

В этом выпуске:

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ**Ключ на весь мир**

Новый год Phys. Rev. Lett. открыл сообщением [1] о существенном продвижении в области квантовой коммуникации. Большая международная группа ученых (Max Planck Inst. Quant. Optics и Ludwig Maximilians-Univ. (Германия); Univ. Vienna и Inst. Quant. Optics&Quant. Information (Австрия); Europ. Space Agency (Голландия); Natl. Univ. Singapore (Сингапур); Univ. Bristol (Великобритания)) передала секретный ключ по открытому пространству между двумя Канарскими островами на расстояние 144 км. Это расстояние уже дотягивает до спутника на низкой орбите, с помощью которого можно потом передать этот ключ в любую точку Земли, находящуюся под его орбитой. Скорость передачи составляет 12.8 бит/сек при затухании в канале 35 дБ. Такая скорость, конечно, слишком мала для передачи информации большого объема, но для передачи секретного ключа годится. В современной системе секретной коммуникации ключом является некое большое простое число, которое надо каким-то особым способом передать получателю (это и есть самое уязвимое место в методе). После этого, пока не созданы квантовые компьютеры, информация передается по открытым каналам связи в виде ряда чисел, которые являются произведением числа-ключа на другое большое простое число. Авторы эксперимента реализовали предложенный в 1984 г. протокол Беннета-Брассара (BB84) для однофотонной коммуникации. Этот протокол учитывает наличие реального затухания в каналах связи. Никакая коммуникация, в том числе и квантовая, не исключает возможность подслушивания. Однако только квантовая коммуникация позволяет надежно определять факт подслушивания. В частности, протокол BB84 позволяет отличить естественное затухание (пропадание фотонов в канале) от пропадания фотонов в результате подслушивания. Этот метод был модифицирован на основе протокола «decoy» (приманка), который предложил американский ученый W.-Y. Hwang (Northwestern Univ.) [2] в 2003 г. Законные пользователи сети намеренно случайным образом подменяют полезные импульсы многофотонными сигналами (decoy pulses). Если затухание этих обманных импульсов в сети окажется существенно меньше, чем у полезных импульсов, это и будет означать присутствие подслушивания. Для связи использовали слабые лазерные импульсы со средним числом фотонов в импульсе, равным 0.3. Хотя существуют идеальные однофотонные источники на квантовых точках, такие фотоны хорошо распространяются только в оптоволокне, что очень дорого для организации связи на большие расстояния. Надо еще учесть, что из-за затухания в оптоволокне через каждые 100 км необходимо ставить секретные промежуточные пункты, которые гораздо более доступны для разведки, чем спутник.

В. Вьюков

1. T. Schmitt-Manderbach et al. Phys. Rev. Lett., **98**, 010504 (2007)
2. W.-Y. Hwang Phys. Rev. Lett. **91**, 057901 (2003)

И далее ...

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 2 Одна щель или две?

**ФУЛЛЕРЕНЫ И
НАНОТРУБКИ**

- 3 Квазичастицы в графене
- 4 Водород в наноструктурах? Ищем!
- 5 Массив сверхдлинных углеродных нанотрубок

Эмиссия электронов охлаждает нанотрубку

СНОВА К ОСНОВАМ

- 6 Бозевский конденсат при комнатной температуре
- Сверхтекучесть фермионов в оптической решетке

**ФИНАНСИРОВАНИЕ И
РЫНОК**

- 8 Стартует FP7

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

- 9 Это сладкое слово «нано»

10 КОНФЕРЕНЦИИ

10 - 17 March 2007. NanoTech Insight. Luxor, Egypt.

1–6 октября 2007. Крым, Украина. Международная конференция «Функциональные материалы»

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Одна щель или две?

Металлы становятся сверхпроводящими, когда их свободные электроны связываются в куперовские пары, причем делают они это таким образом, что волновые функции всех пар имеют одну и ту же фазу. Фазовая когерентность ответственна, в частности, за обращение сопротивления в нуль при охлаждении ниже критической температуры T_c , а наличие в сверхпроводнике связанных пар приводит к появлению в спектре квазичастичных возбуждений щели, которая регистрируется различными спектроскопическими методами. В обычных низкотемпературных сверхпроводниках фазовая когерентность пар устанавливается практически одновременно с их образованием, поэтому и сопротивление исчезает при $T = T_c$ одновременно с возникновением щели в спектре.

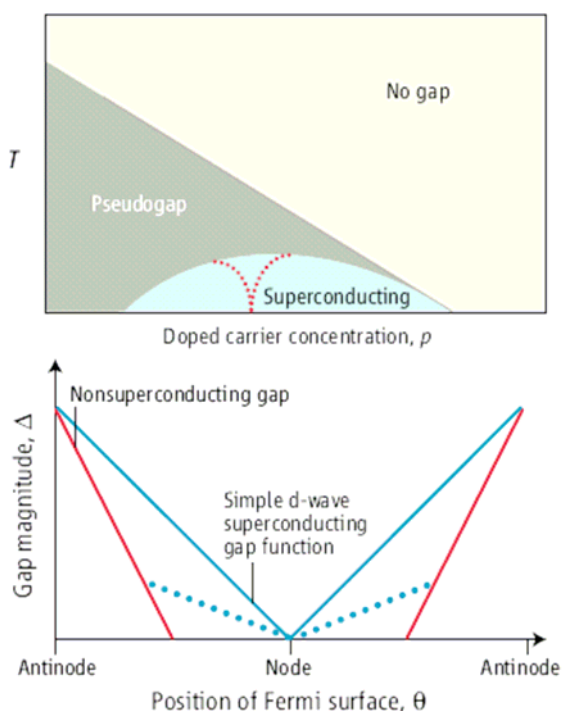


Рис. 1. Вверху – схематическое изображение фазовой диаграммы ВТСП в координатах концентрация носителей p – температура T . Области сверхпроводящей и псевдощелевой фазы изображены синим и коричневым цветом соответственно. Красная пунктирная линия – граница сверхпроводящей области в $La_{1.875}Ba_{0.125}CuO_4$ по данным работы [2]. Внизу – зависимость величины щели Δ на поверхности (контуре) Ферми от угла θ между направлением квазиимпульса и связью $Cu-O$ ($\Delta = 0$ при $\theta = \pi/4$). Сплошная синяя линия – для сценария с единственной сверхпроводящей щелью [2,4]; пунктирная синяя и красная линии – сверхпроводящая и несверхпроводящая щель, соответственно, для сценария с двумя щелями [1,3].

По-другому обстоят дела с высокотемпературными сверхпроводниками (ВТСП), где щель сохраняется и в отсутствие фазовой когерентности, то есть в несверхпроводящих образцах (рис. 1). Такая щель называется *псевдощелью*. Ее происхождение до сей поры остается предметом горячих

дебатов. Согласно одной точке зрения, псевдощель обусловлена наличием связанных, но не когерентных пар, то есть фактически является предвестником сверхпроводимости. Сторонники альтернативной интерпретации считают, что псевдощель появляется из-за близости ВТСП к какому-то несверхпроводящему (возможно, магнитному) состоянию, которое конкурирует со сверхпроводящим. Соответственно этим двум сценариям, в ВТСП одновременно может быть либо только одна щель (сверхпроводящая или псевдощель), либо сразу обе. Попытки экспериментального разрешения этой дилеммы осложняются сильной анизотропией сверхпроводящей щели, равной нулю в "узлах" и максимальной в пучностях ("антиузлах") (рис. 1). Поскольку большинство spectroграфических методик дают информацию либо о максимальной величине щели, либо о ее среднем значении, то различить большую несверхпроводящую щель в антиузловой области и маленькую сверхпроводящую щель на остальной части поверхности Ферми (рис. 1) очень трудно. Атомный беспорядок и конечная температура лишь усугубляют ситуацию, приводя к размытию щелевых особенностей на спектрах.

В последнее время значительную часть экспериментальных затруднений удалось преодолеть сразу нескольким группам [1-4]. Каков же оказался результат? В работе [1] были измерены фотоэмиссионные спектры $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_8$ с угловым разрешением. Вывод: в недодопированных сверхпроводящих образцах есть две разные щели (красная и пунктирная синяя линии на нижней части рис. 1), а полная щель представляет собой их сумму. Авторы [2] использовали эту же методику (в комбинации со сканирующей туннельной микроскопией) для исследования системы $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ с $x \approx 0.125$ (при этой величине x сверхпроводимость подавляется дальним антиферромагнитным и зарядовым упорядочением, см. верхнюю часть рис. 1). Вывод: одна щель (либо сверхпроводящая, либо диэлектрическая, но и та, и другая – с d -волновой симметрией). В работе [3] представлен детальный анализ рамановских спектров монокристаллов $HgBa_2CuO_{6+\delta}$ с различным уровнем допирования. Вывод: две щели. Авторы [4] исследовали теплопроводность $Tl_2Ba_2CuO_{6+\delta}$ с разными δ при сверхнизких температурах. Вывод: одна щель.

Чему же верить? Известному теоретику А. J. Millis'у [5] из Columbia Univ. (США) наиболее достоверными представляются результаты работы [2], подтверждающие, по его мнению, факт существования (при определенном уровне допирования) несверхпроводящего состояния со спаренными электронами, которое либо сосуществует с антиферромагнетизмом, либо само является антиферромагнитным. Так может, это и есть то самое "новое состояние вещества", о котором так много говорят в последние годы в связи с ВТСП? Как бы то ни было, а от тщательного "разбора полетов" и вы-

яснения причин диаметрального расхождения выводов разных авторов все равно не уйти...

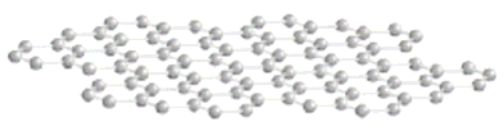
Помимо сверхпроводящей щели и псевдощели, о которых шла речь в этой заметке, есть еще одна щель – в понимании природы высокотемпературной сверхпроводимости. И она исчезнет лишь тогда, когда наши знания о ВТСП достигнут критического уровня, достаточного для осмысления огромного количества экспериментальных данных с единой точки зрения.

Л. Опенов

1. K.Tanaka et al., *Science* **314**, 1910 (2006)
2. T.Valla et al., *Science* **314**, 1914 (2006)
3. M. Le Tacon et al., *Nature Phys.* **2**, 537 (2006)
4. D.G.Hawthorn et al., *cond-mat/0502273*
5. A.J.Millis, *Science* **314**, 1888 (2006)

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Квазичастицы в графене



Открытие сверхпроводимости в легированных щелочными металлами фуллеритах [1], углеродных нанотрубках [2] и интеркалированных соединениях графита [3] стимулировало интерес физиков к влиянию многочастичных взаимодействий на динамику электронов в этих материалах. Поскольку основой всех перечисленных систем является графен – моноатомный слой из атомов углерода – то он рассматривается как простейшая модельная система для изучения особенностей их электронных характеристик. Разработка методик изготовления графеновых слоев [4,5] делает возможным всестороннее исследование физических свойств графена.

В одночастичном приближении зонная структура графена может быть описана в рамках простой модели сильной связи с учетом одной π -орбитали на каждом атоме углерода. Эта модель предсказывает, что законы дисперсии $E(p_x, p_y)$ в валентной зоне и в зоне проводимости имеют форму конусов (а не параболоидов, как в металлах и полупроводниках). В импульсном пространстве вершины этих конусов совпадают в точке, отвечающей энергии E_D , которая в недопированном графене представляет собой энергию Ферми E_F . В силу линейной (а не квадратичной) зависимости $E(p)$ носители заряда в графене являются безмассовыми частицами, подобно дираковским фермионам, за тем лишь отличием, что их скорость $c^* = dE/dp$ меньше скорости света c в ≈ 300 раз. Такова одночастичная картина. А к чему приведут межчастичные взаимодействия?

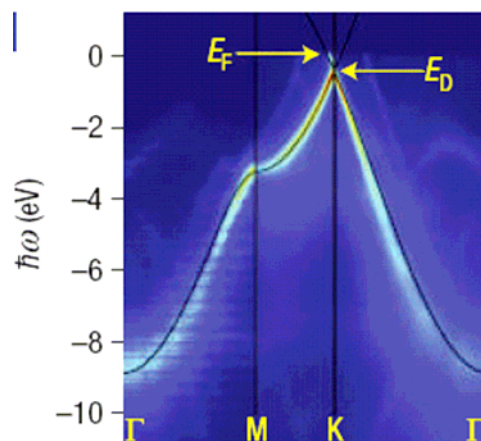


Рис. 1. Закон дисперсии в графене. Одночастичная теория (сплошная линия) и данные ARPES. По горизонтали – волновой вектор вдоль некоторых направлений зоны Бриллюэна. По вертикали – энергия в электронвольтах.

Для исследования электронной структуры монослоя графена, выращенного на поверхности (0001)SiC, американские (Advanced Light Source, LBNL, Berkeley) и немецкие (Fritz-Haber-Inst. и Univ. Erlangen) специалисты использовали фотоэмиссионную спектроскопию с угловым разрешением (ARPES) [6]. В целом экспериментальные данные хорошо согласуются с одночастичной моделью (рис. 1). Единственными подгоночными параметрами при этом являются матричный элемент перескока электронов между соседними атомами углерода $t = 2.82\text{эВ}$ и сдвиг E_F на 0.45эВ выше E_D , вызванный допированием графена электронами, перешедшими в него из SiC. Однако детальный анализ показал, что закон дисперсии вблизи E_D отличается от линейного и на нем имеются особенности (одна вблизи E_F , как в обычных металлах, а другая вблизи E_D), называемые "кинками" (рис. 2).

Авторы [6] изучили характер изменения этих особенностей при допировании (за счет адсорбции калия), а также нашли собственную энергию квазичастиц Σ из данных ARPES. Так как мнимая часть Σ обусловлена затуханием квазичастиц, то для определения относительного вклада в затухание от различных каналов рассеяния были рассчитаны скорости релаксации квазичастиц за счет 1) электрон-фононного взаимодействия; 2) генерации электрон-дырочных пар; 3) эмиссии плазмонов. Суммарная скорость релаксации как функция энергии квазичастиц $\hbar\omega$ почти совпала с экспериментальной зависимостью $\text{Im}(\Sigma)$ от $\hbar\omega$. Выяснилось, что при $\hbar\omega < 0.5\text{эВ}$ основной вклад в затухание дают фононы, при $0.5\text{эВ} < \hbar\omega < 1.5\text{эВ}$ – плазмоны, а при $\hbar\omega > 1.5\text{эВ}$ – электрон-дырочные возбуждения. Из этого было сделано заключение о фононной природе кинка вблизи E_F и о причастности плазмонов к появлению кинка вблизи E_D (рис. 2). Интересно, что расчетная величина константы электрон-фононного взаимодействия $\lambda \approx 0.3$ оказалась в 5 раз больше предсказанной для графена ранее. Но именно при такой величине λ имеет место количественное совпадение

теоретического закона дисперсии с экспериментальным (подробнее см. [6]).

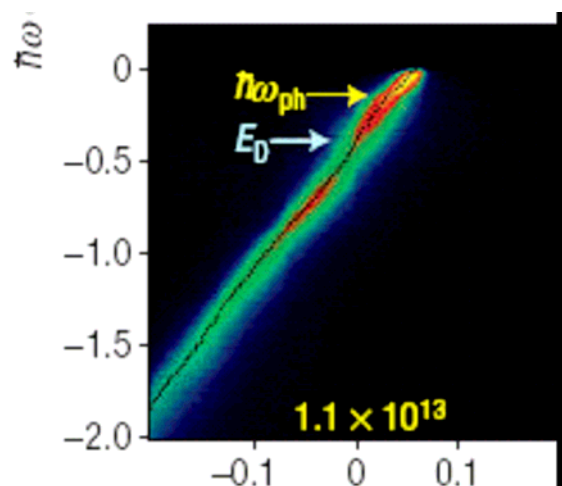


Рис. 2. Закон дисперсии в графене вблизи уровня Ферми. Данные ARPES. По горизонтали – волновой вектор вдоль направления *M-K* в обратных ангстремах. По вертикали – энергия в электронвольтах

Основной вывод, сделанный в [6], заключается в том, что в графене квазичастичная картина справедлива в очень широком диапазоне энергий возбуждения, но для детального понимания динамики квазичастиц в графене и всех родственных ему материалах необходимо (особенно при слабом допировании) на равных основаниях учитывать взаимодействия электронов с фононами, плазмонами и другими электронами, включая возможные эффекты "интерференции" этих взаимодействий.

Л. Опенов

1. A.F. Hebard et al., *Nature* **350**, 600 (1991)
2. M. Kociak et al., *Phys. Rev. Lett.* **86**, 2416 (2001)
3. T.E. Weller et al., *Nature Phys.* **1**, 39 (2005)
4. K.S. Novoselov et al., *Nature* **438**, 192 (2005)
5. C. Berger et al., *Science* **312**, 1191 (2006)
6. A. Bostwick et al., *Nature Phys.* **3**, 36 (2007)

Водород в наноструктурах? Ищем!

Идеи хранения водорода в наноструктурах продолжают активно развиваться. И если энтузиазм экспериментаторов несколько поубавился, то теоретики неожиданно углубились в мир изошренных высоких технологий. Моделирование подтверждает, что рано опускать руки. Судите сами. Вот несколько примеров.

Теоретики из Chinese Univ. Hong Kong Shatin и Fudan Univ., Shanghai (Китай) предложили изысканную конструкцию наноконтейнера для хранения водорода при давлении внутри контейнера ~ 1-3 ГПа [1]. Как же можно использовать такой контейнер на практике – ведь, к примеру, хранение водорода на борту автомобиля требует умеренных давлений и температуры вблизи комнатной? Ответ простой – найти структуры, которые могут удерживать водород в сжатом состоянии

даже после сброса внешнего давления. Авторы [1] напоминают об экспериментальном факте – водород под высоким давлением был внедрен в междоузлия льда и оставался там после снятия давления, правда, при температуре 140 К [2]. А для предложенного ими нового контейнера годится и комнатная температура. Что же это за конструкция? Она состоит из трех частей (рис. 1). Во-первых, сам наноконтейнер делается из одностенной углеродной нанотрубки (ОСНТ). Затем внутрь помещают две молекулы фуллерена (образуя известный «гороховый стручок»). Третья часть – две «крышки» на концах нанотрубки. Под высоким давлением газообразный водород просачивается через них внутрь. Затем внешнее давление снимают, а внутреннее давление выталкивает фуллерены в концы трубки, где они перекрывают выход водороду, запирая его внутри. По сути, фуллерен и «крышка» являются наноклапаном.

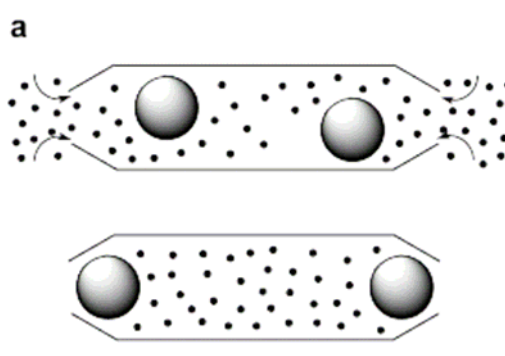


Рис. 1.

Авторы проверили работоспособность своей конструкции с помощью моделирования. Оптимальной для контейнера оказалась (20,0) ОСНТ диаметром ~ 15 Å. Для блокировки использованы две молекулы фуллерена C₆₀. Обычно нанотрубка на концах закрыта полусферами фуллеренов и, удалив из них путем травления несколько атомов, можно создать условия для натекания газа внутрь. Детальные вычисления показали, что при внутреннем давлении 2,5 ГПа емкость по водороду приближается к 7,7 масс.% водорода, при этом после снятия внешнего давления молекулы водорода надежно заперты внутри при комнатной температуре.

Рассматривая возможные схемы заполнения водородом контейнеров, авторы [1] приходят к выводу, что для практических целей будет проще продавать уже заполненные в промышленных условиях контейнеры и ставить их на автомобиль. Таким образом, не потребуется строительство водородных заправок на трассах. Конечно, возникает вопрос – а как извлекать водород? Авторы предполагают, что поможет функционализация и химическая модификация. Это, однако, предмет будущих исследований – а пока представлен концептуальный проект.

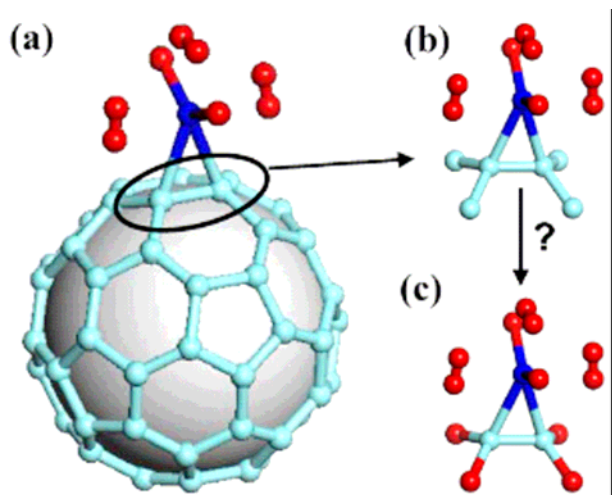


Рис. 2. Одна из наиболее стабильных структур комплекса $Ti-C_{60}$, где атом Ti (черный) связывает 4 молекулы водорода (темно-серые) (а); локальная структура двойной связи $Ti-C_{60}$ (б); замещение конечных атомов углерода на H дает молекулу этилена. Это означает, что для связывания атомов титана можно просто использовать молекулу этилена (с).

Ранее турецкие (Bilkent Univ., Ankara) и американские (Natl. Inst. Standards and Techn., Gaithersburg и Univ. Pennsylvania) теоретики в совместном цикле статей показали, что декорирование ОСНТ и молекул C_{60} атомами легких переходных металлов может позволить создать высокоемкие (в случае Ti - до ~ 8 масс.%) адсорбенты водорода [3]. Развивая свои идеи, они представили новые и (по словам самих авторов) замечательные результаты. Они предложили совершенно *новый* подход к разработке материалов для хранения водорода [4]. Авторы не отказались от своих предыдущих результатов, но поскольку никто из экспериментаторов не поспешил их подтвердить (видимо, синтезировать надлежащим образом декорированные титаном ОСНТ или C_{60} оказалось очень трудно), они предложили использовать комплекс *переходный металл-этилен*! В поисках более эффективного и реального способа хранения они обнаружили, что двойная связь $C=C$ молекулы этилена C_2H_4 воспроизводит двойные связи C_{60} , которые сильно связывают атом переходного металла (рис. 2). Вычисления из первых принципов [4] действительно показали, что одна молекула этилена может образовать стабильный комплекс – и не с одним, а даже с двумя атомами переходного металла, например, титана ($C_2H_4Ti_2$), и затем обратимо связывать до 10 молекул водорода, что дает ... ~ 14 масс.%! Стабильность комплекса была исследована в диапазоне температур от 300 до 800К. При 300К все 10 молекул водорода связаны с $C_2H_4Ti_2$, но выше 300К начинают десорбироваться, и при 800К остается только стабильная молекула $C_2H_4Ti_2$. Таким образом, водород можно легко извлекать путем нагрева. Для того, чтобы избежать димеризации и полимеризации при циклировании, авторы

предлагают вводить предложенные комплексы в нанопористые материалы на основе углерода. В качестве примера они рассмотрели графеновый слой (рис.3). Таким образом всем известный и недорогой этилен может служить основой для разработки эффективных систем хранения водорода.

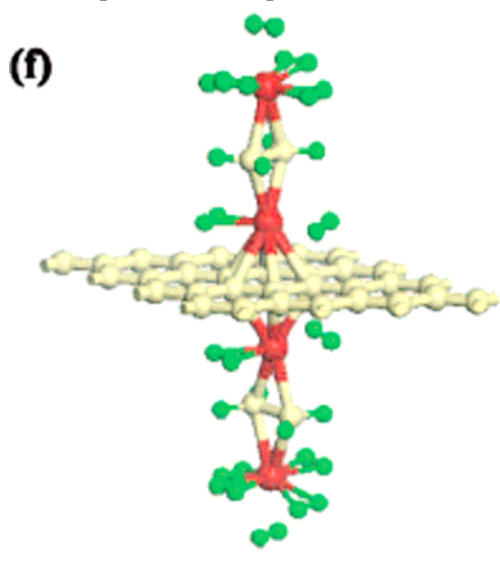


Рис. 3. Стабильная структура комплекса Ti -этилен с поверхностью графена ($C_2H_4Ti_2$ адсорбирован над и под центром гексагона графенового слоя).

Ну а что же экспериментаторы? Тут результаты пока скромнее, но тоже сообщается об успехах. Японские исследователи синтезировали композит, состоящий из сферических частиц кремния диаметром 300нм, покрытых углеродными нанотрубками диаметром 5-10нм и длиной около 30нм [5]. Величина сорбционной емкости для водорода достигла 2.5масс.% при 10МПа и 283К. Несмотря на довольно большое содержание Si , сорбционная емкость которого пренебрежимо мала, композит поглощает гораздо больше водорода, чем чистые многостенные нанотрубки (в предыдущих исследованиях авторы показали, что их емкость не превышает 1масс.%) или SiC . Пока механизм повышения сорбционной емкости не ясен, но авторы надеются разобраться в нем в ближайшем будущем. Во всяком случае, получен новый материал с интересными свойствами.

О.Алексеева

1. X.Ye et al. *Carbon* **45**, 315 (2007)
2. WL.Mao et al. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA* **101**, 708 (2004)
3. *ПерсТ* **12**, вып. 23, 15 декабря 2005, с. 2. (T.Yildirim, S.Ciraci. *Phys.Rev.Lett.* **94**, 175501 (2005); T.Yildirim et al. *Phys.Rev.B* **72**, 153403 (2005))
4. E. Durgun, S.Ciraci et al. *Phys.Rev.Lett* **97**, 226102 (2006)
5. T. Ishihara et al. *Sci&Techn. Advan. Mater.* **7**, 667 (2006)

Массив сверхдлинных углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки (УНТ) являются самым прочным из известных материалов, их модуль Юнга достигает величин на уровне ТПа (10^{12} Па), что в десятки раз превышает соответствующие величины для стального троса или медной проволоки. Но это относится к отдельным нанотрубкам, проблема же в том, чтобы изготовить макроскопический объект из нанотрубок с подобными прочностными характеристиками. Для начала необходимо иметь технологический процесс, позволяющий выращивать достаточно длинные нанотрубки, чтобы при механическом растяжении такого материала в большей степени проявлялась прочной самой нанотрубки, а не сила из взаимного сцепления. Специалистам из научно-технологического центра г.Осака (Япония) удалось вырастить массив вертикально ориентированных нанотрубок длиной до 7 мм. Это почти в 100 раз длиннее типичных УНТ. Синтез этого рекордного массива осуществлялся модифицированным методом химического осаждения паров, CVD (термическое разложение молекул углеводородов на нагретой поверхности металлического катализатора) при 750°C . В качестве носителя использовали смесь He и H_2 при атмосферном давлении, а в качестве углеродосодержащего газа - этилен (C_2H_4), содержание которого в смеси составляло 5–25%. Новизна метода заключается в простом добавлении в газовую смесь небольшого количества паров воды, $(1.5\text{--}5)\times 10^{-2}\%$. Полный расход смеси составлял $200\text{ см}^3/\text{с}$. Катализатором служил тонкий слой железа (1 нм), нанесенный на $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Оказалось, что длина синтезируемых УНТ чувствительна к соотношению компонентов в газовой смеси: при оптимальном соотношении $\text{C}_2\text{H}_4:\text{H}_2 \approx 0.2$ длина УНТ увеличивается, достигая величины 7 мм за 12 час.. Наблюдения, выполненные с помощью сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов, указывают на высокую степень однородности массива УНТ. Большинство полученных нанотрубок – двухслойные, но наблюдаются также однослойные и многослойные УНТ.

Свой успех авторы связывают с оптимальным выбором газовой смеси, которая обеспечивает химическую очистку частиц катализатора и их длительное функционирование.

А.В.Елецкий

1. S. Chakrabarti et al. *Jap. J. Appl. Phys.* **45**, L720 (2006)

Эмиссия электронов охлаждает нанотрубку

Холодные полевые катоды с электронными эмиттерами из углеродных нанотрубок (УНТ) близки

к коммерческому производству. Их преимущества в том, что в них электронные пучки высокой интенсивности достигаются при небольших размерах устройства и при низком приложенном напряжении. Предельные эмиссионные токи в них ограничены джоулевым нагревом эмиттера. Температура наконечника УНТ устанавливается в результате баланса между джоулевым тепловыделением (пропорциональным квадрату тока эмиссии и экспоненциально зависящем от температуры) и теплоотводом (зависящим от теплопроводности вдоль нанотрубки, слабо зависящей от температуры).

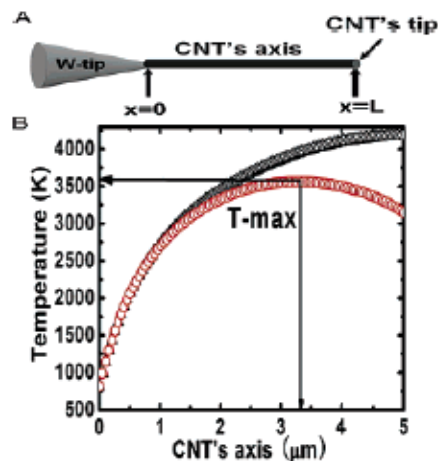


Рис. 1. Сравнение распределения температуры по длине эмиттирующей нанотрубки длиной 5 мкм, диаметром 10 нм при токе эмиссии 10 мкА, полученное на основании решения уравнения теплопроводности с учетом (красная линия) и без учета (темная линия) эмиссионного механизма охлаждения.

Нарушение этого баланса происходит при некотором критическом токе и имеет характер тепловой неустойчивости. Предельный ток эмиссии, соответствующий порогу возникновения неустойчивости, можно вычислить из уравнения теплопроводности для эмиттирующей нанотрубки, данных о вольт-амперной характеристике эмиттера и о температурной зависимости теплопроводности и электропроводности УНТ. Предлагаемое авторами из Tsinghua Univ. и Peking Univ. уравнение [1] учитывает также тот факт, что при повышенных температурах некоторый вклад в охлаждение эмиттера вносит тепловое излучение нагретого наконечника УНТ.

Исследователи также обратили внимание на механизм охлаждения УНТ в процессе эмиссии, связанный с тем, что эмиттируемые электроны имеют температуру, значительно превышающую среднюю по длине нанотрубки. Это приводит к снижению температуры УНТ и делает ее распределение по длине немонокотонным (рис. 1).

Результаты расчета предсказывают, что термическое разрушение УНТ вследствие нарушения теплового баланса происходит не вблизи наконечника, а в некоторой промежуточной точке нанотрубки, где темпе-

ПерсТ, 2007, том 14, выпуск 3

ратура - максимальна. Этот результат подтвержден в эксперименте, выполненном на нанотрубке длиной 470 нм, укрепленной на вольфрамовом наконечнике и используемой в качестве катода. При подаче напряжения 95 В на промежуток возникающий эмиссионный ток 35 мкА приводит к термическому разрушению эмиттера. Наблюдения, выполненные с помощью просвечивающего электронного микроскопа, показывают, что разрушение происходило в точке, отстоящей от конца нанотрубки на 80 нм, в соответствии с результатами расчетов.

А.В.Елецкий

1. W.Weі et al. *Nano Letters* 7, 64 (2007)

СНОВА К ОСНОВАМ

Бозевский конденсат при комнатной температуре

Явление бозе-эйнштейновской конденсации, предсказанное еще на заре квантовой механики, в середине 20-х годов, заключается в том, что ниже определенной температуры тождественные частицы с целочисленным спином «конденсируются» в одном квантовом состоянии. Критическая температура $T_{\text{БЕС}}$, при которой зарождается бозе-конденсат, пропорциональна плотности газа n в степени $2/3$ и обратно пропорциональна массе m составляющих его частиц [1]. Поэтому наблюдение данного явления для атомов щелочных элементов возможно только при сверхнизких температурах [2,3] и даже в случае гелия $T_{\text{БЕС}}$ составляет примерно 0.02 К. Для того, чтобы перейти к «разумно низким» температурам нужен газ бозонов, плотность которых достаточно высока, а массы намного меньше масс отдельных атомов. Сама эта идея не нова, и возможность образования бозе-конденсата экситонов или биэкситонов давно активно обсуждалась теоретиками (см. обзоры [4,5]), а недавно была подтверждена экспериментально [6]. В 2006 г. в работе [7] сообщали о наблюдении явления бозе-эйнштейновской конденсации в газе экситонных поляритонов, высокую плотность которых удалось создать в оптических микрополостях кристалла CdTe с помощью лазерной накачки. При этом $T_{\text{БЕС}}$ оказалась ~ 19 К. В только что опубликованной работе [8] А.И.Бугрий и В.М.Локтев из киевского Института теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова предсказывают возможность образования бозевского конденсата *при комнатной температуре* [8]. Авторы исследовали теоретически условия реализации явления бозе-эйнштейновской конденсации в сравнительно тонких ферромагнитных диэлектрических пластинах (толщина - около 10 мкм, поперечные размеры - порядка 1 см), в которых газ возбужденных (над основным состоянием) магнитных квазичастиц создается путем накачки в систему электромагнитной энергии. Расчеты [8] указывают на относительно большое время жизни

длинноволновых спиновых возбуждений и, как результат, возможность достижения с помощью импульсной микроволновой накачки таких же плотностей квазичастиц $10^{18} - 10^{19} \text{ см}^{-3}$, как и в случае газобразного гелия. Именно этот факт, по мнению авторов, выделяет магныны в качестве перспективных объектов для наблюдения бозевского конденсата квазичастичных возбуждений. Они указали еще на два важных обстоятельства: (а) наличие современных технологий, позволяющих вырастить тонкие (менее 10 мкм) ферромагнитные пластины с достаточно совершенной структурой и (б) возможность менять не только температуру, но и магнитное поле в достаточно широких пределах, тем самым управляя фазовым переходом в состояние с бозе-конденсатом. Авторы проанализировали роль формы спектра спиноволновых возбуждений и толщины пленки и показали, что в принципе данный эффект может наблюдаться при достаточно высоких температурах, вплоть до комнатных. При этом величина $T_{\text{БЕС}}$ растет по мере увеличения количества созданных в результате накачки квазичастиц. Теперь - слово за экспериментом.

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, *Статистическая физика, Ч. 1, Наука, Москва* (1976)
2. М.Н. Anderson et.al. *Science* **269**, 198 (1995)
3. К.В. Davis et.al. *Phys. Rev. Lett.* **75**, 3969 (1995).
4. S.A. Moskalenko and D.W. Snoke, *Bose-Einstein Condensation of Excitons and Biexcitons*, Cambridge Univ. Press (2000).
5. *Electron-Hole Droplets in Semiconductors*, edited by C.D. Jefferies and L.V. Keldysh (North-Holland, Amsterdam, 1983).
6. J.P. Einstein and A.H. McDonald, *Nature* **432**, 691 (2004).
7. J. Kasprzak et.al. *Nature* **443**, 409 (2006).
8. А.И. Бугрий, В.М. Локтев, *ФНТ* **33**, 51 (2007).

Сверхтекучесть фермионов в оптической решетке

Все известные сообщения о сверхтекучести бозонов в трехмерных оптических решетках основаны на наблюдении резких интерференционных пиков в процессе баллистического расширения бозе-конденсата после "выключения" потенциала решетки. Эту же методику использовали и авторы работы [1], но на сей раз - для доказательства сверхтекучести спаренных фермионов (атомов ^6Li). Наличие интерференционной картины свидетельствует о наличии у системы фермионных атомов в оптической решетке макроскопической волновой функции, характеризующейся единой фазой. Отличительной особенностью "решеточного конденсата" является то, что перенос атомов осуществляется не путем простого перемещения, а за счет квантово-механического туннелирования. Количественный анализ полученных результатов позволил определить длину когерентности: не менее 10 периодов решетки. Увеличение силы решеточного потенциала ведет к размытию и последующему исчезнове-

нию интерференционного узора, что авторы связывают с переходом из сверхтекучего в моттовское состояние, волновая функция которого представляет собой произведение орбиталей Ванье, локализованных на узлах решетки. Возможность контроля межчастичных взаимодействий делает

такие системы уникальными объектами для экспериментальной проверки различных теоретических моделей, в том числе касающихся высокотемпературной сверхпроводимости.

1. J.K.Chin et al., *Nature* **443**, 961 (2006)

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Это сладкое слово «нано»

Табл. Специализированные журналы различных издательств по нанотематике (физика и технология)

Журнал	Издательство/Internet adress	Начало издания	Выпусков в год
Российские нанотехнологии	Роснаука и компания "Парк-медиа" http://www.nanorf.ru	2006	6
Nanotechnology	IOP Publishing Ltd., Bristol, England http://www.iop.org/EJ	1990	12
Nano Letters	American Chemical Society http://pubs.acs.org	2000	12
Small	Wiley InterScience http://www.interscience.wiley.com	2005	12
Nature Nanotechnology	Nature Publishing Group, London http://www.nature.com	2006	12
IEEE Transaction on Nanotechnology	Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA http://ieeexplore.ieee.org/	2002	6
International Journal of Nanoscience	World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. SINGAPORE http://www.worldscinet.com/ijn/ijn.shtml	2002	4-5
Nanoscale Research Letters	Springer New York http://springerlink.metapress.com/	2006	4
Nanostructured Materials	Acta metallurgica Inc.	1992	8
Nanotoday	Elsevier Ltd./ http://www.sciencedirect.com	2006	4

11 декабря 2006 г. вышел из печати первый номер журнала "Российские нанотехнологии", учредители которого - Роснаука и компания "Парк-медиа" (как ПерсТ уже сообщал в предыдущем выпуске). Своей главной целью редакция считает публикацию статей междисциплинарного характера по фундаментальным вопросам исследования структуры и свойств наноразмерных объектов и наноматериалов, а также работ, в которых рассмотрены технологии их получения и обработки, практическая реализация изделий и устройств на их основе. Журнал издается также и на английском языке под названием "Nanotechnologies in Russia".

К слову, многие известные издательства имеют свои специализированные наножурналы (см. Таблицу выше).

Нестандартно поступили американские издательства (Институт физики и Физическое общество (<http://scitation.aip.org>)). Чтобы не отнимать рей-

тинговую тематику у своих журналов, они учредили виртуальный мультижурнал Virtual J. Nanoscience and Technology, в который ЕЖЕНЕДЕЛЬНО на своей странице собирают из своих изданий оглавления статей, касающиеся нанотематики. В приводимом оглавлении указан выход на соответствующие журналы для просмотра полного текста статьи. Среди цитируемых в виртуальном журнале – Phys.Rev.Lett, Phys.Rev.B, Appl.Phys.Lett., J.Appl.Phys., Rev.Sci.Instr. и многие другие. Этой чести также удостоились популярные научные журналы Nature и Science.

Являясь одним из учредителей российского наножурнала, Роснаука может также поступить нетрадиционным образом, создавая идеальную ситуацию для журнала и самих ученых – засчитывать публикацию в журнале за научный отчет по проекту (в конце статьи всегда стоит номер контракта ФЦНТП, по которому финансировалась конкретная работа). При этом решается проблема портфеля для журнала, ну и ученый люд снимает с себя трудоемкую работу по подготовке отчетов. Эту идею можно развивать и далее, напри-

мер, засчитывая направление статьи в журнал – за аннотационный отчет, публикацию – за годовой отчет. Экспертную оценку опубликованной работы можно связать с числом читателей конкретной работы (такая статистика всегда остается на сервере журнала). Рейтинговые по числу читателей статьи (= контракты) можно дополнительно финансировать за счет статей (= контрактов), которые никто не стал читать. Руководитель Роснауки может в конце года получать от курируемого журнала полную распечатку «N контракта – число статей + число читателей».

В случае успеха идеи ей могут последовать и другие фонды, широко представленные уже в первом выпуске журнала - ФЦНТП, РФФИ, МНТЦ, Программа Президиума РАН И Президента РФ, CRDF и другие.

Судя по первому выпуску журнала, редакция провела огромную работу: опубликовано 7 научных обзоров, 19 оригинальных статей 79 авторов от 28 научных организаций России. Для тематики, отражаемой в ПерсТе, интересна обзорная статья директора Института физики полупроводников СО РАН академика А.Л.Асеева «Наноматериалы и нанотехнологии для современной полупроводниковой электроники» [1]. В отличие от западных аналогов в данном обзоре широко цитируются работы российских исследователей. Для автора это очень просто, поскольку в самом Институте очень много делается в области нанoeлектроники. Назовем только некоторые достижения ИФП СО РАН, отмеченные в статье.

Ближайшее будущее кремниевой технологии связывают с использованием подложек «кремний на изоляторе» (КНИ или в английской аббревиатуре - *SOI*) и диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной (*high-k*). Работы в этом направлении уже давно и успешно ведутся в ИФП. В ближайшее время предполагается формирование нанотранзисторов с длиной канала 40нм, что уже приближается к лучшим мировым достижениям.

Много лет назад, когда еще не были синтезированы столь популярные ныне углеродные нанотрубки, в ИФП была предложена технология формирования нанотрубок путем сворачивания тонких полупроводниковых слоев (см. детали в ПерсТ 13, 15/16, 2006). Такой прием относится к принципиально новому направлению в электронике «снизу-вверх», когда требуемые объекты создаются с помощью молекулярной и атомной самосборки. По прогнозам это может значительно удешевить электронную продукцию. Однако до сих пор электроника в основном развивается по пути уменьшения размеров обычных элементов, т.е «сверху-вниз».

Хорошо известны достижения ИФП и в области формирования массивов квантовых точек, которые находят основное применение в оптоэлек-

тронике, но могут быть использованы и для создания структур твердотельных квантовых компьютеров.

1. А.Л.Асеев, *Российские нанотехнологии*, № 1, с. 97 (2006) www.nanorfu.ru

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Стартует FP7

Самая большая программа научных и технологических исследований ЕС, Седьмая Рамочная Программа, с общим бюджетом 50.5 млрд. евро берет старт 1 января 2007г. и придет к финишу в 2014г. Дополнительно выделяется 2.7 млрд. евро на пятилетнюю программу ядерных исследований в рамках ЕвроАтома. Объемы финансирования отдельных областей исследований указаны в Таблице (http://cordis.europa.eu/fp7/budget_en.html).

Табл. Финансирование различных областей исследований в рамках FP7

Области исследований	млрд евро
Информационные и Телекоммуникационные технологии	9.11
Здравоохранение	6.0
Транспорт	4.1
Нанотехнологии	3.5
Энергетика	2.3
Продовольствие, сельское хозяйство, биотехнологии	1.935
Экология	1.8
Космос	1.43
Вопросы безопасности	1.35
Социально-экономические науки	0.610
Образовательные, инновационные, научно-организационные программы и т.д.	18.365

1. http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html
2. *Small* 2007, 3, No. 2, 186–187

Напомним читателям, что существует Российская контактная точка "Нанотех" по той части FP7, которая касается нанотехнологии. Ее сайт <http://www.ncp-nanotech.ru>

КОНФЕРЕНЦИИ

10 - 17 March 2007. NanoTech Insight. Luxor, Egypt.

Lectures and workshops will cover:

- Bio-applications
- Fabrication
- Medical and Pharmaceutical Applications
- Nano Applications for Clean and Renewable Energy
- Nano Ethics / Environmental Impact
- Nanomaterials and Structures
- NanoTech for Industry
- NanoTechniques
- Optoelectronics and Photonics
- Simulation and Molecular Dynamics
- Single Molecules

<http://www.nanoinsight.net/in/07/view/index/index.cfm>

По мнению любителей египетской экзотики, еще не поздно послать туда тезисы (их принимают и после deadline).



1–6 октября 2007.
Крым, Украина. Международная конференция «Функциональные Материалы» ICFM' 2007

Тематика конференции

1. Фундаментальная физика функциональных материалов
2. Магнитные материалы
3. Материалы спиновой электроники и явления переноса
4. Электро- и магнитооптические материалы
5. Пьезо- и магнитоэлектрические материалы
6. Магнитоупругие материалы и мартенситы
7. Метаматериалы и материалы для СВЧ-применений
8. Материалы для регистрации излучений

9. Нанотехнологии при синтезе функциональных материалов

10. Материалы для медицины и охраны окружающей среды. Биосенсоры

11. Современные методы и аппаратура для исследования материалов

Основные даты

Регистрационная форма - **30 апреля 2007**

Тезисы - **1 июня 2007**

Контакты

Александр Горбованов

Тел: (+038 0652) 230 223, 637 595. Fax: 517 135

E-mail: icfm@crimea.edu

Сайт конференции:

<http://www.crimea.edu/tnu/conference/icfm/>

Предпочтительнее и удобнее регистрироваться непосредственно на сайте конференции:

<http://www.crimea.edu/tnu/conference/icfm/regform.htm>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издаётся совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РНЦ «Курчатовский институт»

Научный редактор К.Кугель

Редакторы: С.Корецкая, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, М.Белоголовский, В.Вьюрков, А.Елецкий, Л.Опенов

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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