалов

- В сплаве с памятью формы Ti-Nb-Zr для медицинских имплантов в результате термомеханической обработки, при которой в β -фазе формируется полигонизованная субструктура со средним размером субзерен 80-90 нм, достигнуты максимальное число циклов до разрушения и высокая стабильность сверхупругого поведения, а также минимальный модуль упругости ($E = 25$ ГПа) и низкая накопленная остаточная деформация в условиях сверхупругого механоциклирования. (НИТУ МИСиС).

- Установлено, что с уменьшением среднего размера зерна в интервале размеров зерен менее 400 нм скалярная плотность дислокаций линейно убывает, а плотность геометрически необходимых дислокаций линейно возрастает. Одновременно растут внутренние напряжения и кривизна-кручение кристаллической решетки. При приближении к критическому размеру зерен 100 нм сначала все дислокации становятся геометрически необходимыми, а затем скалярная плотность дислокаций в теле зерна убывает до нуля. Основными дефектами становятся тройные стыки границ зерен, частичные стыковые дисклинации в них и дислокации на границах зерен. (ГОУ ВПО Томский ГАСУ).

В области образования и структуры кристаллов

- Получены дополнительные экспериментальные свидетельства существования кооперативного роста монокристаллов путем агломерации наночастиц. Исследовались кристаллизация веществ кубической структуры, родственной флюориту (Y_2O_3 , SeO_2 , $Ba_4R_3F_{17}$, $M_{1-x}R_xF_{2+x}$), методы исследования – СЕМ, ПЭМ, уширение линий на рентгенограммах порошка, малоугловое рентгеновское рассеяние. Проведен анализ литературы, сформулированы направления дальнейших исследо-

ваний. Сформулировано понятие о силах ориентационного упорядочения. (ИОФ РАН, ИОНХ РАН, МГУ).

- Изучены электронные и магнитные свойства магнезиовюстита (Mg,Fe)O, одного из основных минералов в составе нижней мантии Земли, в условиях, максимально приближенных к тем, которые реализуются в глубине Земли, т.е. при сверхвысоких давлениях до 900 кбар и высоких температурах до 2500 К. В области давлений 550-700 кбар обнаружены электронные переходы ионов Fe^{2+} из высокоспинового в низкоспиновое состояние, при которых радикально меняются физические свойства кристаллов такие, как электро- и теплопроводность, плотность, сжимаемость, скорость звука. Давление и температура этого спинового перехода соответствуют глубине от 1000 до 2200 км. Полученные результаты важны не только для геофизики, но и для фундаментальной физики сильно коррелированных электронных систем. (ИК РАН).

- Быстрая ангармоническая мода в электрооптическом переключении жидкокристаллических структур на основе хиральных нематиков. Изучены поляризационные и спектральные свойства нового электрооптического эффекта в хиральных жидких кристаллах (ЖК). В этом эффекте электрическое поле приводит к деформации (ангармонизму) геликоидальной надмолекулярной структуры ЖК на шкалах $\sim 100 - 400$ нм, что вызывает сильные изменения состояний поляризации света, прошедшего через слой ЖК. Благодаря субмикронной шкале периода упругой деформации наблюдаются рекордно короткие времена ее релаксации. Эффект характеризуется высококонтрастным электрооптическим откликом с быстродействием в десятки раз выше, чем в современных ЖК-дисплеях. Это открывает перспективы использования эффекта в дисплейных технологиях. (ИК РАН).

В области физики высоких давлений

- На основе исследований неупругого рассеяния нейтронов и теплоемкости, а также расчетов фононного спектра и фононной плотности состояний геликоидального зонного магнетика MnSi впервые экспериментально показано, что при температурах выше точки фазового перехода в MnSi существует отрицательный вклад в теплоемкость и энтропию, что означает возникновение определенного порядка в спиновой подсистеме и являет собой пример самоорганизации в неживой природе. (ИФВД РАН, РИЦ КИ).

- Методом первопринципной молекулярной динамики с полным учетом ангармонических эффектов вычислена кривая плавления натрия до давления 100 ГПа. Рассчитанная кривая хорошо согласуется с экспериментальными данными, а также с кривой плавления натрия, вычисленной ранее в квазиангармоническом приближении, что предполагает малость эффектов ангармонизма вплоть до температуры плавления. (ИФВД РАН, ФИАН).

- Отработана методика синтеза аморфного Ge методом химического диспропорционирования. Обнаружен переход этой полупроводниковой фазы низкой плотности (LDA) в металлическую аморфную фазу высокой плотности (HDA) при давлениях 8–12 ГПа. Превращение между аморфными фазами LDA и HDA является обратимым и имеет значительный барический гистерезис около 4 ГПа, что характерно для фазовых переходов I рода. Фаза HDA является сверхпроводником

и имеет более высокие значения T_c , чем кристаллическая фаза Ge-II со структурой типа β -Sn, термодинамически устойчивая при тех же давлениях. (ИФТТ РАН).

В области физики магнитных явлений

- Экспериментально обнаружен и теоретически обоснован эффект возрастания электросопротивления тонкой пленки лантан-стронциевого манганита под действием сверхвысокочастотной накачки в условиях магнитного резонанса. Эффект наблюдается как в ферромагнитной, так и в парамагнитной фазах манганита, с максимумом вблизи точки Кюри. Механизм эффекта связан с природой колоссального магнитосопротивления, характерного для данных материалов, при учете роли спиновой релаксации по Блоху в окрестности фазового перехода. (ИРЭ РАН).

В области физики сегнетоэлектриков и диэлектриков

- Методом расчета *ab initio* установлено, что в свободно подвешенных сверхрешетках $(\text{KNbO}_3)_1(\text{KTaO}_3)_n$ с $n = 1-7$ в слоях KNbO_3 толщиной в одну элементарную ячейку возможно возникновение двумерного сегнетоэлектричества; результат перспективен для использования таких сверхрешеток для трехмерной записи информации. (Физический факультет МГУ).

В области физики поверхности

- Впервые на атомном уровне экспериментально показано, что структурный фазовый переход "соразмерная - несоразмерная структура" действительно может происходить через формирование газа точечных дефектов внедрения (краудионов) и их конденсацию в линейные доменные стенки, разделяющие антифазные домены. Данное явление обнаружено в монослое атомов хлора на поверхности $\text{Ag}(111)$. Экспериментальные наблюдения подтверждены расчетами методом молекулярной динамики. (ИОФ РАН).

- Экспериментально продемонстрирована и подтверждена расчетами возможность субангстремного пространственного разрешения в методе сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Данное разрешение реализовано на модельном объекте – высокоориентированном пиролитическом графите путем выбора соответствующей атомной орбитали на одноатомном острие иглы СТМ, изготовленной из монокристалла вольфрама $\text{W}(100)$. (ИФТТ РАН).

- Установлено, что графеновый монослой на поверхности $\text{Ni}(111)$ с интеркалированным монослоем благородного металла (Au) обладает электронной структурой, подобной электронной структуре идеального изолированного графенового слоя, причем такой слой графена дополнительно характеризуется индуцированным спин-орбитальным расщеплением с величиной 100 мэВ в области линейности дисперсионных зависимостей π -состояний графена. (ГОУ ВПО СПбГУ).

В области неразрушающих физических методов контроля

- Разработана, изготовлена и внедрена на ряде промышленных предприятий России и СНГ серия роботизированных установок магнитной дефектоскопии полного объема прямошовных электросварных труб диаметром от 20 до 219 мм. Дефектоскопические установки типа УМД включены непосредственно в производственный поток на стадии сварки. В связи с невозможностью вращения трубы на этой стадии изготовления для контроля всего объема использована многоэлементная система датчиков с компьютерной обработкой данных. Разработанные установки полностью удовлетворяют требованиям международных стандартов ИСО 9402 и ИСО 9598 и являются конкурентоспособными на мировом рынке. Отработана технология серийного изготовления установок типа УМД. Разработанные методики и средства магнитной дефектоскопии вновь изготавливаемых труб принципиально важны и актуальны в связи с необходимостью модернизации и обеспечения безотказной и безопасной эксплуатации стареющей сети трубопроводов страны. (ИФМ УрО РАН).

В области исследования конденсированных сред ядерно-физическими методами

- В экспериментах по изучению структуры белково-липидных пленок на поверхности жидкости продемонстрирована принципиальная возможность применения современных структурно-чувствительных рентгеновских методик для контроля эффективности действия ряда лекарственных препаратов, применяемых для ускорения выведения тяжелых металлов при острой и хронической интоксикации в условиях *in vitro* (вне организма), позволяющих получать дифференциальные данные о действии лекарственного соединения. Получена сравнительная оценка эффективности действия этой группы лекарственных препаратов. Показано, что по своим элиминирующим свойствам отечественные лекарственные препараты, не уступают импортным аналогам. Установлено, что применение комплексообразующих препаратов дает возможность максимально, но не полностью удалить ионы тяжелых металлов из белковых молекул. (РНЦ КИ).

- Методами рентгеновской дифрактометрии и рефлектометрии изучены тонкие особенности структуры разбавленных магнитных полупроводников. На структурах, созданных на основе GaAs, с квантовыми ямами $Ga_{1-x}In_xAs$ и слоями Mn установлены закономерные связи между структурой и необычными электрическими, транспортными и оптическими свойствами этих систем, в частности, эффектом поляризации носителей заряда и их высокой подвижности в квантовой яме. Проведение совместного анализа данных прецизионной рентгеновской дифрактометрии и рефлектометрии позволило существенно повысить достоверность и точность восстановления профилей распределения по толщине структурных параметров квантовых ям и очень тонких слоев Mn, так называемых δ -слоев, что имеет принципиальное значение для практического использования этих материалов в спинтронике. (РНЦ КИ).

В области физики прочности и пластичности

- Разработаны научно-технологические рекомендации по оптимизации химического состава, режимов выплавки, термомеханической обработки и закалки, обеспечившие устранение причин возможного брака и налажен массовый выпуск высококачественных железнодорожных колес повышенного качества для грузового железнодорожного транспорта на ОАО "Выксунский металлургический завод". Определены закономерности деформационно-усталостного поведения колес высокоскоростного пассажирского поезда "Сапсан" при эксплуатации в экстремальных температурно-скоростных и деформационно-силовых условиях. Научно обоснованы особенности технологии изготовления данных колес, позволяющие избежать их преждевременного разрушения. Вскрыты основные механизмы структурно-фазовых превращений при изготовлении и эксплуатации колес и их влияние на механические и усталостные характеристики колес. (ИФМ УрО РАН, ЮурГУ, ООО "Микроакустика" г. Екатеринбург, ОАО "Выксунский металлургический завод").

- Методом высокоэнергетической механоактивации и высокоскоростного электроимпульсного плазменного спекания (скорость нагрева до 2500 град/мин) в вольфрамовых сплавах W–Ni–Fe получены рекордные характеристики прочности (для сплава 95W–3,5Ni–1,5Fe предел прочности составляет 2500 МПа, а пластичность 10 %), что в 4 раза превосходит прочность стандартных материалов и современных аналогов. (ННГУ).

- Методом инженерии границ зерен получены предельно упрочненные (близкие к теоретическому пределу прочности) наноструктурные материалы на основе титана. Проведены эксперименты по реализации эффекта упрочнения зернограничных аморфных прослоек на стадии зернограничного проскальзывания. Эффект реализован путем целенаправленного создания боридных наночастиц размером 5-6 нм, выделяющихся внутри аморфных межзеренных прослоек, затрудняющих процесс зернограничного проскальзывания и экстремально повышающих прочность аморфно - нанокристаллического композита. Показано, что отношение величины микротвердости к приведенному модулю Юнга близко к теоретическому пределу 0,10-0,15, что свидетельствует о подавлении процессов пластического течения по межкристаллитным прослойкам. Сделано заключение, что подавление зернограничного проскальзывания в нанокристаллах с помощью инженерии границ зерен позволяет получить прочность нанокристаллов, соответствующую теоретической. (ИМФМ ЦНИИчермет).

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

В.В. Кведер