

“Наши” физики покорили Нобеля



Андрей Гейм



Константин Новоселов

Итак, свершилось: Нобелевская премия 2010 года по физике вручена физикам из Манчестера Андрею Гейму и Константину Новоселову. За последнее десятилетие, следом за Жоресом Алферовым, Виталием Гинзбургом и Алексеем Абрикосовым - это уже третья премия по физике, в которой фигурируют российские ученые. Формально - нашим дают все больше и больше: если Ж.Алферову присудили четверть премии, а В.Гинзбургу с А.Абрикосовым - 2/3, то теперь при желании можно считать, что “нам” воздали по-полной. А.Гейм и К.Новоселов получили “нобелевку” за исследование и описание свойств графена, представляющего собой двумерный кристалл - пленку углерода толщиной в один атом и обладающий уникальными свойствами, которые, по мнению ученых, могут сделать его основой будущей нанoeлектроники.

Константин Новоселов в эксклюзивном интервью ИТАР-ТАСС отметил, что сделать открытие, отмеченное престижной наградой, ему и Андрею Гейму помогло образование, полученное в Московском физико-техническом институте. И пусть даже они давным-давно работают в Англии, все равно приятно.

А еще нам доставляет удовольствие отметить, что, начиная с открытия графена в 2004 г., Перст постоянно информирует своих читателей о новостях “графеновой физики”. Вот и в этом выпуске, вы найдете три заметки про графен, подготовленные еще до решения Нобелевского комитета. А наиболее любознательным читателям спешим сообщить, что American Institute of Physics (США) и Institute of Physics (Великобритания) предоставили всем желающим свободный доступ к электронным версиям статей новых Нобелевских лауреатов [1,2], причем не только про графен, но и на другие темы, например, статьи о левитации лягушек, отмеченные шуточной “Шнобелевской” премией (Ig Nobel Prize) в 2000 г.

1. <http://journals.aip.org/Nobel2010.html>

2. <http://herald.iop.org/nobel/m137/jip/link/3939>

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Графен как детектор ДНК

В работе [1] предложено использовать одно- и двухслойный графен для регистрации молекул ДНК в ионном растворе. Путем облучения графена пучком высокоэнергетичных электронов авторы [1] “сверлили” в нем отверстия диаметром $d = (5 \div 23)$ нм и измеряли ионную проводимость G графеновой мембраны с такими отверстиями. Для графена без “дырки” величина G очень мала (несколько десятков пС), то есть бездефектный графен препятствует транспорту через него ионов. Наличие нанопоры приводит к резкому увеличению G до ~ 100 нС (при этом G возрастает линейно по d). Когда через нанопору проходит одна-единственная молекула ДНК,

И далее ...

- 2 Магнетосопротивление графеновых нанолент

Зависимость коэффициента теплопроводности графеновой пленки от числа слоев

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 3 Безмедные ВТСП на основе железа: промежуточные итоги

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 4 Квантовые скачки в твердом теле

- 5 Трехкубитная запутанность

Измерение времени релаксации атомного спина

МИКРОТЕХНОЛОГИИ

- 6 Потягиваясь в лучах света

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Вискурарег защитит от огня полимерные композиты

- 8 Выпрямитель тока на основе однослойной нанотрубки

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Нанотехнологии в США: Что делать с Инициативой?

КОНФЕРЕНЦИИ

- 10 памяти В.Л. Гинзбурга, Научная сессия ОФН РАН, 27 октября 2010 г.

Научная сессия ОФН РАН, “Эволюционная экономика и экономическая физика”
2 ноября 2010 г.

Семинар по магнетизму
19 октября 2010 г.

она блокирует движение ионов, и на зависимости силы ионного тока I от времени появляется ступенька высотой ~ 1 нА и шириной ~ 100 мс. Ожидается, что в перспективе детальный анализ подобного рода экспериментов в сочетании с компьютерным моделированием позволит извлекать информацию о структуре ДНК (а также других сложных молекул) из вида кривой $I(t)$. Не исключено также, что после соответствующей модификации развитая в [1] методика сделает возможным исследование динамики поверхностных химических реакций.

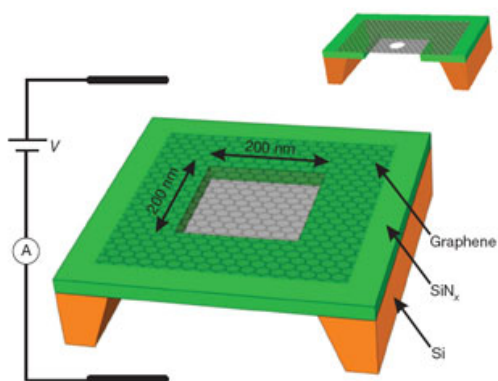


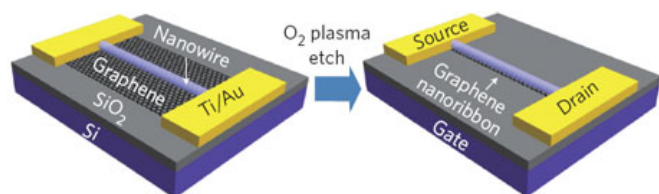
Схема эксперимента по измерению ионной проводимости графеновой мембраны с нанопорой.

Л. Опенов

I. S. Garaj et al., *Nature* **467**, 190 (2010).

Магнетосопротивление графеновых нанолент

Предполагаемое практическое использование графеновых полосок нанометровой ширины в нанoeлектронных устройствах основано на том, что в электронном спектре таких нанолент (в отличие от собственно графена) имеется диэлектрическая щель, которая возникает из-за размерного квантования и краевых эффектов. Теоретически предсказано, что графеновые наноленты (GNR) должны обладать большим магнетосопротивлением (MR). В работе [1], выполненной в Univ. of California, Los Angeles (США), были изучены магнитоэлектронные свойства полевых транзисторов с полупроводниковым каналом из GNR шириной (5–40) нм (см. рис.).



Схематическое изображение процесса изготовления полевого транзистора на основе графеновой наноленты. При травлении функцию маски выполняет нанопровод SiO₂.

Показано, что в параллельном магнитном поле проводимость GNR существенно не изменяется, тогда как в перпендикулярном падает: MR – отрицательно и достигает 100% при $H = 8$ Тл и $T = 1.6$ К. При комнатной температуре MR меньше, но все равно

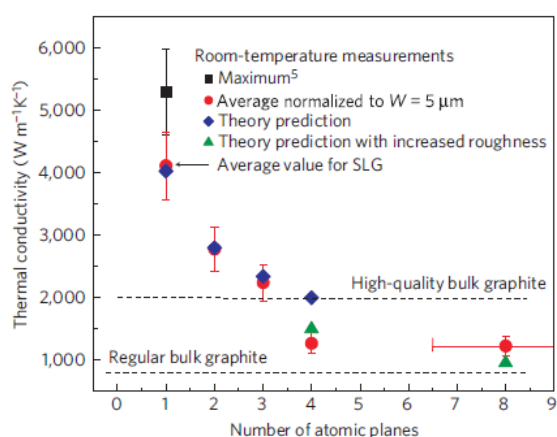
превышает 50%. Величину MR можно регулировать, изменяя либо управляющее напряжение на затворе, либо напряжение между источником и стоком. Причина большого MR заключается, по видимому, в уменьшении диэлектрической щели из-за ослабления размерных эффектов вследствие того, что в сильном магнитном поле электроны движутся по орбитам, радиус которых меньше ширины GNR. Высокую чувствительность проводимости GNR к магнитному полю предполагается использовать для создания магнитоэлектронных наноприборов нового поколения.

I. J. Bai et al., *Nature Nanotech.* **5**, 655 (2010).

Зависимость коэффициента теплопроводности графеновой пленки от числа слоев

Изучение свойств графена, представляющего собой один или несколько двумерных поверхностей, составленных из атомов углерода и имеющих гексагональную структуру, привлекает все возрастающее внимание исследователей многих лабораторий мира. Наряду с фундаментальным интересом, который связан с открывшейся возможностью изучения поведения двумерных структур, имеются перспективы развития прикладных направлений, основанных на уникальных физико-химических свойствах графена. Одним из таких свойств является аномально высокая теплопроводность графена, превышающая, согласно результатам прямых измерений и последовательных расчетов 5000 Вт/м К. Указанная величина является рекордной среди всех известных материалов и обусловлена совершенной структурой графена с минимальным числом дефектов. Механизм теплопроводности графена связан с распространением фононов, так что коэффициент теплопроводности определяется длиной пробега фонона, связанной либо с рассеянием на дефектах, либо с фонон-фононным взаимодействием. Если указанная длина пробега превышает размер образца, то имеет место баллистический перенос тепла, при котором фононы проскакивают сквозь графен, не испытывая рассеяния. Этому баллистическому механизму соответствует приведенный выше рекордный коэффициент теплопроводности. Обращает на себя внимание тот факт, что коэффициент теплопроводности однослойного графена более чем вдвое превышает соответствующую величину для кристаллического графита. Поскольку графит состоит из графеновых слоев, отстоящих друг от друга на расстояние около 0.35 нм, этот факт указывает на влияние соседних слоев на перенос фононов вдоль графенового слоя. Взаимодействие фононов с соседними слоями открывает дополнительный канал рассеяния, наличие которого приводит к снижению коэффициента теплопроводности. Можно ожидать снижения коэффициента теплопроводности графеновой пленки по мере увеличения числа слоев в ней, так что при достаточно большом числе слоев должна

достигаться теплопроводность графита. Прямая демонстрация такой зависимости была получена недавно в эксперименте, выполненном в Univ. of California-Riverside (США). Авторы [1] использовали для измерения коэффициента теплопроводности графена изящный метод, основанный на температурной зависимости положения G пика спектра комбинационного рассеяния графена. Лазерный луч фокусируется на графен, подвешенный над углублением в подложке, в пятно диаметром менее 1 мкм, что вызывает его нагрев до температуры, величина которой определяется по смещению положения G пика. С другой стороны, эта температура определяется из решения уравнения теплопроводности для графена с варьируемым коэффициентом теплопроводности. Величина коэффициента теплопроводности определяется на основании совпадения измеренной и вычисленной температуры.



Измеренная при комнатной температуре зависимость коэффициента теплопроводности графена от числа слоев приведена на рисунке. Прерывистыми линиями показан диапазон изменения теплопроводности кристаллического графита. Ромбами и треугольниками обозначены результаты расчетов теплопроводности для бездефектных графенов, полученные различными методами. Поскольку коэффициент теплопроводности графена зависит от размера образца, результаты эксперимента приведены к единому размеру (5 мкм). Как видно, измеренная зависимость при большом числе графеновых слоев асимптотически приближается к величинам, характерным для кристаллического графита.

А.Елецкий

1. S.Ghosh et al., *Nature Mater.* **9**, 555 (2010).

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Безмедные ВТСП на основе железа: промежуточные итоги

Поскольку антагонизм сверхпроводимости и магнетизма давно известен, то при поиске новых высокотемпературных сверхпроводников исследователи обычно старались избегать использования магнитных элементов. Поэтому открытие в 2008 г. безмедного ВТСП $\text{LaFeAs}(\text{O},\text{F})$ с $T_c = 26$ К стало полной неожиданностью – в первую очередь из-за наличия в нем атомов Fe. Вскоре были обнаружены и

другие “железистые” ВТСП (Fe-based superconductors, FeSCs), а их T_c подросла до 55 К. Обзор [1] современного состояния исследований FeSCs сделан сотрудниками Univ. of Maryland (США).

Сейчас известно пять структурных классов FeSCs. Общим для них является наличие слоев атомов Fe, окруженных ионами элементов V группы, пниктогенов (P, As) или элементов VI группы, халькогенов (S, Se, Te) в тетраэдрической конфигурации (рис. 1). Эти слои разделены “блокирующими слоями” из щелочных, щелочноземельных или редкоземельных элементов и кислорода/фтора. Принято считать, что за сверхпроводимость FeSCs ответственны именно слои Fe-пниктоген/халькоген – подобно слоям CuO_2 в купратных ВТСП. Как и в купратах, ключевую для сверхпроводимости FeSCs роль играет химическое замещение. Но есть и существенные отличия: 1) атомы пниктогенов и халькогенов расположены над и под слоями Fe (рис. 1), тогда как слои CuO_2 являются практически плоскими; 2) в FeSCs возможно химическое замещение элементов непосредственно в “активных слоях” Fe-пниктоген/халькоген, а в купратах – только в блокирующих (буферных) слоях. К этому следует еще добавить, что в FeSCs родительское недопированное состояние является металлическим, а в купратах – диэлектрическим. Таким образом, между этими двумя семействами ВТСП имеются как сходства, так и различия.

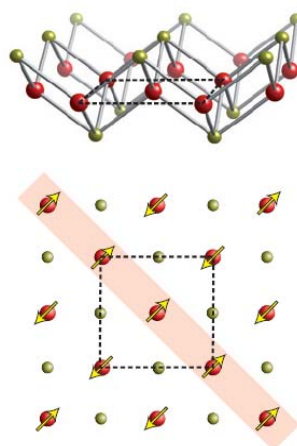


Рис. 1. Слои Fe- пниктоген/халькоген – общий структурный элемент безмедных ВТСП на основе железа. Красные кружки – атомы Fe. Желтые кружки – атомы пниктоген/халькоген. Стрелки – спины атомов Fe.

Фазовая диаграмма FeSCs очень похожа на таковые в некоторых других “необычных” сверхпроводниках, включая купраты: при допировании или воздействии высокого давления несверхпроводящее антиферромагнитное состояние сменяется сверхпроводящим немагнитным (рис. 2). В некоторых FeSCs (например, в $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$) сверхпроводящая и антиферромагнитная фазы на фазовой диаграмме разделены, в других же – перекрываются (рис. 2), причем последнее встречается чаще. Сходство фазовых диаграмм FeSCs при химическом замещении и сжатии (рис. 2) вкупе с одинаковым характером изменения периодов решетки в том и другом случае наводит на мысль, что концентрация носителей заряда является не единственным (а может быть, даже не основным) фактором, определяющим положение межфазных границ, и что большую роль могут играть детали кристаллической структуры, от кото-

рых зависит структура электронная. Здесь следует отметить и еще одну особенность FeSCs: совпадение или близость температур антиферромагнитного и структурного переходов (рис. 2).

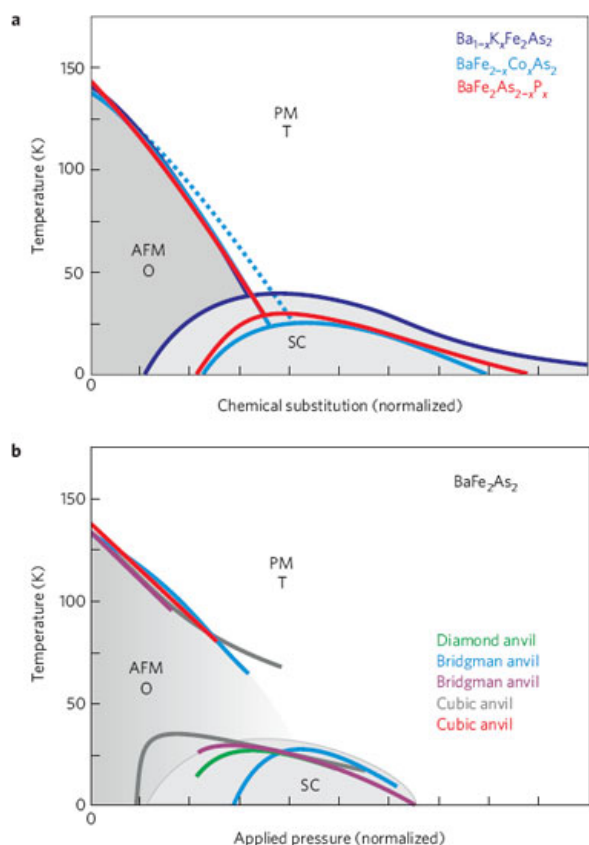


Рис. 2. Фазовые диаграммы BaFe_2As_2 при химическом замещении (a) и гидростатическом сжатии (b). PM – парамагнетизм, AFM – антиферромагнетизм, SC – сверхпроводимость, T – тетрагональная фаза, O – орторомбическая фаза, пунктирная линия – температура структурного перехода.

Поверхность Ферми FeSCs состоит из дырочных карманов в центре зоны Бриллюэна и электронных – в ее углах (рис. 3). Основной вклад в плотность электронных состояний на уровне Ферми дают d -орбитали атомов Fe. Расчеты из первых принципов согласуются с экспериментом (фотоэмиссионная спектроскопия и квантовые осцилляции). При этом упрощенные двумерные модели не могут объяснить ряд важных деталей зонной структуры FeSCs. Эффекты электронного и дырочного допирования согласуются с моделью “жестких зон”.

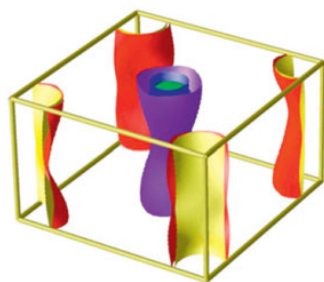


Рис. 3. Поверхность Ферми в $\text{BaFe}_{2-x}\text{Co}_x\text{As}_2$. Фиолетовым и синим цветами изображены, соответственно, дырочные и электронные карманы.

Природа магнетизма FeSCs до сих пор остается предметом дискуссий. Общая картина неплохо описывается в рамках моделей волны спиновой

плотности, но не все экспериментальные факты (например, реконструкцию поверхности Ферми ниже температуры Нееля) пока удается объяснить. Спины атомов железа упорядочены антиферромагнитно вдоль одного направления двумерной подрешетки Fe и ферромагнитно – вдоль другого (рис. 1). Здесь теория согласуется с экспериментом. Но расчетные величины магнитных моментов на узлах Fe оказываются значительно больше измеренных. Причина, по-видимому, заключается в том, что магнитное состояние FeSCs в значительной мере определяется подвижными электронами проводимости.

Что касается механизма сверхпроводимости FeSCs, то большинство склоняется к нефононной природе спаривания (например, за счет обмена спиновыми флуктуациями). Одним из аргументов (хотя и не доказательством) здесь является наличие во всех FeSCs (как и в купратах) при $T < T_c$ коллективной резонансной магнитной моды, энергия которой с ростом T_c возрастает линейно по T_c . Но эта мода может быть, и не связана со сверхпроводимостью, а возникает, например, из-за уменьшения скорости релаксации магнонов на электронах проводимости при сверхпроводящем переходе. Да и фононный механизм не стоит пока сбрасывать со счетов, ведь в FeSCs наблюдается довольно сильный изотопический эффект по железу. Возможно, имеет место комбинация фононного и нефононного спаривания. По данным ЯМР спиновое состояние куперовских пар в FeSCs является обычным синглетом. А вот их орбитальное состояние, скорее всего, не s -волновое и не d -волновое (как в купратах), а $s_{\pm}$ -волновое: параметр сверхпроводящего порядка имеет одинаковый знак на каждом кармане поверхности Ферми, но разный – на дырочных и электронных карманах. Это позволяет объяснить данные многих экспериментов (в том числе фазочувствительных), но не всех. Окончательный вывод делать пока рано. Нельзя исключить и наличие в FeSCs нескольких почти вырожденных по энергии сверхпроводящих состояний с разными симметриями спаривания. Тогда малейшее возмущение (например, дефекты) может приводить к “переключению” с одной симметрии на другую и путанице при анализе экспериментальных данных.

Не надо забывать, что безмедные ВТСП на порядок моложе своих купратных тезок. Они могут преподнести еще много сюрпризов. Будем надеяться, что эти сюрпризы окажутся для нас приятными.

Л. Опенов

I. J. Paglione, R. L. Greene, Nature Phys. 6, 645 (2010).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовые скачки в твердом теле

Фундаментальный постулат квантовой механики гласит, что результатом взаимодействия квантовой системы с измерительным устройством является ее переход в одно из собственных состояний – “кван-

товый скачок”. Такие скачки наблюдались и у отдельных атомов, и у фотонов, изолированных в электромагнитной ловушке, подтверждая тем самым квантовую природу света и вещества. В работах [1,2] сообщается о регистрации квантовых скачков спиновых кубитов в твердотельном окружении. Используя методику резонансной флуоресценции, авторы [1] определяли ориентацию электронного спина, параллельного ядерному спину центра азот-вакансия в алмазе, а авторы [2] изучали спиновое состояние электрона в квантовой точке InAs/GaAs, туннельно связанной с другой точкой, также содержащей один электрон. В обоих случаях электрон, над которым проводилось измерение, представлял собой “вспомогательную систему”, содержащую информацию о спине собственно кубита (рис. 1а). Таким образом, в [1] были зафиксированы квантовые скачки ядерного спина (рис. 1б), а в [2] – спина электронного. Помимо фундаментального интереса, эти результаты важны для совершенствования методов обработки квантовой информации.

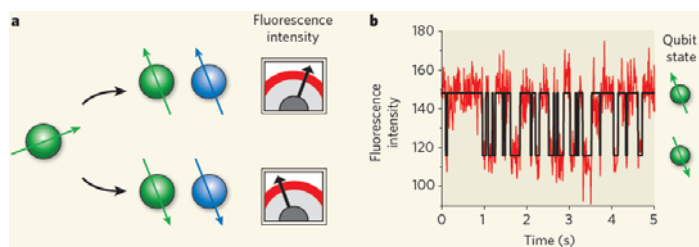


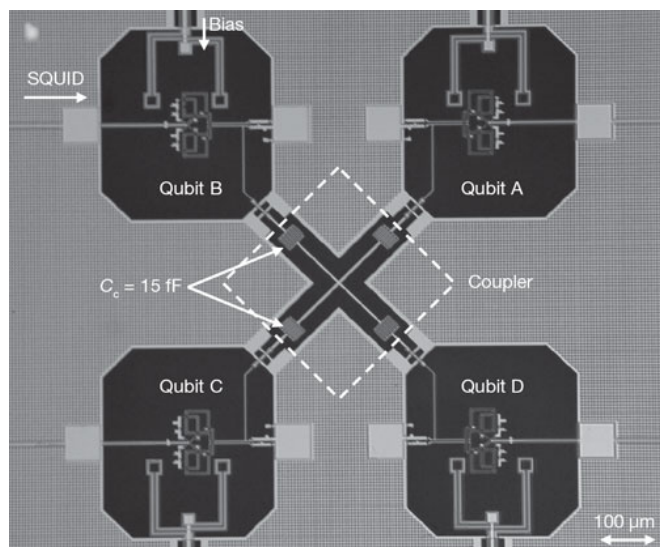
Рис. 1. *a* - Корреляция между направлениями спинов кубита (спина ядра в [1] или спина электрона в [2]) и вспомогательной системы, над которой проводится измерение (спина электрона в [1] и [2]).
b - Квантовые скачки ядерного спина центра азот-вакансия в алмазе [1]. Интенсивность флуоресценции измеряется в единицах [число фотонов / 5 мс].

1. P. Neumann et al., *Science* **329**, 542 (2010).
2. J. Bai et al., *Nature* **467**, 297 (2010).

Трехкубитная запутанность

Запутанность – один из ключевых ресурсов квантовых вычислений, поэтому такое большое внимание уделяется сейчас экспериментам по созданию запутанных состояний и измерению их характеристик. Из-за сложностей работы с квантовыми объектами исследователи ограничиваются, как правило, запутыванием двух кубитов. Между тем для практической реализации протоколов квантовой коррекции ошибок необходимо иметь в своем распоряжении как минимум трехкубитные перепутанные состояния. Хотя при экспериментах с фотонами число перепутанных кубитов удалось довести аж до 10, использование фотонов как физических носителей кубитов в реальных квантовых компьютерах представляется крайне маловероятным. В работе [1] два различных типа перепутанных состояний, $|GHZ\rangle = (|000\rangle + |111\rangle)/\sqrt{2}$ и $|W\rangle = (|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)/\sqrt{3}$, сконструированы из сверхпроводниковых фазовых кубитов, считающихся наиболее перспективными для масштабирования. Продемонстрированы опе-

рации с этими состояниями (межкубитное взаимодействие осуществлялось посредством емкостной связи). Квантовая томография подтвердила, что запутанность действительно является трехкубитной и не сводится к смеси двухкубитных. Было, в частности, показано нарушение неравенства Мермина-Белла. Для своих экспериментов авторы [1] использовали даже не трех-, а четырехкубитное устройство (см. рис.), что позволит им в скором времени расширить границы исследований. Практически одновременно с работой [1] были опубликованы статьи [2] и [3], в которых для экспериментальной реализации трехкубитных перепутанных состояний также использованы сверхпроводниковые кубиты. Хочется верить, что дальнейшее масштабирование квантовых информационных систем пойдет более быстрыми темпами ...



Микрофотография устройства из четырех сверхпроводниковых фазовых кубитов. Светлые области – алюминий, темные – сапфир.

1. M. Neeley et al., *Nature* **467**, 570 (2010).
2. L. DiCarlo et al., *Nature* **467**, 573 (2010).
3. F. Altomare et al., *Nature Phys.* **6**, 777 (2010).

Измерение времени релаксации атомного спина

Спиновые состояния отдельных атомов в твердых телах предполагается использовать для хранения и обработки квантовой информации. Основным препятствием здесь является сильное взаимодействие спинов с их твердотельным окружением, в результате которого “перевернутый” спин очень быстро принимает исходную ориентацию. Но насколько быстро? Для определения времени спиновой релаксации τ обычно используется методика ЯМР. Однако она дает информацию не об отдельных атомах, а о среднем по их ансамблю. В работе [1] величина τ спина димера Fe-Cu на покрытой слое Cu_2N подложке Cu(100) найдена с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Поместив на кончик иглы СТМ магнитный атом Mn, авторы [1] изучили зависимость туннельного тока от промежутка времени, прошедшего после переворота спина (см.

рис.) и таким образом получили $\tau = (50 \div 250)$ нс – достаточно много, если учитывать неизолированность спина от внешней среды. Эту методику можно приспособить к изучению и других эффектов, где требуется высокое разрешение как по координате, так и по времени.

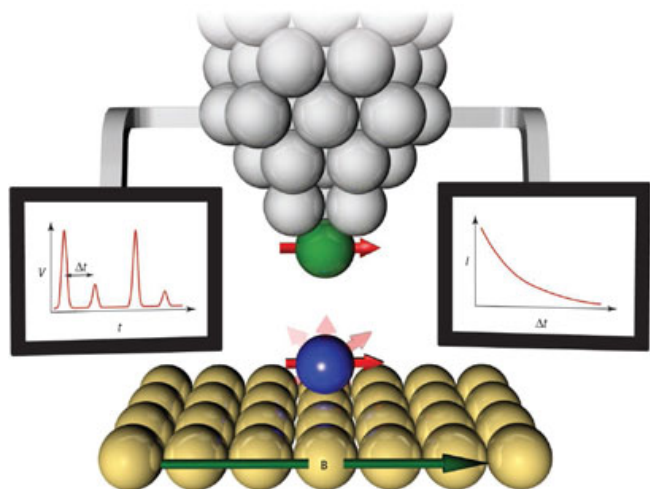


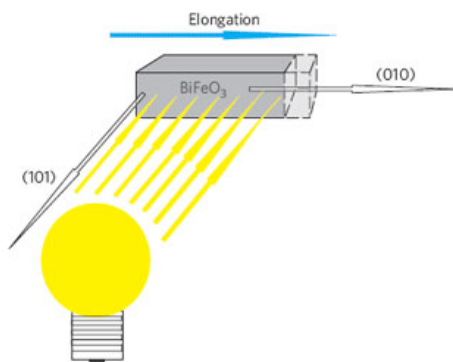
Схема эксперимента по определению времени релаксации атомного спина. Синим и зеленым цветами изображены, соответственно, атом Fe на подложке и атом Mn на острие иглы СТМ.

1. S.Loeth et al., *Science* **329**, 1628 (2010).

МИКРОТЕХНОЛОГИИ

Потягиваясь в лучах света

На протяжении вот уже нескольких десятилетий магнитный сегнетоэлектрик феррит висмута BiFeO_3 служит неисчерпаемым кладом новых физических эффектов: магнитные, упругие, сегнетоэлектрические, электропроводящие и оптические свойства этого материала, тесно переплетаясь друг с другом, порождают причудливые комбинации. В недавнем номере *Nature Materials* сообщается об обнаружении в феррите висмута такого экзотического явления, как фотострикция – изменения размеров образца, индуцированного светом [1]. Она ранее наблюдалась в сегнетоэлектриках, полимерах и полупроводниках, но никогда – в магнитных веществах.



Растяжение образца феррита висмута под действием светового излучения [1].

Оказалось, что при расположении источника освещения (см. рис.) вдоль кристаллографического направления (010), наблюдается расширение образца. Под действием излучения от стоваттной лампы от-

носительное удлинение составляет порядка 10^{-5} . Измерение времени отклика (несколько сотых секунды) позволяет легко отделить фотострикцию от банального теплового расширения, намного более инерционного. Происхождение фотострикции, по мнению авторов [1], может быть объяснено совокупным действием недавно открытого в феррите висмута фотогальванического эффекта [2,3] и обратного пьезоэлектрического эффекта.

Фотострикция чувствительна к поляризации света (она максимальна тогда, когда электрическая поляризация образца лежит в плоскости поляризации света), но что еще интереснее, величина эффекта зависит от приложенного магнитного поля – такое наблюдается впервые. Величина фотострикции линейно падает с ростом напряженности приложенного магнитного поля (на 30% в поле 1.5 Тл).

Хотя время отклика невелико по сравнению с характерными временами фотострикции для полимеров, эффект все-таки слишком инерционен для применений в фотонике. Тем не менее, рассматриваются возможности его использования в оптомеханических системах, вроде микромоторов, управляемых светом.

А.Пятаков

1. B.Kundys et al., *Nature Mater.* **9**, 803 (2010).
2. T.Choi et al., *Science* **324**, 63 (2009).
3. S.Y.Yang et al., *Nature Nanotech.* **5**, 143 (2010).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Вискурарер защитит от огня полимерные композиты



Разработка антипиренов (от греческого *anti-* анти и *pyr-* огонь) нового поколения – чрезвычайно важная задача, ведь многие из тех соединений, которые применяются сейчас для защиты от возгорания древесины, тканей, полимеров, содержат хлор или бром. Предметы домашнего

обихода (телевизоры, компьютеры, мебель и др.) тоже обрабатываются антипиренами, чтобы избежать ужасных последствий при возникновении пожара. Вещества, входящие в состав таких антипиренов, могут постепенно выделяться в окружающую среду. К сожалению, появились свидетельства их вредного воздействия на здоровье людей (в частности, на функцию щитовидной железы), и в некоторых странах использование этих соединений запретили.

Необходимо искать новые материалы. Углеродные нанотрубки (УНТ) уже продемонстрировали свою эффективность, в том числе для повышения термостойкости полимеров (см. *ПерсТ* [1]). Однако возможность их использования для огнезащиты высокотемпературных полимеров – материалов с высо-

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 19

кими технологическими и эксплуатационными показателями - до сих пор не изучалась. Первые данные недавно опубликовали американские исследователи [2]. Они показали, что для полиимидов отличным защитным барьером может служить *buckypaper* – смесь одно- и многостенных нанотрубок (ОСНТ и МСНТ).

Полиимиды - очень прочные и устойчивые к воздействию излучения, химических веществ и высокой температуры полимеры (спектр рабочих температур от -270°C до +300°C). Они широко используются в электронике, машиностроении, авиационно-космической промышленности (особенно в виде композитов полиимид – углеродное волокно). Полиимиды применяются и при создании многих бытовых приборов. Авторы [2] изучили воспламеняемость композитов на основе известного полиимиды РЕТ-330, разработанного учеными NASA. Были приготовлены и исследованы три типа образцов (таблица 1): СР – контрольный образец, композит полиимид-углеродное волокно; СР-CNT – композит СР, в который добавлены МСНТ; СР-ВР – композит СР (без добавления МСНТ), поверхность которого защищена 40 мкм-слоем *buckypaper* (ОСНТ:МСНТ = 1:5 по весу).

Таблица 1. Состав исследованных образцов композитных материалов.

Состав (масс.%)					
Образец	Углеродное волокно	Полиимид	УНТ	Букер-рарер	Толщина (мм)
СР	69.9	30.1			2.08
СР-CNT	69.3	29.1	1.5		2.10
СР-ВР	69.0	30.0		1.0	2.10

Исследователи провели калориметрические измерения и термогравиметрический анализ, а также использовали электронную микроскопию (SEM). Как видно из рис. 1, *buckypaper* представляет собой взаимопроникающую сетку из МСНТ большего диаметра и ОСНТ меньшего диаметра.

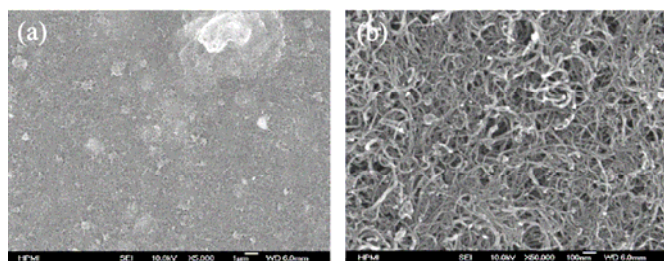


Рис.1. SEM-изображение *buckypaper* из углеродных нанотрубок при малом (a) и большом (b) увеличении.

Калориметрические измерения показали, что *buckypaper* выдержала тест на возгорание. По сравнению с исходным композитом максимум скорости тепловыделения для защищенного *bucky*-бумагой образца снизился на 40%, общее тепловыделение при этом

уменьшилось на 26%, дыма образовалось на 82% меньше (а дым - один из важных факторов риска при пожаре!), общая потеря массы оказалась на 33% ниже. Время воспламенения увеличилось на 38с (рис. 2).

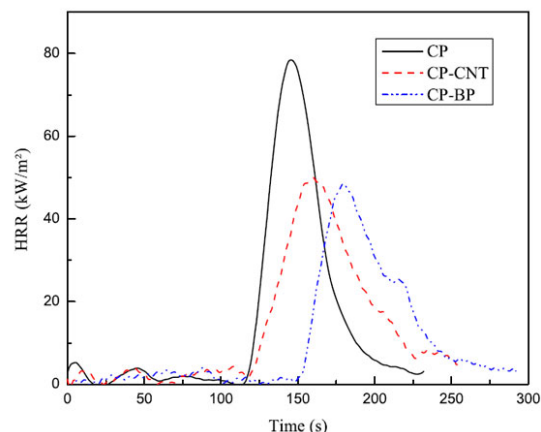


Рис. 2. Кривые скорости тепловыделения для трех образцов композитов.

Для композита СР-CNT максимум скорости тепловыделения по сравнению с контрольным образцом тоже заметно снизился - на 38%, время воспламенения увеличилось на 18 с., но при этом общее тепловыделение уменьшилось всего на 3.7%, общая потеря массы не изменилась, а дыма образовалось даже на 28% больше, чем для СР композита!

Исследования с помощью электронной микроскопии показали, что после теста поверхность контрольного СР образца растрескалась, обнажились входящие в состав композита углеродные волокна (рис. 3).

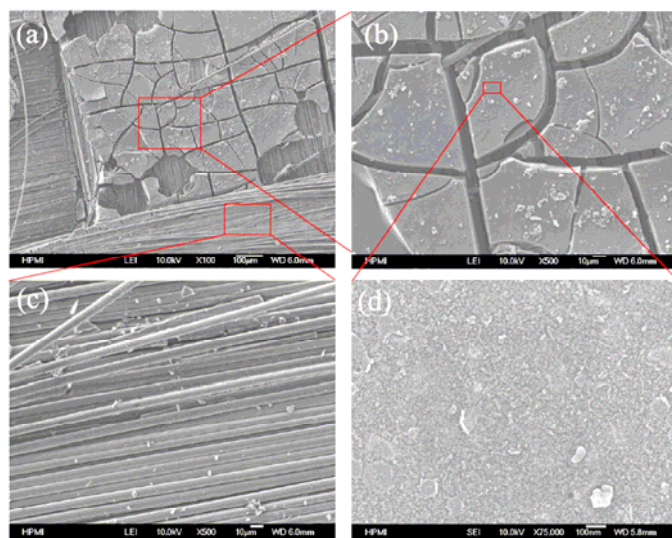


Рис. 3. SEM-изображения поверхности образца СР после теста: (a) 100x, (b) область трещин 500x, (c) область УВ 500x, (d) область, выделенная на (b), 7500x.

На поверхности СР-CNT образца после теста тоже были обнаружены углеродные волокна (с присоединенными к ним МСНТ). Таким образом, непосредственное добавление нанотрубок в композит не привело к формированию защитного покрытия. Совершенно другая картина наблюдалась для СР-ВР образ-

ца (рис. 4). Хотя нельзя исключить повреждений *buckypaper*, защитный слой в целом сохранился. Появление в некоторых местах светлых волоконистых образований - флоккул (рис. 4с) не снижает огнезащитных свойств. Авторы считают, что это, возможно, аморфный углерод, образовавшийся при горении УНТ.

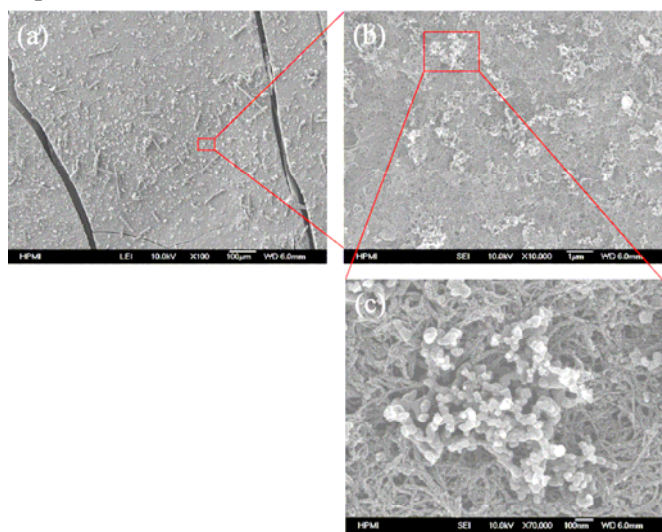


Рис. 4. SEM-изображения поверхности CP-CNT образца после испытаний. (a) x100, (b) x10 000, (c) x70 000.

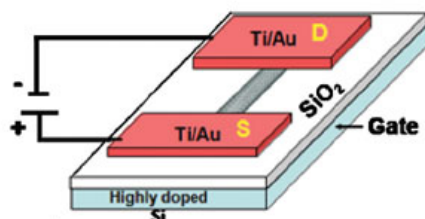
Таким образом, результаты исследований [2] показали, что для огнезащиты композитов полиимид-углеродное волокно наиболее перспективно использование *buckypaper*, материала, который создает эффективный барьер, препятствующий потоку тепла и кислорода в матрицу.

О.Алексеева

1. [ПерсТ 16, вып. 24, с. 6 \(2009\).](#)
2. X.Fu et al., *Nanotechnology* **21**, 235701 (2010).

Выпрямитель тока на основе однослойной нанотрубки

Уникальные характеристики углеродных нанотрубок (УНТ) привлекают интерес исследователей к этому объекту и позволяют рассматривать его в качестве возможного элемента будущих нанoeлектронных устройств. На возможность реализации такой перспективы указывают результаты многочисленных экспериментов, демонстрирующих эффективную работу различных электронных приборов на основе УНТ. Один из таких экспериментов, выполненный недавно в Rice Univ. (США) [1] посвящен использованию однослойных УНТ в качестве основы диодного выпрямителя.



Схематическое изображение диода

Пленку, состоящую из жгутов однослойных УНТ, выращивали методом каталитического CVD на оксидном слое толщиной 100 нм, который покрывал подложку из сильно легированного кремния. Толщина пленки была около 2 нм, а ее ширина равнялась ~ 50 нм.

В качестве электродов использовали слой золота толщиной 100 нм, на который, напыляли на подложку и на который, в свою очередь, напыляли слой Ti толщиной 10 нм. На одной подложке площадью 15x15 мм² располагалось около 135 отдельных диодов размером 250x250 мкм² с межэлектродным расстоянием 3, 5, 7 и 10 мкм. Образец подложки с напыленными диодами в течение 30 мин отжигали при температуре 200°C в атмосфере азота с целью удаления присоединенных радикалов кислорода. Измерения показали, что выпрямляющими электронными свойствами обладают только около 25% диодов, размещенных на подложке. Остальные диоды либо обладают симметричными вольтамперными характеристиками, либо вообще не проявляют проводимости ввиду плохого электрического контакта. Для диодов, обладающих асимметричными вольтамперными характеристиками, измеренное отношение прямого тока к обратному оказалось в диапазоне между 10³ и 10⁵. Величина этого отношения, с одной стороны, зависит от межэлектродного расстояния, а с другой стороны – от величины и знака затворного напряжения, подаваемого на подложку. Столь высокое отношение прямого тока к обратному указывает на хорошие выпрямляющие свойства диодов на основе УНТ. Для изучения указанных свойств на диоды подавали переменное напряжение частотой от 1 до 1000 Гц и амплитудой 1, 2 или 3 В. При этом, коэффициент преобразования мощности переменного тока в постоянный составляет около 20% при частотах ниже 200 Гц и плавно (примерно на 40%) спадает с частотой в диапазоне от 200 до 1000 Гц. В качестве физических причин выпрямляющего действия диодов на основе УНТ авторы называют хиральность нанотрубок, которая задает преимущественное направление прохождения тока, а также наличие структурных дефектов на стенках УНТ.

А.Елецкий

1. G.Mallick et al., *Appl. Phys. Lett.* **96**, 233109 (2010).

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Нанотехнологии в США:

Что делать с Инициативой?

Префикс “нано” сегодня настолько горяч, что рискуешь невольно обжечь язык, произнося очередной современный научный термин. Так что же такое нанотехнологии: дань моде или реальная необходимость, трактуемая потребностями прогрессивного мирового сообщества? Ожесточенные споры не прекращаются. Тем не менее, США намерены занять лидирующие мировые позиции практически по всем научным нанонаправлениям. С этой целью

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 19

в 2000 г. администрацией Клинтона при поддержке обеих палат Конгресса была развернута обширная стратегическая программа – Национальная нанотехнологическая инициатива (ННИ) (National Nanotechnology Initiative (NNI)), в рамках которой на “субмикронную” науку за последнее десятилетие уже выделены миллиарды долларов. Оправданы ли такие финансовые жертвы? Кори Лок (Corie Lok), редактор журнала *Nature*, на страницах одного из последних выпусков, подводя итоги уходящего этапа работы ННИ, выяснил, на какие цели ушли потраченные средства, и рассказал о дальнейших планах развития программы Национальной нанотехнологической инициативы [1].

За прошедшее десятилетие в рамках ННИ на всей территории Соединенных Штатов было открыто более семидесяти академических и управленческих наноцентров, налажено активное междисциплинарное взаимодействие между различными отраслями знаний, привлечены крупные инвесторы и аналитики, создан ряд компаний, сфокусированных на коммерциализации лабораторных разработок, а бюджет ННИ достиг суммы, исчисляемой миллиардами долларов. Суммы небывалой со времен программы пилотируемых космических полетов НАСА Апполон. Что касается непосредственно научных разработок, то число американских публикаций и патентов по нанотематике каждый год (начиная с 2000 г.) стремительно возрастало на 17% и 30%, соответственно. Однако среди аналитиков бытует мнение, что простой подсчет статей и патентов не лучший способ адекватной оценки заслуг ННИ, ведь к концу 1999 г. многие области науки и технологии и так неизбежно двигались навстречу наномасштабам, например, материаловедение, полупроводниковая электроника или молекулярная биология. Подавляющее большинство этих разработок в любом случае было бы профинансировано. ННИ играла скорее психологическую роль. Под маркой “Инициативы”, как приоритетной программы, было гораздо легче продвигать разработки, в том числе и на самом высоком уровне, а повсеместная поддержка государства способствовала притоку венчурного капитала, создавая ореол стабильности. В настоящее время все финансовые активы ННИ распределены между двадцатью пятью федеральными агентствами, среди которых Национальный научный фонд, Национальный институт здоровья, Министерство энергетики, Министерство обороны и Национальный институт стандартов и технологий. Однако нет никакого центрального органа, который полностью контролировал бы бюджет ННИ. Таким образом, для принятия основных решений в рамках “Инициативы” требуется согласие всех двадцати пяти агентств-участников. Такая децентрализация, с одной стороны, способствует укреплению сотрудничества и позволяет учитывать различные аспекты рассматриваемых вопросов, а с другой стороны (это и называют в качестве одного из основ-
ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 19

ных слабых мест ННИ), имеет место определенная медлительность в принятии ключевых решений, например, по вопросам безопасности воздействия нанотехнологий на человека или окружающую среду. Более того, возникают определенные трудности распределения ответственности за конкретные действия (или бездействие) в рамках “Инициативы”. Однако эти недостатки ННИ далеко не единственные. Активная пропаганда нанотехнологий, привела к тому, что многие ученые стали цепляться за любую возможность связать свою научную деятельность с “нано”, с целью не остаться за бортом финансовой лодки. Этому же примеру последовали многие исследовательские компании и образовательные учреждения, наперебой предлагавшие лучшие программы и курсы в области нанотехнологий. И часто желание отхватить добрый кусок денежного пирога превалировало над добросовестностью исполнителя. Тем не менее, во всем этом есть и определенные положительные моменты. Масштабная рекламная компания привлекла внимание талантливой молодежи к фундаментальным исследованиям. Многие студенты мечтают стать “нанотехнологами”. Все это, в конечном итоге, может благоприятно отразиться на всей американской науке в целом.

Завершение первого десятилетия существования Национальной нанотехнологической инициативы ознаменовало необходимость усвоить уроки прошедших лет, поработать над ошибками, искоренив, основные пробелы ННИ и, самое главное, выбрать правильное направление дальнейшего развития. Первоначальный успех “Инициативы” эксперты во многом связывают с бурным развитием науки на фоне благоприятного экономического и политического климата в стране: правительство наслаждалось профицитом бюджета, а администрации Клинтона, чей президентский срок близился к завершению, хотелось сложить свои полномочия на положительной ноте. Несомненно, ННИ появилась в удобное время. Однако сейчас шумиха вокруг “нано” постепенно утихает, нет уже и прежнего ажиотажа. Хотя поддержка Вашингтона все еще сильна, теперь акценты смещаются в направлении практического применения фундаментальных разработок, полученных за последние десять лет, вопросы коммерциализации стоят особенно остро. Оптимизм конца 90-х в значительной мере сменяется изрядной долей скептицизма. Американское общество ощущает проблемы с экологией, энергетикой, здравоохранением, национальной безопасностью, нехваткой рабочих мест, наконец, с экономическим спадом. Нанотехнологии обещают красивое решение в каждом конкретном случае. Однако пока это всего лишь обещания.

М.Маслов

1. C.Lok, *Nature* **467**, 18 (2010).

КОНФЕРЕНЦИИ

**Научная сессия ОФН РАН,
Памяти В.Л. Гинзбурга,
27 октября 2010 г.**

(11-00, ФИ им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский
просп., 53, конференц-зал)

Программа

Г.А. Месяц - Вступительное слово

В.А.Рубаков - Космология и Большой андронный
коллайдер

А.В.Гуревич, Л.М.Зеленый - Интенсивные гамма-
всплески в атмосфере Земли (TGF) и миссия “Чиби́с”

М.А.Васильев - Теория высших спинов

Е.Г.Максимов - Что известно и что неизвестно о
ВТСП

В.М.Пудалов - В.Л. Гинзбург и развитие в ФИАН
экспериментальных работ по высокотемпературной
сверхпроводимости: “железные сверхпроводники”

Web: <http://www.gpad.ac.ru/>

**Научная сессия ОФН РАН, “Эволюционная
экономика и эконофизика” 2 ноября 2010 г.**
(11-00, ФИ им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский
просп., 53, конференц-зал)

Программа

В.И.Маевский (ИЭ РАН) – Переход от простого
воспроизводства к экономическому росту

А.Ю.Юданов (Финакадемия при Правительстве
РФ) – Экспериментальные данные о развитии бы-
строрастущих инновативных фирм в России

И.Г.Поспелов (ВЦ РАН) – Почему иногда удается
смоделировать экономику?

Д.С.Чернавский (ФИАН) – О теоретической эконо-
мике

М.Ю.Романовский (ОФН РАН) – Неклассические
случайные блуждания и феноменология флуктуа-
ций доходности ценных бумаг на фондовом рынке

М.М.Дубовиков, Н.В.Старченко (УК “ИН-
ТРАСТ”, МИФИ) – Фрактальный анализ финансо-
вых временных рядов и задачи прогноза

Web: <http://www.gpad.ac.ru/>

Семинар по магнетизму

19 октября 2010 г.

(17-00, ИФП им. П.Л.Капицы РАН, ул. Косыгина, 2,
конференц-зал)

Н.В.Волков - Институт физики им. Л.В.Киренского
СО РАН, г. Красноярск – “Спинтроника: магнитные
туннельные структуры на основе материалов ман-
ганитов”

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РИЦ «Курчатовский институт»

Ответственный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, А.Елецкий, М.Компан,
М.Маслов, Л.Опенов, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а