ПерсТ
Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены
http://perst.isssph.kiae.ru

Том 13, выпуск 1/2 январь 2006 г.

В этом выпуске:

НАНОСТРУКТУРЫ

Поляритонный лазер

В настоящее время существуют лазеры, основанные на излучательной рекомбинации экситонов. Частота излучения находится в резонансе с модами микрорезонатора (microcavity). Есть препятствия для практического использования подобных лазеров. В обычных материалах (например, *GaAs* и *CdTe*) энергия экситонов меньше термической энергии при комнатной температуре (0.25мэВ), приходится работать при пониженной температуре. Кроме того, современная технология не позволяет изготавливать микрорезонаторы с высокой добротностью. Для выхода из ситуации английские (Univ. Southampton) и французские (Univ. Blaise Pascal) физики [1] предлагают использовать широкозонные полупроводники (*GaN*, *ZnO, ZnSe*), а также органические материалы, в которых энергия экситонов выше, чем в используемых в настоящее время. От микрорезонаторов предлагается вовсе отказаться. Вместо них можно использовать оптические таммовские состояния. В этих состояниях электромагнитная волна распространяется вдоль границы раздела между материалами с различным показателем преломления, причем поле локализуется вблизи границы (см. рис.). Различие в показателях преломления достигается, например, разным периодом структуры. Таммовские состояния легко трансформируются в объемные электромагнитные волны. Из-за локализации они также тесно связаны с экситонами. Образуются даже особые квазичастицы, в которых замешаны экситоны (электроны и дырки) с фотонами (поляритонами).

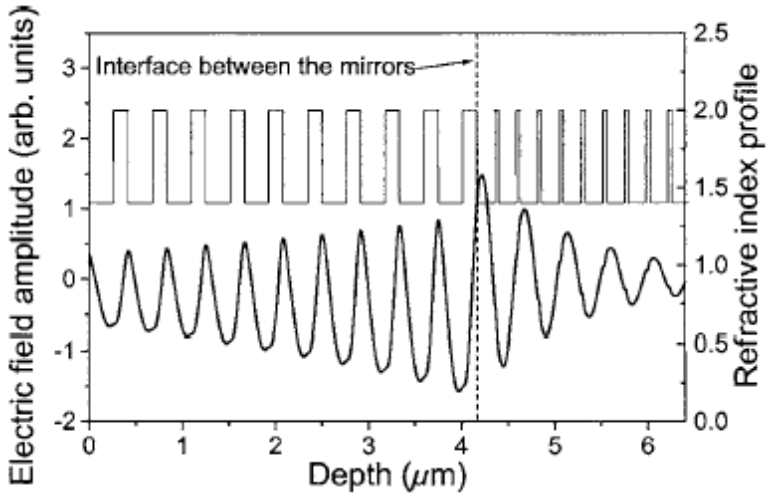


Рис. Рассчитанная амплитуда электрического поля оптического таммовского состояния вблизи границы раздела с разными показателями преломления (внизу) и профиль показателя преломления (вверху).

В.Вьюрков

1. *Appl. Phys. Lett. 2005, 87, 261105*

И далее ...

2 Биполярные транзисторы продвигаются в терагерцы

Гигантская магнитострикция

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

2 Терагерцовый лазер на нанотрубках

3 Наноконденсаторы из нанотрубок

Селективное удаление металлических однослойных нанотрубок

Хитозан защищает поверхность углеродных нанотрубок

СПИНТРОНИКА

4 Дислокации влияют на квантовое туннелирование спина. Возможен ли обратный эффект?

СНОВА К ОСНОВАМ

6 Релаксация коррелированных электронов

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

6 Квантовые репиторы для квантовых сетей

7 Многочастичная запутанность

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

8 Макроразмножение наноцентров

КОНКУРСЫ

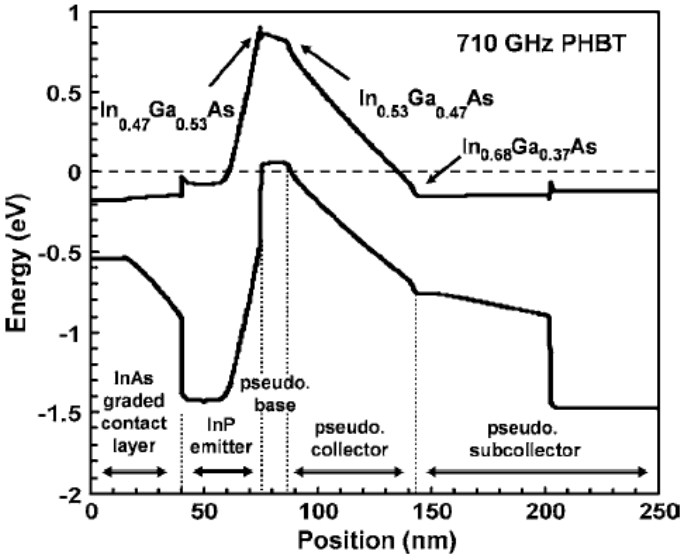
10 Новый конкурс в рамках *FP*6

10 **СЕГОДНЯШНИЕ РЕКОРДЫ**

Сверхпластичность углеродных нанотрубок при высокой температуре

Биполярные транзисторы продвигаются в терагерцы

Сотрудникам Univ. Illinois удалось увеличить частоту гетероструктурного биполярного транзистора на *InGaAs* до частоты отсечки f_T=710ГГц (частота, при которой коэффициент усиления равен 1). В транзисторе используют тонкий напряженный слой базы (12.5нм) и псевдоморфный коллектор толщиной 55нм. Увеличение частоты прежде всего связано с совершенствованием конструкции коллектора. Коллектор нельзя сделать коротким, поскольку тогда увеличивается емкость. Уменьшение времени пролета носителями коллектора уже давно является основной задачей. Пути ее решения также давно известны. При разгоне носителей в коллекторе наступает переход между Г и Х долинами, скорость резко падает из-за увеличения эффективной массы. Требуется максимально разогнать носители, но не допустить Г-Х переход. На зонной диаграмме транзистора (рис.) хорошо виден участок разгона в коллекторе и движения с постоянной скоростью. Рекорд достигнут тщательной оптимизацией состава и толщины слоев.



В.Вьюрков

1. *Appl. Phys. Lett. 2005,* ***87,*** *252109*

Гигантская магнитострикция

Сотрудники Физико-технического института им. Е.К.Завойского (Казань) обнаружили, что эффект гигантского магнетосопротивления в структурах с наноконтактами вполне может быть обусловлен магнитострикцией. Величина магнетосопротивления в подобных структурах достигает 3000% при комнатной температуре. На рис. представлено схематическое изображение структуры. Два материала, один из которых магнитомягкий, а другой – магнитожесткий, приведены в контакт. При изменении направления магнитного поля магнитомягкий материал изменяет направление намагниченности, а магнитожесткий - нет. Устройство работает как магнитный вентиль. В идеале, при параллельной намагниченности электроны свободно проходят из одного материла в другой, а при антипараллельной намагниченности это становится невозможным. В реальных контактах, естественно, не получают бесконечной величины магнетосопротивления. В контактах большой площади оно составляет всего несколько десятков процентов. Почему в контактах малой площади в сотни раз больше? Чего только не придумывали, чтобы ответить на этот вопрос.

Авторы работы показали, что магнитострикция может приводить к нарушению наноконтакта, один материал просто отходит от другого. Доклад изумил аудиторию на международной конференции “Micro- and Nanoelectronics’2005”.

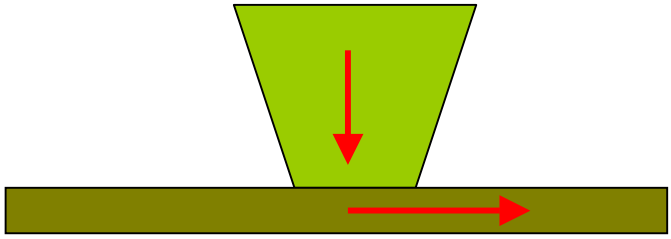


Рис. Схематический вид структуры. Стрелками указано направление протекания тока.

1. *A.Bukharaev et al. Int. Conf. “Micro- and Nanoelectronics’2005”, Zvenigorod, Book of Abstracts, p. O3-04.*

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Терагерцовый лазер на нанотрубках

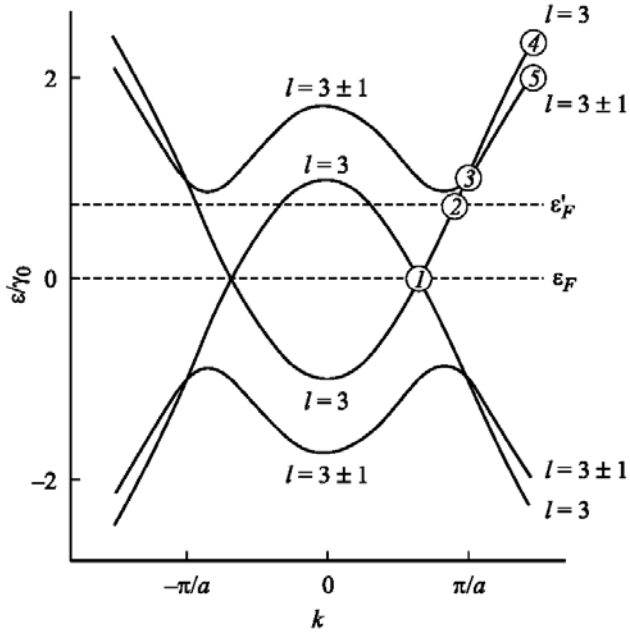


Рис. Фрагмент энергетического спектра электронов в углеродной нанотрубке с кристаллографической структурой (3,3).

Сотрудники Новосибирского государственного технического университета О.В.Кибис и Univ. Exeter (Англия) М.Е.Портной предложили делать из нанотрубок излучатель нового типа [1]. Они теоретически показали, что разогрев электронного газа электрическим по-

лем может приводить к инверсной заселенности электронных подзон и, как следствие, к излучению электромагнитных волн терагерцового диапазона частот горячими электронами.

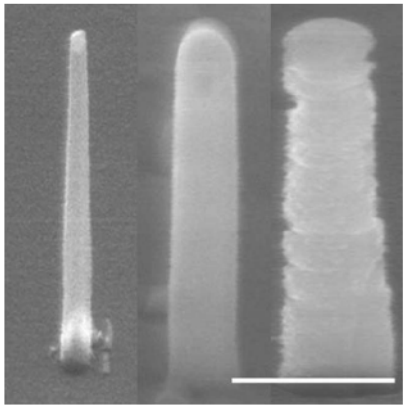
При рассмотрении существенно учитывается своеобразие зонной структуры углеродных нанотрубок. Состояние носителей в них может быть охарактеризовано непрерывным волновым вектором вдоль нанотрубки и дискретным квантовым орбитальным моментом. Есть состояния с одинаковым волновым вектором и с орбитальным моментом, отличающимся на 1. Переходы между этими состояниями могут вызывать излучение фотона, у которого спин равен 1 и пренебрежимо маленький волновой вектор. Иными словами, фотон может уносить только спин и энергию. Авторы показали, что разогрев носителей в электрическом поле может приводить к инверсной заселенности, необходимой для лазерной генерации.

В.Вьюрков

1. *Письма в ЖТФ 2005, 31, с. 85-89*

Наноконденсаторы из нанотрубок

Динамическую память с произвольным доступом (*DRAM*) используют во всех компьютерах. Сейчас она основана на планарных конденсаторах. При уменьшении их размеров уменьшается и емкость. Очевидное предложение состояло в использовании диэлектриков с большой диэлектрической постоянной (high-k) для увеличения емкости. Однако, как выяснилось, они плохо совмещаются с кремниевой технологией. Тогда для увеличения емкости было предложено использовать вертикальные структуры – кремниевые колонны, которые формируются с помощью фотолитографии и травления. Эти технологические процессы с трудом продвигаются в область наноразмеров. Новое предложение английских (Univ. Cambridge) и корейских (Sungkyunkwan Univ. и Samsung Advanced Inst.Techn.) специалистов [1] заключается в выращивании многостенных нанотрубок. Место, где им необходимо вырасти отмечается катализатором, в качестве которого предложен никель. После выращивания нанотрубки сначала покрывают диэлектриком Si_3N_4, а затем алюминием (рис.).



Слева направо: многостенная углеродная нанотрубка, выращенная в заданном месте; трубка, покрытая изолятором Si_3N_4; трубка, покрытая алюминием (шкала 500нм).

1. *Appl. Phys. Lett. 2005,* ***87,*** *263103*

Селективное удаление однослойных углеродных нанотрубок с металлической проводимостью

Существующие методы синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) позволяют получать нанотрубки различного диаметра и хиральности со значительным разбросом электронных характеристик, что затрудняет их использование в нанотехнологиях. Селективное выделение нанотрубок определенного диаметра и хиральности требует преодоления значительных технических трудностей. Один из подходов основан на неодинаковой реакционной способности по отношению к серной и азотной кислотам [1] металлических и полупроводниковых УНТ. Образец, содержащий 50мг однослойных УНТ, помещали в 50мл 97% водного раствора HNO_3/H_2SO_4 в объемном отношении 1:9, 1:3 и 1:2. Полученную суспензию размешивали при комнатной температуре в течение нескольких часов, после чего фильтровали (диаметр пор 10мкм) и многократно промывали дистиллированной водой. Затем отфильтрованный осадок просушивали и прогревали в течение 1 часа при 900°С. Обработанные образцы исследовали методами сканирующей электронной микроскопии, оптической спектрометрии, спектрометрии комбинационного рассеяния и рентгеновской фотоэлектронной спектрометрии.

Природа селективного разрушения металлических нанотрубок в растворе, содержащем смесь серной и азотной кислот, связана с интенсивной физико-химической сорбцией присутствующего в растворе иона NO_2^+ поверхностью металлических нанотрубок. Такая селективность обусловлена наличием у металлических нанотрубок электронов проводимости, которые переходят с поверхности нанотрубок к ионам NO_2^+, что способствует разрушению нанотрубок.

Сравнение рамановских спектров образцов до и после обработки указывает на практически полное исчезновение пиков вблизи 260см$^{-1}$, которые соответствуют радиальным дышащим модам однослойных УНТ диаметром ~0.95нм. В то же время спектральные особенности, характерные для полупроводниковых нанотрубок, практически не изменялись после кислотной и термической обработок. Удаление металлических УНТ кислотной обработкой неоднократно воспроизводилось на образцах из различных партий. Следует отметить, что описанный эффект наблюдается только для нанотрубок малого диаметра (менее 1.1нм).

А.В.Елецкий

1. *J. Phys. Chem. 2005,* ***B 109,*** *19242*

Хитозан защищает поверхность углеродных нанотрубок

Разработанные методы химической модификации и функционализации углеродных нанотрубок (УНТ) открыли этим материалам дорогу в биологию и медицину, см., например, [1]. Наиболее распространенный метод модификации - обработка кислотами. Однако, хотя использование сильных окислителей эффективно, оно

вводит в нанотрубки дефекты, что нежелательно, поскольку может привести к ухудшению электрических и механических свойств. Сотрудники Hong Kong Polytechnic Univ. и Shanghai Inst. Materia Medica (Китай) [2] разработали метод нековалентного модифицирования, не нарушающий исходную поверхность нанотрубок. Они применили биополимер хитозан. Схематически метод показан на рис. 1.

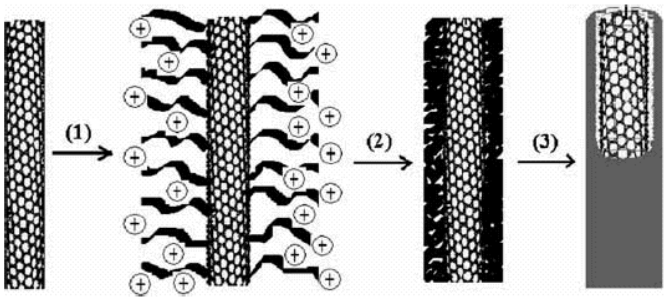


Рис. 1. Схема процесса декорирования поверхности МСНТ хитозаном.

На первом этапе 100мг многостенных углеродных нанотрубок (МСНТ) диспергировали в 100мл раствора хитозана в уксусной кислоте (*pH* = 2). Смесь подвергали ультразвуковой обработке в течение 10 мин., затем в течение часа размешивали. При этом макромолекулы хитозана адсорбировались на поверхности УНТ и действовали как полимерное катионное поверхностно-активное вещество, способное устойчиво диспергировать УНТ в кислых водных растворах.

На втором этапе в раствор по каплям добавляли разбавленный аммиачный раствор. С увеличением *pH* ионизированный хитозан деионизируется и становиться нерастворимым в водных средах, образуя покрытие на поверхности УНТ. На третьем этапе смесь нагревали до 60^0C и вводили 0.02г глутаральдегида для образования поперечных связей («сшивания») хитозана, осажденного на поверхности. Такое сшивание закрепляет покрытие на нанотрубках. Декорированные хитозаном УНТ могут быть снова растворены в кислых растворах. Морфология поверхности исходных МСНТ (a) и с поверхностью, покрытой хитозаном (c) показана на рис. 2. Видно, что поверхность исходных нанотрубок гладкая, а после декорирования на ней образуются выпуклости хитозана.

Разработанный метод использует эмульгирующую способность хитозана, его совершенно различные растворимость в кислых и щелочных водных растворах и поведение в реакции сшивания полимера. Можно надеяться, что, благодаря сочетанию уникальных свойств УНТ и биосовместимого хитозана, такие декорированные УНТ найдут широкое применение в химии, биологии и медицине как биосенсоры и поставщики генов и лекарственных средств в организм.

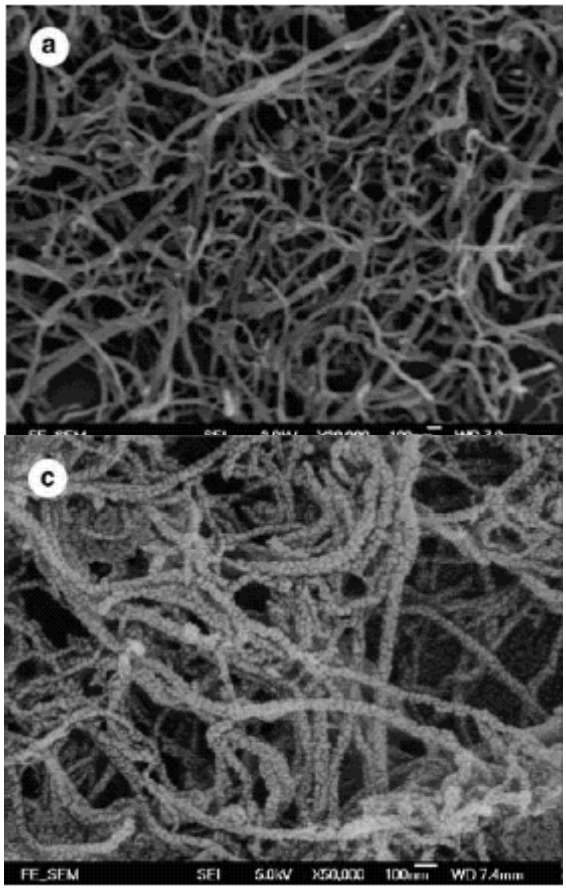


Рис. 2. Изображение в СЭМ поверхности МСНТ до (a) и после декорирования поверхности хитозаном (c).

О.Алексеева

1. *ПерсТ 2004,* ***11****, вып. 18,* *http://perst.issp.ras.ru/Control/Inform/perst/2004/4_18/index.htm*
2. *Carbon 2005,* ***43,*** *3178*

СПИНТРОНИКА

Дислокации влияют на квантовое туннелирование спина. Возможен ли обратный эффект?

Нанокластеры $Mn_{12}Ac$ и кристаллы, выращенные на основе этих высокоспиновых комплексов, интенсивно исследуют вот уже десять лет (см. например обзор [1]). За это время большинство попыток модификации кластера и достижения более-менее функциональных свойств (например, наблюдение квантового туннелирования при более высоких температурах, чем 1-2K) сводилось к химическому дизайну (или некоторые предпочитают слово «инженерии») кластера. Например, создавали и создают химические соединения, в которых кластеры соединены с донорными молекулами. Таким способом достигали переноса электрона с донорной молекулы на Mn_{12}. Однако воздействия такого рода всякий раз оказывались слишком грубыми. Ступеньки на петле магнитного гистерезиса, означающие совпадение энергий спиновых уровней с различной проекцией спина и туннелирование спина, в большинстве случаев просто исчезали после химического вмешательства. Целью же экспериментаторов было понять, как «нежным» воздействием можно модифицировать петлю гистерезиса, изменить величины резонанс-

ных полей и критической температуры упорядочения спинов внутри кластера. Как показал опыт, для этого нужно действовать более осторожно, лишь слегка меняя конфигурацию внутрикристаллических полей.

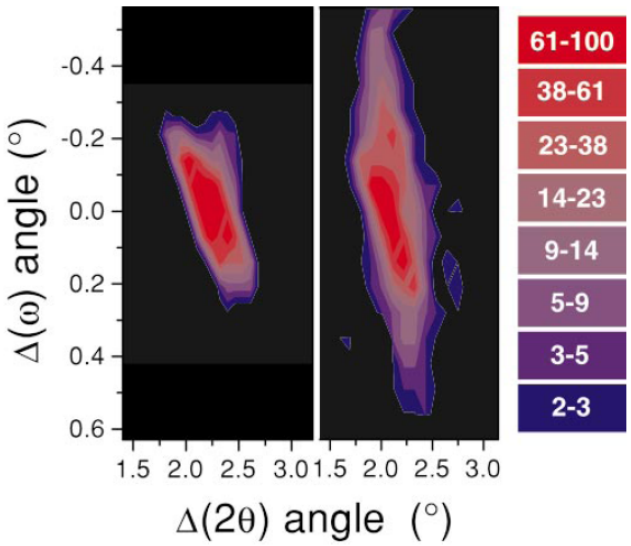


Рис.1. Рентгеновские рефлексы до (слева) и после (справа) деформации кристалла.

В [2] обнаружили, что резкое изменение температуры в СКВИД магнетометре ведет к преобразованию вида петли гистерезиса, изменению количества и величины резонансных полей. Авторы предположили, что во всем виноваты термические напряжения, которые способствуют генерации дислокаций и таким образом меняют внутрикристаллические поля и межатомные расстояния. Для проверки предположения этот же коллектив авторов произвел механическое деформирование (пластическую деформацию) кристаллов, выращенных на основе $Mn_{12}Ac$ [3]. При этом методом рентгеновской дифракции контролировали ширину рефлексов. На рис.1. показаны рентгеновские рефлексы до и после деформации кристалла. Уширение рефлекса вдоль вертикальной оси означает увеличение несовершенства кристалла.. Причиной же этого структурного беспорядка является появление дефектов – дислокаций.

На рис.2. показан спектр ЭПР – зависимость поглощаемой микроволновой мощности от магнитного поля, приложенного перпендикулярно легкой оси намагничивания кластеров в кристалле. Каждый максимум на рис. 2А соответствует хорошо известному резонансному переходу между спиновыми состояниями кластера до деформации кристалла. На рис. 2В показан спектр этого же кристалла после его деформации. Видно, что произошло удвоение каждого из резонансных максимумов. Авторы [3] предполагают, что структурный беспорядок, вызванный пластической деформацией, привел к мозаичности кристалла. Это означает, что легкая ось намагничивания различных кластеров теперь направлена хаотичным образом по отношению к внешнему магнитному полю. Это подтверждается тем, что положение вторичных пиков в спектре ЭПР совпадает со случаем, когда магнитное поле направлено вдоль легкой оси намагничивания. Авторы [3] оценили и количество дислокаций. В недеформированных кристаллах дислокации проходят через каждую из 10^4 элементарных ячеек, а в деформированных кристаллах дислокациями нарушена каждая тысячная ячейка.

Таким образом, дислокации оказались весьма деликатным инструментом для управления потенциальным барьером, разделяющим спиновые состояния кластера. В [2] установлено, что присутствие дислокаций ведет не к исчезновению петли гистерезиса, а лишь к ее модификации. Рассмотренный эффект – лишь одна сторона медали. Подвижность дислокаций и их зарождение также зависят от состояния отдельных компонентов кристаллической решетки.

Можно ожидать, что спиновые переходы внутри кластеров, вызванные приложением внешнего магнитного поля, способны изменять не только полный спин молекул, но и внутрикристаллические поля. Грубо говоря, после спинового перехода размеры кластера могут слегка меняться. Это должно приводить к изменению условий для движения дислокаций и таким образом влиять на пластичность кристаллов. Такой тип спин-зависимых магнитопластических эффектов, элементарным управляющим процессом для которых является квантовое туннелирование спина, до настоящего времени обнаружен не был.

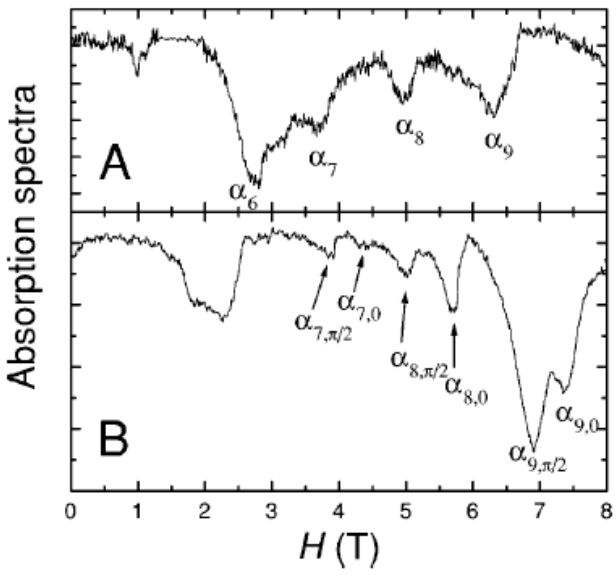


Рис. 2. Спектр ЭПР до (А) и после (В) деформирования кристалла.

Р.Моргунов

1. *D.Gattescchi, R.Sessoli, Angewandte Chemie, 2003, **42**, N3, 269*
2. *J.M.Hernandez, Phys.Rev.B, 2002, **66**, 161407(R)*
3. *R.Amigo et al., Phys.Rev.B, 2002, **65**, 172403*

СНОВА К ОСНОВАМ

Релаксация коррелированных электронов

Электрическая проводимость металлов определяется тем, насколько свободно электроны могут перемещаться по образцу. Движению электронов мешает рассеяние на колебаниях решетки (фононах), примесях и других электронах. На эксперименте наблюдаются не акты рассеяния отдельных электронов, а отклик всей совокупности подвижных носителей заряда. Этот отклик количественно определяется скоростями релаксации, которые характеризуют быстроту возврата системы в равновесие после внешнего возмущения. В простейшем случае, когда динамика всей системы обусловлена одним-единственным временем релаксации τ, частотная зависимость комплексной проводимости описывается так называемой формулой Друде $\sigma_1+i\sigma_2 = \sigma_0(1-i\omega\tau)^{-1}$. Принято считать, что эта простая формула неприменима к металлам с сильным межэлектронным взаимодействием (например, к соединениям с тяжелыми фермионами, таким как UPd_2Al_3). Однако доказать это экспериментально не удавалось из-за технических проблем при измерении проводимости на частотах ниже 30ГГц.

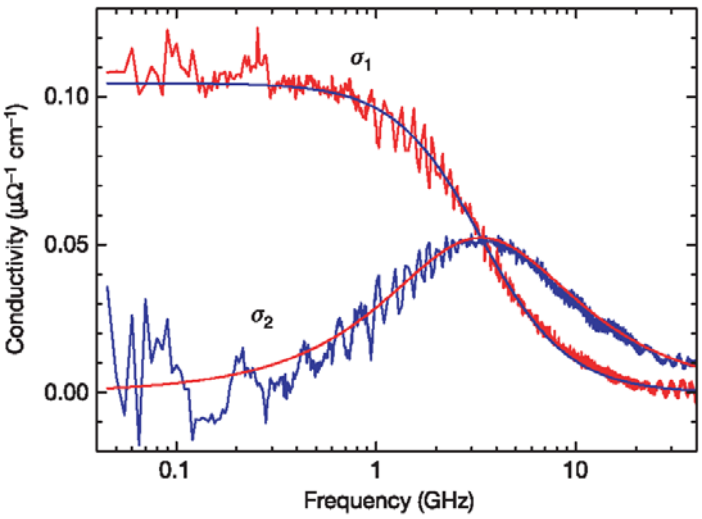


Рис.1. Частотная зависимость действительной (σ_1) и мнимой (σ_2) частей удельной электрической проводимости UPd_2Al_3 при $T = 2.75$К (эксперимент и теория).

Немецкие физики из университетов Штутгарта и Майнца, используя новый широкополосный СВЧ спектрометр, измерили комплексный коэффициент отражения тонких эпитаксиальных пленок UPd_2Al_3 и определили проводимость $\sigma_1+i\sigma_2$ при $T = (1.7 \div 300)$К в диапазоне частот от 45МГц до 40ГГц [1]. Оказалось, что экспериментальные данные отлично описываются формулой Друде (см. рис. 1). При этом величина σ_1 в низкочастотном пределе в точности совпадает со статической проводимостью, измеренной непосредственно двухконтактным методом. Единственным подгоночным параметром является время релаксации $\tau = 4.8\cdot10^{-11}$с, что по крайней мере на порядок больше известных оценок τ в соединениях с тяжелыми фермионами и на несколько порядков больше, чем в обычных металлах. Полученные результаты объясняются очень просто: скорость электрон-электронной релаксации гораздо меньше скорости рассеяния электронов на дефектах, поэтому ферми-жидкостные эффекты, обусловленные электронными корреляциями, практически не влияют на частотную зависимость электрической проводимости. Для наблюдения этих эффектов (которые приводят, в частности, к квадратичной зависимости $1/\tau$ от частоты) требуются гораздо более чистые образцы.

1. *M.Scheffler et al., Nature 2005,* ***438****, 1135*

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовые репиторы для квантовых сетей

Основная единица квантовой информации – квантовый бит (кубит) – может быть закодирована в различные состояния квантовых частиц, например, в поляризационные состояния фотонов или в спиновые состояния атомных ядер. Чтобы из кубитов можно было извлечь практическую пользу, нужно как можно лучше изолировать их от воздействия окружения, которое приводит к утрате когерентности (декогеренции) и, следовательно, к потере квантовой информации. При этом для хранения кубитов и для операций с ними удобно использовать слабо подверженные декогеренции атомы в магнитной ловушке, тогда как для переноса квантовой информации (например, между частями квантового компьютера) лучше всего подходят фотоны, которые “помехоустойчивы” и легко регистрируются. Основной вопрос здесь заключается в том, как передавать квантовую информацию от света к атомам и обратно. Другая проблема – экспоненциальное затухание светового сигнала в оптоволокне (в $\approx$ 2 раза на длине 15км и в $\approx$ 100 раз на длине 100км), что препятствует квантовой коммуникации между удаленными друг от друга пользователями. В классической оптике она легко решается с помощью репиторов, усиливающих и корректирующих сигнал. В качестве квантовых репиторов можно попытаться использовать все те же атомные системы, то есть задача опять сводится к передаче кубитов между фотонами и атомами.

В работах [1,2] две научные группы независимо друг от друга сообщили об экспериментальной реализации всей цепочки операций, необходимых для устойчивой квантовой связи: генерации единичного фотона, конвертации фотонного состояния в возбуждение атомной системы, хранении этого возбуждения и его преобразовании в новый фотон. Методика основана на эффекте индуцированной прозрачности, согласно которому фотон проходит через среду (в [1] и [2] – ансамбль атомов ^{85}Rb) при воздействии на нее вспомогательного лазерного импульса и поглощается этой средой в отсутствие импульса. Это позволяет сначала “поймать” фотон, который создает в среде коллективное делокализованное одноатомное возбуждение, а через какое-

то время (~ 1мкс в [1] и [2]) “регенерировать” его. Полученные в [1] и [2] результаты – первый шаг к регенерации не просто фотонов, а фотонных кубитов, то есть содержащейся в фотонных состояниях квантовой информации. Еще одним важным достижением на этом пути является разработка методики создания запутанного состояния пространственно разнесенных атомных ансамблей: в статье [3], опубликованной в том же номере журнала “Nature”, что и работы [1,2], сообщается о “перепутывании” двух систем из ~ 10^5 атомов, удаленных друг от друга на 2.8м.

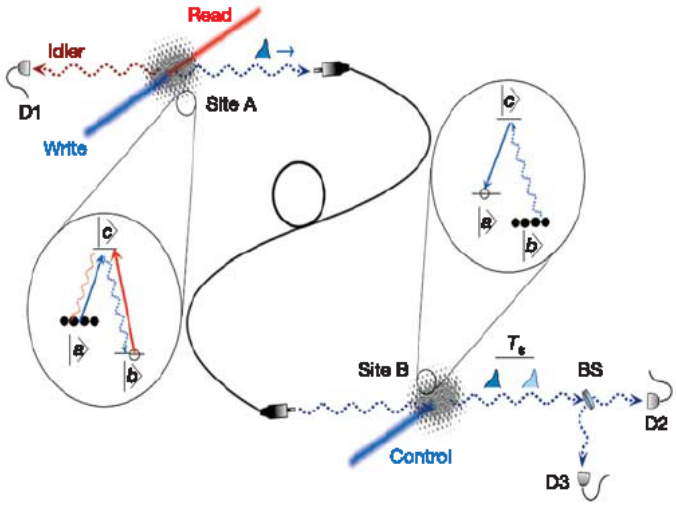


Рис.1. Схема эксперимента по генерации, передаче, хранению и восстановлению однофотонного возбуждения (из статьи [1]).

1. *T.Chaneliere et al., Nature 2005, **438**, 833*
2. *M.D.Eisaman et al., Nature 2005, **438**, 837*
3. *C.W.Chou et al., Nature 2005, **438**, 828*

Многочастичная запутанность

Возможность существования так называемых “запутанных” состояний квантовых объектов – одно из удивительных следствий квантовой механики. Большое внимание сейчас уделяется разработке методов генерации таких состояний и манипуляции ими с целью практического использования запутанности. Даже если запутанные частицы “физически” не взаимодействуют друг с другом, они не являются независимыми друг от друга и описываются общей волновой функцией. Однако экспериментальная реализация запутанных состояний и исследования их свойств становятся все более и более сложными по мере увеличения числа частиц N в системе. Основная трудность здесь заключается в манипулировании и регистрации состояний отдельных частиц в запутанном многочастичном ансамбле, а также в контроле межчастичных взаимодействий. Максимум, что удалось достичь к настоящему времени – это перепутать N = 4 иона [1] и N = 5 фотонов [2]. Среди различных типов запутанных многочастичных состояний два представляют особый интерес: так называемые “W-состояние” |W⟩ и “состояние шредингеровского кота” |Cat⟩. Если каждая частица может находиться в двух базисных состояниях, |S⟩ и |D⟩, то |W⟩ = (|DD … DDS⟩ + |DD … DSD⟩ + … +|SD … DDD⟩)/$N^{1/2}$ и |Cat⟩ = (|DD … DD⟩ + |SS … SS⟩)/$2^{1/2}$. W-состояния отличаются высокой устойчивостью и “выживают” даже при потере одной или нескольких частиц. Они рассматриваются в качестве основного ресурса для систем обработки квантовой информации и квантовой связи. Состояния |Cat⟩ – суперпозиции двух “максимально различающихся” состояний системы – могут оказаться полезными не только при квантовых вычислениях, но и, например, в интерферометрии – для увеличения отношения сигнал/шум. Они также играют большую роль в различных тестах по проверке квантовой механики.

В работе [3] австрийской группы сообщается об успешном конструировании W-состояний из N = 4, 5, 6, 7 и 8 ионов $^{40}Ca^+$ в магнитной ловушке. Роль базисных состояний |S⟩ и |D⟩ играли основное ($S_{1/2}$) и метастабильное возбужденное ($D_{5.2}$, время жизни ≈ 1 с) состояния каждого иона. Индивидуальная адресация ионных кубитов осуществлялась путем индуцирования квадрупольных переходов |S⟩ ↔ |D⟩ сфокусированным лазерным пучком с λ = 729нм. После приготовления (за время ≈ 1мс) W-состояния определение его характеристик проводилось с использованием селективной флюоресценции. При всех N = 4 ÷ 8 матрица плотности разлагалась по базису наблюдаемых, после чего измерялись соответствующие ожидаемые величины. Всего было использовано 3^N различных базисов, и для каждого из них выполнено не менее 100 измерений. После набора большой статистики (например, при N = 8 полное число измерений превысило 656 тысяч за время ≈ 10 часов) были реконструированы матрицы плотности W-состояний (см. рис.1). Точность их определения (fidelity) составила F =0.85, 0.76, 0.79, 0.76 и 0.72 для N = 4, 5, 6, 7 и 8 соответственно. Запутанный характер приготовленных в [3] W-состояний подтверждается, в том числе, запутанностью всех возможных редуцированных двухчастичных матриц плотности. Существенно, что причины некоторого отклонения от “идеальной запутанности” не являются фундаментальными, а носят чисто технический характер и в принципе могут быть преодолены.

Практически одновременно с работой [3] сотрудники Национального института стандартов и технологии (Боулдер, США) сообщили о создании состояний |Cat⟩ из $N \le 6$ атомных кубитов с базисом из сверхтонких уровней ионов $^9Be^+$ в магнитной ловушке [4]. Для генерации этих состояний использовали соответствующие последовательности лазерных импульсов, а для доказательства их когерентного характера – эффект флюоресценции после “декодировки” путем специальной операции, зависящей от фазы (рис.2). Величина F оказалась достаточно низкой (0.76, 0.60 и 0.51 для N = 4, 5 и 6 соответственно). Это связано с

тем, что состояния |Cat⟩ гораздо сильнее подвержены декогеренции, чем W-состояния. Основной причиной декогеренции является спонтанная эмиссия. Зато состояния |Cat⟩ могут быть использованы для приготовления белловских состояний любой пары кубитов, что делает их незаменимыми в квантовой криптографии.

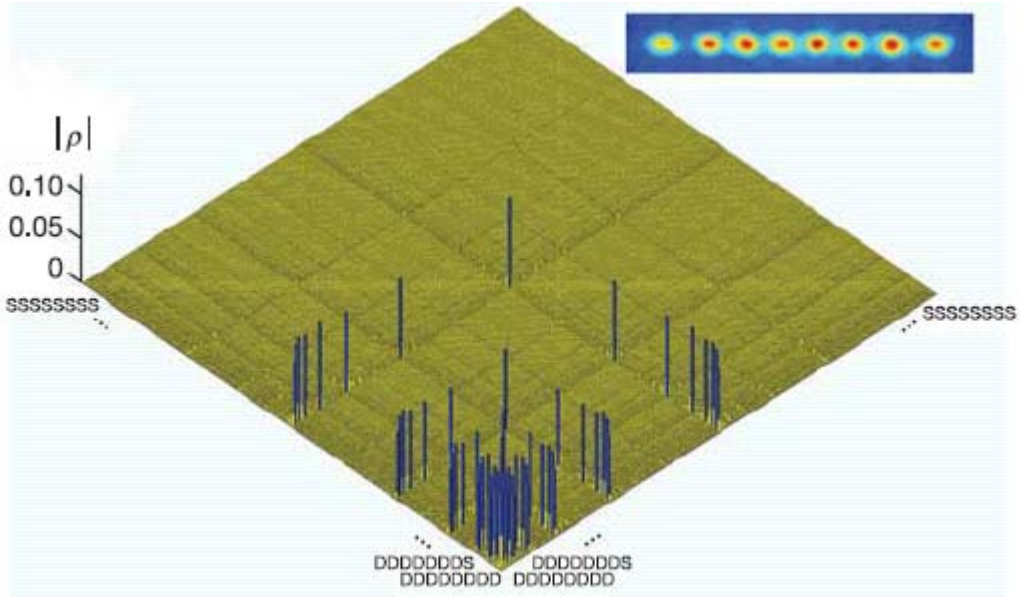


Рис.1. Абсолютные величины элементов реконструированной матрицы плотности *W*-состояния при *N*= 8 [3].

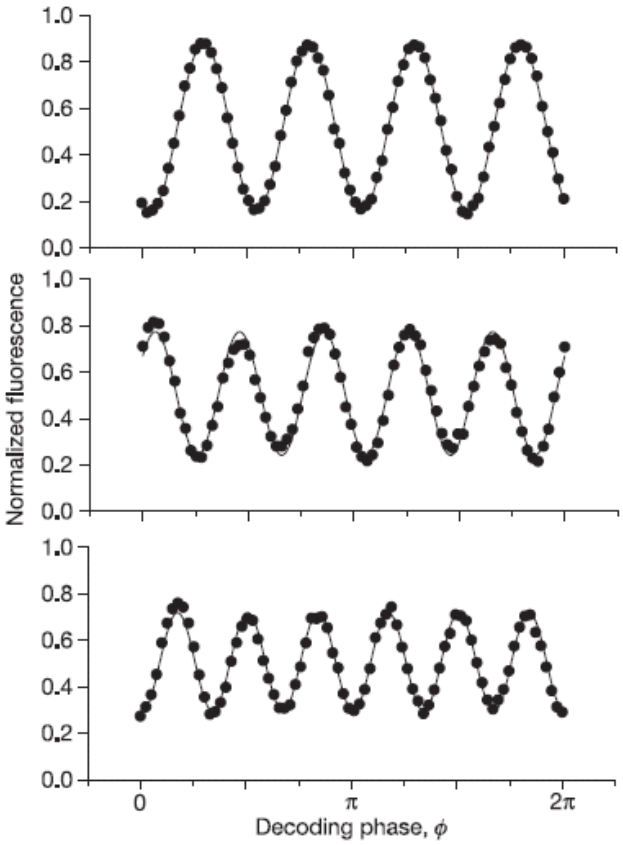


Рис.2 Демонстрация когерентности состояний |Cat⟩ с *N* = 4, 5, 6 (сверху вниз) [4].

Авторы работ [3] и [4] подчеркивают, что использованные ими методики в принципе могут быть расширены на системы из гораздо большего числа кубитов.

1. *C.A.Sackett et al., Nature 2000,* ***404****, 256*
2. *Z.Zhao et al., Nature 2004,* ***430****, 54*
3. *H.Haffner et al., Nature 2005,* ***438****, 643*
4. *D.Leibfried et al., Nature 2005,* ***438****, 639*

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Макроразмножение наноцентров

Азия. До сих пор, говоря о нанотехнологиях в Азии, имеют в виду нанотехнологию в Японии. Сейчас же за Японией устремились Южная Корея, Сингапур, Тайвань, Индия и особенно активно Китай. Правительства этих стран, осознавшие потенциал нанотехнологии, финансово обеспечивают прорыв. Так, Южная Корея планирует затратить 2.6 млрд. долл. к концу первого десятилетия нового столетия. Расходы Тайваня к 2008 г. составят 630 млн. долл. Поражает широкий размах инициатив в современной нанотехнологии в Гонконге - израсходовав более 50 млн. долл., Университет в Гонконге создал «Научно-исследовательский центр нанотехнологии и новейших материалов». Из бюджета выделено еще 35 млн. долл. на поддержку центра. На предстоящие 5 лет в Китае приняты 75 проектов по нанотехнологиям. В Азии явно обозначился сдвиг от фундаментальных исследований нанотехнологий к прикладным [1].

Европа. Для удержания передовых позиций в нанотехнологии, Европейская комиссия одобрила документ «Нанонауки и нанотехнологии: план действий в Европе на период 2005-2009», в котором определены цели и стратегии исследований, разработок и «новотворчества», обозначены человеческие ресурсы, инфраструктура, производственные инновации, международное сотрудничество и пакет социальных вопросов [2].

Нанофорум, представляющий собой пан-европейскую нанотехнологическую сеть, финанси-

руемую Евросоюзом, опубликовал свое очередное сообщение «Европейские нанотехнологические инфраструктура и сети» [3,4], в котором перечислены научные и технические наноцентры и сети, созданные в странах Евросоюза и ассоциированных членов:

- 240 центров в 28 странах открыты внешним пользователям для работы на технологическом и аналитическом оборудовании;
- 16 центров классифицируются как крупнейшие исследовательские инфраструктуры Евросоюза, они имеют крупномасштабные технологические средства (чистые комнаты и разнообразное оборудование), рабочий персонал для проведения научно-исследовательских работ, передачи технологии и обучения и многомиллионные (в евро) ежегодные бюджеты;
- 143 сети, которые поддерживают сотрудничество и информационный обмен между участниками в 23 странах Евросоюза и в ассоциированных членов;
- национальные сети в Германии, Великобритании, Франции, Голландии и Польше.

Федеральное министерство образования и исследований в Германии финансирует разработку наноэлектроники, предназначенной для повышения безопасности автомобилей. Проекты «*KASS*» и «*AUTOSAFE*» получат 11.4 млн. евро на 3 года на разработку «виртуального водителя», который придет на помощь реальному водителю в критических ситуациях. Предполагается разработка полупроводниковых технологий для новых наноэлектронных трехмерных чипов. Кроме ведущих полупроводниковых фирм в проектах будут участвовать ф. Porsche и государственные исследовательские институты. Министерство объявило также о вложении 3 млн. евро в проект NanoMobil, нацеленный на проектирование более эффективных автомобилей - безопасных, комфортных, щадящих окружающую среду. В поддержку проекта планируется открыть 18 междисциплинарных исследовательских проектов, в которых будут задействованы НИИ, автопроизводители и поставщики авточастей. Общий объем инвестирования составит 70 млн. евро [4].

Univ. Duisburg–Essen (Германия) учредил Центр наноинтеграции (*CeNIDE* – "Center for Nanointegration Duisburg–Essen") для усиления эффективных связей между учеными и разработчиками в области нанотехнологий – от химии и физики к инженерам-электрикам и инженерам-механикам. Основные задачи Центра – производство наночастиц, наномагнетизм, полупроводниковые наноструктуры, трение и рассеяние, а также катализ и сенсоры на наношкале.

Институт нанотехнологии в Великобритании опубликовал сообщение «Нанотехнология в Великобритании в 2005 г.: исследования, применения и рынки», в котором впервые приведены все виды работ, ведущиеся в нанотехнологии: от фундаментальных исследований до применения в промышленных отраслях, а также приводится информация о том, как и где правительство продвигает и поддерживает нанотехнологию. Перечислены по регионам все фирмы, академические и отраслевые институты, работающие в нанотехнологической области. Завершает сообщение подробный глоссарий всех нанотехнологических организаций и учреждений в мире и Великобритании: крупные промышленные фирмы, малые и средние предприятия, университеты и институты, а также консультанты и аналитики [6].

В октябре 2005 г. в Италии начал работать нанотехнологический завод Nanofab, вошедший как опытное производство в Венецианский научно-технологический парк (*VEGA*). Nanofab был построен совместными усилиями *VEGA* и ассоциацией университетов Падуи, Венеции и Вероны. Деньги на строительство в размере 20 млн. евро были выделены правительствами Евросоюза, Италии и Венецианского региона. Основная задача – передача нанотехнологий в промышленное производство [5].

США. Национальный научный фонд США предоставит 7.5 млн. долл. на ближайшие 6 лет новому центру по исследованию физико-химических явлений на границе раздела наноструктур, объединяющему усилия Yale Univ., Brookhaven Nat. Lab. и Southern State Univ. Первоочередная задача центра – исследование электронных, магнитных и химических свойств материалов на основе сложных оксидов и их границ раздела. Результаты исследования будут использоваться при разработке магнитной памяти, элементов спинтроники и химических сенсоров.

Институт нанотехнологического прогнозирования и Batelle (организация, отслеживающая мировые научные и прикладные разработки) завершают разработку маршрутной технологической карты по промышленным наносистемам, заказ на которую получен от фонда Waitt Family Foundation и подкреплен грантом в размере 250 тыс. долл. Маршрутная карта должна стать путеводителям: в разработке молекулярных систем – от новых полезных материалов и наноприборов до их применения в наносистемах. Завершить работу над маршрутной картой планируют в конце 2006 г.

Важным разделом пятилетнего нанотехнологического проекта Национального онкологического института США с бюджетом 144.3 млн. долл станут онкологические исследования. В течение первого года реализации проекта будут созданы 7 онкологических центров, которые на нанотехнологическом уровне будут заниматься исследованиями, лечением, мониторингом и диагностикой онкологических заболеваний. На

создание центров планируется выделить дополнительно 26.3 млн. долл.[4].

Cientifica, ведущая в мире информационная компания в области нанотехнологий, опубликовала исчерпывающий обзор «Нанотрубки для энергетического рынка» с анализом рынка и последствий внедрения углеродных наноструктур в устройства хранения энергии [5]. Подробно рассматриваются достижения и прогнозы в характеристиках, стоимости и объемах продаж различных нанотрубок. В обзоре отмечается, например, что половина произведенных на сегодняшний день *Si* батарей содержит нанотрубчатые волокна, увеличивающие их энергетическую емкость, и прогнозируется, что к 2020 г. эта цифра достигнет 85%. Кроме того, ф. Cientifica прогнозирует, что в течение 5 лет процент топливных элементов, использующих многостенные нанотрубки, поднимется до 70. Это приведет к общему удешевлению топливных ячеек на рынке, так как стоимость изготовления нанотрубок за это время уменьшится в 10-100 раз. Массовое производство углеродных нанотрубок передвинется из США и Японии в Китай и Корею, а последняя станет основным поставщиком всех видов нанотрубок.

Л.Журавлева

1. *small 2005, **1**, No. 10, 916*
2. *small 2005, **1**, No. 8-9, 778*
3. *small 2005, **1**, No. 11, 1028*
4. *small 2005, **1**, No. 12, 1144*
5. *small 2005, **1**, No. 7, 680*

КОНКУРСЫ

Новый конкурс в рамках FP6

Еврокомиссия запускает новый специальный конкурс по поддержке участия организаций из третьих стран в Шестой рамочной программе. К категории третьих стран, в частности, относятся Россия и другие страны СНГ.

Предполагаемая дата закрытия конкурса – **15.05.06 г.;** бюджет - 20 млн. евро.

Руководство для участников конкурса находится в процессе подготовки.

Некоторые уже известные условия конкурса:

- конкурсом будут охвачены практически все тематические направления 6 рамочной программы, в частности, третий тематический приоритет "Нанотехнологии и нанонауки, интеллектуальные многофункциональные материалы, новые устройства и производственные процессы"; возможно присоединение к проектам, уже идущим или находящимся на стадии переговоров с Еврокомиссией на предмет подписания контракта;
- проект, представляемый на конкурс, подписывается координатором идущего проекта и, по крайней мере, одним партнером из третьих стран;
- в конкурсе могут участвовать проекты, до окончания которых остается 18 месяцев;
- возможен пересмотр соглашения по консорциуму в связи с включением в него новых членов;
- в модифицированном «Руководстве по оценке проектов» будет предложено ограниченное количество критериев оценки проектов.

По любым вопросам, касающимся будущего конкурса, можно обращаться в Национальный контактный центр (НКЦ).

Контактное лицо: Мелконян Марина Карапетовна - ученый секретарь проекта

Тел. +7(495)135-62-40;

e-mail: fp6-nano@ns.crys.ras.ru

Web НКЦ http://www.fp6-nano.com

СЕГОДНЯШНИЕ РЕКОРДЫ

Сверхпластичность углеродных нанотрубок при высокой температуре

Удлинение одностенных углеродных нанотрубок (*SWCNT*) может достигать 280% при их нагревании до ~ 2000°C электрическим током. Диаметр нанотрубок уменьшается в 15 раз (в эксперименте от исходных 12 до 0.8нм). Эффект сверхпластичности может быть полезен при использовании *SWCNT* в качестве упрочняющей добавки в керамике и других нанокомпозитах для высокотемпературных применений.

Авторы

J. Y. Huang, S. Chen, Z. Q. Wang, K. Kempa, S. H. Jo, Z. F. Ren (Boston College)

Y. M. Wang (Lawrence Livermore Nat. Lab.)

G. Chen, M. S. Dresselhaus (Massachusetts Inst. Technology)

*Nature, 2006, **439**, 281*

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РНЦ «Курчатовский институт» при поддержке
Программы Президиума РАН «Информатизация»

Редактор: С.Корецкая тел: (095) 930 3389, e-mail: stk@issp.ras.ru

Научный консультант: К.Кугель e-mail: kugel@orc.ru

В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, А.Елецкий, В.Вьюрков, Л.Журавлева, Ю.Метлин, Р.Моргунов, Л.Опенов

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Н.Морозова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64[а]