

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Суперкремний

Кремний – полупроводник. В отличие от металлов, при низкой температуре он практически не проводит электрический ток из-за малого количества свободных электронов и дырок. Для того чтобы в кремнии появились свободные носители заряда, нужно заменить часть атомов Si на атомы, у которых число валентных электронов либо больше, чем у Si (такие как фосфор), либо меньше (такие как бор). Эта процедура, называемая легированием, позволяет контролировать концентрацию свободных электронов или дырок в той или иной области образца и, в конечном итоге, определяет все многообразие применений кремния в микроэлектронике.

Если число примесных атомов (например, донорного фосфора) невелико, то “лишние” электроны остаются локализованными вблизи “своих” ядер. К слову, спиновые состояния ядер фосфора в кремнии или орбитальные состояния электронов в однократно ионизированной паре доноров $P_2^+ : Si$ предложили использовать в качестве базисных состояний спиновых и зарядовых кубитов, соответственно [1, 2]). С ростом концентрации доноров электронные волновые функции перекрываются все сильнее и в итоге формируют орбитали, делокализованные по всему образцу. Поэтому проводимость, как и в металле, становится отличной от нуля даже при $T \rightarrow 0$, несмотря на беспорядок, создаваемый хаотически расположенными примесными атомами [3]. То же самое происходит и при достаточно большой концентрации акцепторных примесей бора [4]. В последнее десятилетие именно кремний исследователи использовали для проверки идей и концепций, касающихся различий диэлектрического и металлического состояний, вообще, и проводимости легированных полупроводников, в частности [5].

Разумно предположить, что при достаточной концентрации носителей заряда кремний, подобно алмазу [6], может перейти в сверхпроводящее состояние. На это указывают и теоретические расчеты [7]. Но до сих пор сверхпроводимость кремния наблюдали лишь при огромных давлениях ~ 10 ГПа [8], когда он переходит в другую кристаллическую модификацию. По иронии судьбы, неудачи при попытке заставить «сверхпроводить» обычную гранецентрированную кубическую фазу кремния при нормальном давлении обусловлены теми же факторами, которые делают кремний отличным полупроводниковым материалом. Кремний сравнительно легко поддается очистке от примесей, но выталкивает из своей решетки примесные атомы, если их концентрация n превышает “предел растворимости”, который для примесей бора, например, в нормальных условиях составляет всего лишь 1.2 ат. % ($n = 6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$).

В совместной работе [9] большой группы исследователей из Франции и Словакии для легирования кремния бором использовали разработанную сравнительно недавно методику “лазерного легирования”. Тонкую пленку $Si(001)$ с адсорбированным на ней слоем BCl_3 облучали импульсным УФ лазером, в результате чего поверхност-

И далее ...

- 2 Новая концепция сверхпроводниковой памяти
- 3 Высокотемпературная сверхпроводимость: много шума и ... чего?

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Первый шаг к диагностике рака с помощью нанотрубок
- 6 Массив вертикально ориентированных нанотрубок для холодных полевых катодов большой площади
- 6 В нанотрубки скоро свернут всю неорганику (и органику тоже!)
- 8 Переход холодной полевой эмиссии электронов в термоэмиссию в нанотрубках

За токсичность углеродных нанотрубок могут быть ответственны примеси

НАНОСТРУКТУРЫ

- 9 Диэлектрики не виноваты

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 9 Квантовая и классическая механика: что яйцо, что курица?
- 10 Атомы переговариваются фотонами

Квантовая телепортация между мезоскопическими объектами

НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

- 11 Нитридный свет на пути к нам

ИТОГИ

- 11 Обо всем...

ный слой плавился, а атомы бора диффундировали в пленку и при остывании замещали в ней атомы Si (см. рис. 1).

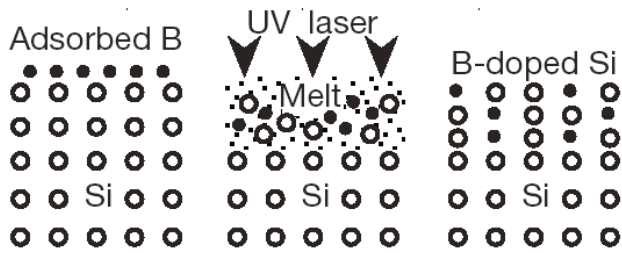


Рис.1. Иллюстрация “лазерного легирования” кремния бором.

Цикл плавление/затвердевание повторяли около 200 раз. В итоге толщина легированного Si:B слоя достигала (10÷120)нм. Детальное исследование структуры этих слоев показало, что атомы бора расположены именно в узлах решетки (а не в междоузлиях), хотя и распределены достаточно неоднородно. Оценка концентрации бора по изменению межатомных расстояний дала $n = (3\div4)\cdot 10^{21}\text{см}^{-3}$, что согласуется с концентрацией дырок $n_h = (5\pm 2)\cdot 10^{21}\text{см}^{-3}$, определенной по эффекту Холла при комнатной температуре. Таким образом, величину n (и, соответственно, n_h) удалось повысить почти на порядок по сравнению с образцами, легированными обычными способами.

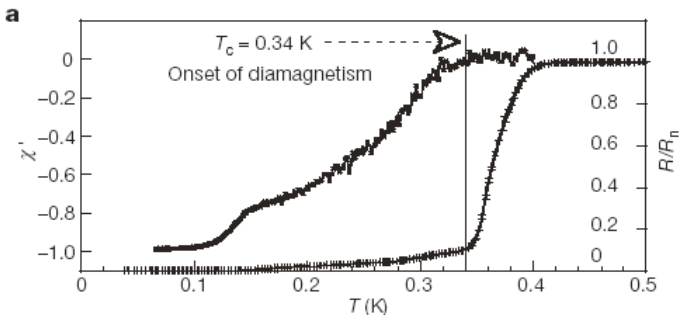


Рис. 2. Резистивный (справа) и индуктивный (слева) сверхпроводящие переходы пленки Si:B.

Вот в таких пленках Si:B авторы [9] и обнаружили сверхпроводимость при $T_c = 0.34\text{K}$ (см. рис. 2). Большая ширина и ступенчатый вид как резистивного, так и индуктивного переходов – следствие неоднородного распределения акцепторов по пленке. В магнитном поле, перпендикулярном поверхности, T_c уменьшается. Кривая $H_{c2}(T)$ лежит выше теоретической кривой БКШ. $H_{c2}(0) \approx 0.4\text{Тл}$. Оценка длины когерентности по наклону $H_{c2}(T)$ вблизи T_c и по величинам T_c и $H_{c2}(0)$ дает, соответственно, 13нм и 20нм. Константа электрон-фононного взаимодействия, рассчитанная из первых принципов, составляет $\lambda = 0.28$. При этом основной вклад в λ (как и в сверхпроводящем алмаз/боре) дают оптические моды. Была рассчитана также функция электрон-фононного взаимодействия (функция Элиашберга). Теоретическая величина T_c , определенная по формуле Макмиллана, составила (0.03÷0.5)K (большой

разброс T_c связан с сильной неопределенностью кулоновского псевдопотенциала μ^*).

Авторы [9] отмечают, что их открытие может быть использовано для изготовления новых сверхпроводниковых наноструктур и мезоскопических устройств на основе кремния. Действительно, представляется заманчивым применить хорошо развитую “кремниевую технологию” к сверхпроводникам. Все бы тут ничего, да вот только T_c слишком низкая... Может быть, ее удастся повысить за счет легирования кремния не акцепторными, а донорными атомами (например, фосфором или мышьяком)? Так или иначе, а результаты работы [9] по трансформации “самого полупроводникового из всех полупроводников” в сверхпроводник весьма впечатляют. Что дальше? “Я убежден, – говорит R.J.Cava, – что в одно прекрасное утро нас разбудит известие об открытии нового сверхпроводника с рекордной T_c . Но если окажется, что этот сверхпроводник представляет собой легированный бетон, то я пойму, что пора уходить в отставку...” [10].

Л.Опенков

1. *Nature* **393**, 133 (1998)
2. *ЖЭТФ* **128**, 54 (2005)
3. *Phys. Rev. Lett.* **45**, 1723 (1980)
4. *Phys. Rev. Lett.* **66**, 1914 (1991)
5. *Rev. Mod. Phys.* **57**, 287 (1985)
6. *Nature* **428**, 542 (2004)
7. *Phys. Rev. Lett.* **91**, 247001 (2003)
8. *Phys. Lett.* **17**, 187 (1965)
9. *Nature* **444**, 465 (2006)
10. *Nature* **444**, 27 (2006)

Новая концепция сверхпроводниковой памяти

Уже созданы прототипы цифровых сверхпроводниковых устройств с высоким быстродействием и малой потребляемой мощностью (превосходящие по этим параметрам полупроводниковые). Примером может служить основанный на RSFQ логике 4-килобитный элемент оперативной памяти с пикосекундными временами переключения и мощностью диссипации примерно 120нВт на одну ячейку памяти [1]. Если это так, то почему же мы не наблюдаем широкого практического внедрения сверхпроводниковых микросхем, а лишь читаем о блестящих перспективах, которые они нам сулят в будущем? По мнению авторов работы [2], основная проблема (по крайней мере, в том, что касается компьютерной памяти) заключается в недостаточной плотности интеграции базовых элементов. RSFQ технология основана на одиночных квантах магнитного потока Φ_0 , которые хранятся в сверхпроводящем кольце. При этом произведение критического тока I_c на индуктивность кольца L должно быть порядка Φ_0 . Поскольку размеры перехода ограничены джозефсоновской глубиной проникновения λ_J , то, следовательно, существует верхний предел для тока I_c . Это обстоятельство означает,

что имеет место нижний предел для индуктивности L , в результате чего, как показывают простые оценки [2], размер одиночного кольца должен быть порядка нескольких микрон.

Итак, для дальнейшего прогресса в области сверхпроводниковой памяти необходимо каким-то образом радикально уменьшить размер той области, где хранится квант Φ_0 . Для этого исследователи из Univ. Augsburg (Германия) и Stanford Univ. (США) [2] предлагают комбинированный вариант ячейки памяти с ферромагнитной квантовой точкой, которая хранит в себе бит информации, и переходом Джозефсона, который ее считывает (см. рис. 1).

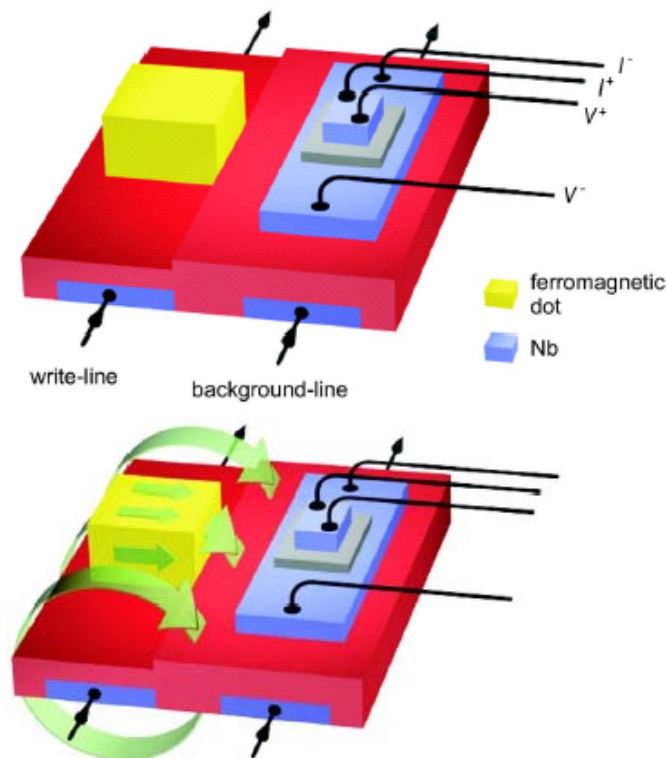


Рис. 1.

Информация в ячейку записывается в результате пропускания электрического импульса по сверхпроводнику (write-line на рисунке). Созданное таким образом магнитное поле H_{FM} ферромагнитного островка проникает в барьер джозефсоновского перехода. В зависимости от направления тока в проводнике поле H_{FM} может быть направлено или от перехода (это, скажем, логический «0»), или по направлению к контакту («1»). Для того чтобы считать эту информацию, имеется фоновое магнитное поле H_{BG} , генерируемое постоянным электрическим током, который течет по другому сверхпроводящему проводу (background-line на рисунке). Направление вектора H_{FM} можно определить экспериментально, исходя из величины измеряемого джозефсоновского тока, который определяется суммарным магнитным полем $H = H_{BG} + H_{FM}$. Несложные оценки [2] показывают, что при этом величина магнитного потока, проникающего в барьер туннельного перехода, не зависит от поперечных размеров квантовой точки и, следовательно,

но, нет никакого ограничения снизу на размер такой ячейки памяти. Именно это обстоятельство авторы [2] считают основным преимуществом своей концепции. Но это касается одного элемента, а, если их окажется много, то не будут ли они влиять друг на друга? Если и будут, то незначительно, отвечают они, поскольку магнитное поле падает по мере удаления от ферромагнитной точки как $1/L^3$, и, значит, можно достичь очень высокой компактности при создании электронной памяти.

Чтобы проверить свою идею, авторы [2] взяли массивы ниобиевых джозефсоновских контактов, изготовленных фирмой HYPRES по 3-микронной технологии. Сверхпроводящие провода были также изготовлены из ниобия, а в качестве ферромагнетика на первом этапе был выбран пермаллой ($Ni_{81}Fe_{19}$), при этом размеры квантовой точки составляли 6 мкм x 9 мкм x 600 нм. На рис. 2 показано, как изменялся критический ток джозефсоновского контакта под действием импульсов в управляющем проводнике.

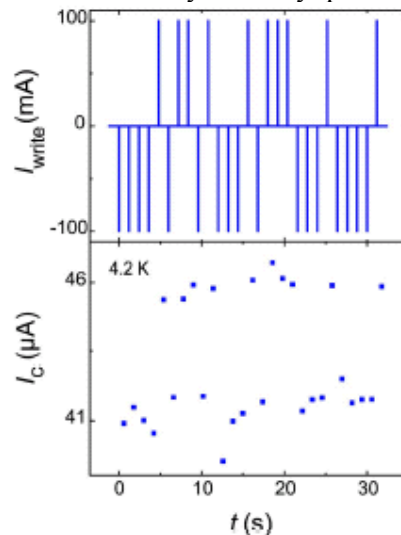


Рис. 2.

Скважность управляющих импульсов определяли той электроникой, которая была в распоряжении авторов, а не физическими условиями, которые позволяют устройству работать при гораздо более высоких скоростях. К сожалению, величины управляющих токов для перемагничивания пермаллоя должны были составлять не менее 100 мА, однако это ограничение, по мнению авторов, может быть снято путем подбора более оптимального магнитного материала и лучшего дизайна всего элемента. В целом же, они уверены в перспективности предложенной ими конструкции для будущей электроники.

М.Белоголовский

1. A.F. Kirichenko et al *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **11**, 537 (2001)
2. R. Held et al *Appl. Phys. Lett.* **89**, 163509 (2006).

Высокотемпературная сверхпроводимость: много шума и ... чего?

Подходит к концу 2006 г. – год, в котором высокотемпературным сверхпроводникам (ВТСП) исполнилось 20 лет. В сентябре 1986 г. J. Georg Bednorz

и Karl Alexander Müller сообщили о сверхпроводимости керамического образца ВТСП $LaBaCuO$ при критической температуре $T_c \approx 35$ К – на 12К выше максимальной T_c известных на то время сверхпроводников (которые сразу же окрестили “низкотемпературными”). Буквально через несколько месяцев усилиями Paul Chu и его коллег величину T_c удалось повысить до 93К в соединении $YBaCuO$. Считавшийся ранее непреодолимым “азотный барьер” (77К) был превышен сразу почти на 20К. Многим уже грезились сверхпроводящие линии передачи электроэнергии и левитирующие поезда. Дело было за малым: быстренько разобраться с ВТСП и, поняв причину их высокой T_c , двинуться дальше – к “комнатнотемпературным” (по терминологии В.Л.Гинзбурга) сверхпроводникам.

Известный физик N. Ashcroft (Cornell Univ.) предсказывал, что проблема высокотемпературной сверхпроводимости останется нерешенной на протяжении как минимум 25 лет. Он оказался близок к истине. Хотя T_c за 20 лет и подросла до 138К в $HgBaCaCuO$, механизм сверхпроводимости ВТСП все еще остался невыясненным (несмотря на титанический труд ученых, опубликовавших за этот период в общей сложности более 100 тысяч научных работ). “Сложилась уникальная ситуация, – замечает J. Orenstein, экспериментатор из Univ. California, – накоплено огромное количество детальной экспериментальной информации, а консенсус в вопросе о ее интерпретации практически полностью отсутствует”. Многие утверждают, что нашли разгадку, причем каждый – свою. Но ведь у одной задачи не может быть разных правильных ответов... Есть ли среди обсуждающихся сегодня моделей та самая – единственно верная? Или она еще только зреет в чьей-то голове?

С “электронной точки зрения” основная сложность заключается в том, что электроны в ВТСП нельзя рассматривать по отдельности: каждый из них “чувствует” присутствие остальных. О таких системах принято говорить как о “сильно коррелированных”. Способы описания этих систем пока находятся лишь в стадии разработки. Тем не менее, некоторые специалисты убеждены, что спаривание электронов в ВТСП происходит (как и в обычных сверхпроводниках) за счет их взаимодействия с колебаниями кристаллической решетки – фононами. Другие настаивают на “магнитном механизме” спаривания. Третьи полагают, что ключ следует искать в зарядовых неоднородностях (страйпах и т.п.). Нельзя исключить и комбинацию всех перечисленных факторов, но это уже из разряда ночных кошмаров теоретиков. В последнее время Ch.Varma из Univ. California усиленно пропагандирует свою модель, в основе которой лежит гипотеза о наличии токовых контуров в слоях CuO_2 . “Если эксперимент подтвердит эту гипотезу, то игра в теорию ВТСП закончится, – замечает он, – поэтому никто и не торопится ее подтверждать”. Ph.

Anderson (Princeton Univ.) , в свою очередь, по-прежнему считает единственно верной свою теорию резонирующих валентных связей (RVB) – ровесницу ВТСП – и «дуется» на весь мир, который недооценивает его детище. К.А.Мüller, один из “отцов” ВТСП, до сих пор убежден в поляронном механизме высокотемпературной сверхпроводимости. “Сейчас лидирует эксперимент, – говорит он, – и теоретикам не мешало бы хоть немного к нам прислушиваться”. P.Grant, давно сотрудничающий с К.А.Мüller’ом, по этому поводу заметил: “Müller пока в явном меньшинстве, но если он все же окажется прав, то ему предстоит еще один визит в Стокгольм”.

Из основных экспериментальных результатов можно выделить доказательство d-волновой симметрии параметра сверхпроводящего порядка в ВТСП, а также построение в общих чертах диаграммы состояний в координатах “уровень допирования – температура”. Эта диаграмма довольно сложная (см. рис. 1), и пока еще не все ее участки достаточно хорошо изучены, что в первую очередь касается так называемой псевдощелевой фазы, которая представляет собой, возможно, набор спаренных, но “не сконденсированных” электронов при $T > T_c$ (некоторые, впрочем, считают псевдощель не предвестником, а конкурентом сверхпроводимости).

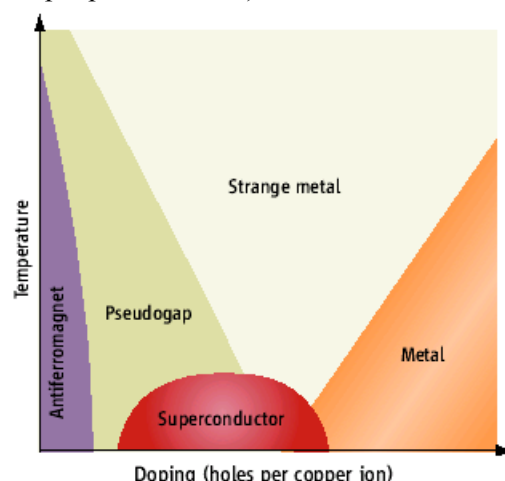


Рис.1. Схематическое изображение фазовой диаграммы ВТСП.

“Чтобы решить проблему ВТСП в целом, необходимо понять и фазовую диаграмму ВТСП в целом, – говорит S. Davis, экспериментатор из Cornell Univ., – мы с самого начала заикнулись только на механизме, поэтому до сих пор и не разгадали его”. Сегодня исследователи в области физики конденсированного состояния вещества рассматривают высокотемпературную сверхпроводимость не просто как одну из нераскрытых тайн современной физики, а как своеобразный “тренажер” для отработки идей и подходов к описанию сильно коррелированных электронов и как барьер, отделяющий нас от принципиально новых физических концепций. И они надеются, что для преодоления этого барьера *следующих* 20 лет хватит...

Таблица. Некоторые этапы освоения ВТСП

1986	лантан барий медные оксиды с $T_c=35\text{K}$ (J.Bednorz, A.K.Muller)
1987	иттрий барий медные оксиды с $T_c=93\text{K}$ (Wu M.K., Ashburn J.R., Torng C.J., Hor P.H., Meng R.L., Gao L., Huang Z.J., Wang Y.Q., Chu C.W.)
1988	- висмут стронций кальций медные оксиды с $T_c=110\text{K}$ (Maeda H., Tanaka Y., Fukutomi M., Asano T.) - таллий барий кальций медные оксиды с $T_c=125\text{K}$ (Sheng Z.Z., Hermann A.M.) - ВТСП BSCCO/серебро провода 1-го поколения
1993	ртуть барий кальций медные оксиды, легированные таллием $T_c = 138\text{K}$ (С.Путилин, Е.Антипов, Chmaissem O., Marezio M.)
1994	1-км BSCCO провод
1995	первые образцы YBCO провода 2-го поколения
1996	построен 50-метровый подземный силовой кабель
1999	YBCO провод 2-го поколения метровой длины удерживает ток 122 А
2000	построен и испытан ВТСП мотор мощностью 1000 л.с.
2003	построен и испытан 5МВт ВТСП мотор для морских судов
2006	ВТСП кабель длиной 350 м, поддерживающий ток $>200\text{ А}$, установлен в Albany (электросеть Нью-Йорка)

Л.Опенев

По материалам журнала "Science" 314, 1072 (2006)

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Первый шаг к диагностике рака с помощью нанотрубок

Одно из перспективных направлений исследований в биомедицинской нанотехнологии – создание биосенсоров на базе углеродных нанотрубок. ПерсТ постоянно информирует своих читателей о наиболее важных достижениях, например, в создании первого биосенсора на единичной нанотрубке [1], разработке методов химической модификации и функционализации, позволяющих растворять и диспергировать нанотрубки в воде, о возможности модификации УНТ биологическими и биоактивными соединениями [2].

И вот новое интересное сообщение - авторы из Univ. Delaware и Thomas Jefferson Univ. (США) [3] сделали первый шаг к созданию на основе нанотрубок системы диагностики, а, возможно, и лечения рака. Они изучили взаимодействие нанотрубок с антителами. Это очень важно, поскольку антитела непосредственно применяют в биомедицине для обнаружения раковых заболеваний. Антитела, которые являются белками класса иммуноглобулинов, вырабатывает иммунная система как отклик на появление в организме чужеродных веществ, называемых антигенами. Одним из наиболее важных свойств антител является их *специфичность* - каждое антитело избирательно взаимодействует с определенным антигеном. Антитела могут быть использованы и для защиты от заболеваний, и для диагностики.

Американские исследователи [3] сумели достичь высокой степени функционализации нанотрубок антителами благодаря тому, что на первом этапе было проведено эффективное разделение нанотру-

бок при помощи поверхностно-активных веществ. Затем на индивидуальные нанотрубки были нанесены люминесцентные метки для того, чтобы легче было изучать взаимодействие нанотрубок и антител с помощью конфокальной микроскопии (люминесцентной микроскопии, усовершенствованной с помощью конфокальной диафрагмы). Для функционализации использовали антитела, специфичные к рецепторам на поверхности клеток рака молочной железы человека. Степень связывания для протяженного образца по данным конфокальной микроскопии оказалась очень высокой – более 80%. Измерения высоты с помощью атомного силового микроскопа (AFM) дали величину 5нм для нанотрубки, покрытой поверхностно-активным веществом, и 16нм для нанотрубки, покрытой антителами. AMF изображение, показывающее присоединение антитела к нанотрубке, приведено на рис. 1.

Кроме того, ученые изучили возможность электронного детектирования антител с использованием полевых транзисторов на одностенных нанотрубках (ОСНТ). Был приготовлен специальный раствор, содержащий антитела, специфичные к анти-онкогенам. Адсорбция на ОСНТ антител из этого раствора привела к изменению проводимости канала транзистора, зависящему от концентрации антител – при увеличении концентрации проводимость заметно снижалась. Циркулирующие раковые клетки часто выделяют характерные поверхностные маркеры, благодаря чему возможна ранняя диагностика заболевания. Ученые считают, что их взаимодействие с адсорбированными антителами может привести к изменениям проводимости в устройствах на ОСНТ в зависимости от плотности маркеров на раковых клетках. Это позволит обнаруживать живые раковые клетки в биологических

жидкостях путем неинвазивных (безвредных) или почти неинвазивных процедур.

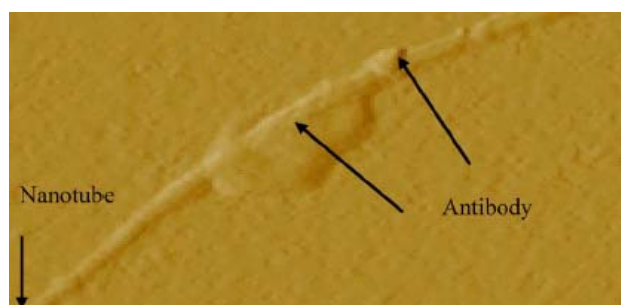


Рис. 1. AFM-изображение присоединения антитела к нанотрубке

Таким образом, предложены два возможных аспекта использования нанотрубок в онкологических исследованиях:

- 1) для локальной доставки лекарственных средств,
- 2) для обнаружения антител, специфичных к анти-онкогенам.

О.Алексеева

1. ПерсТ 10, вып. 20 (2003)
2. ПерсТ 11, вып. 18 (2004)
3. K. Teker et al. IEEE Sensors J. 6, 1422 (2006)

Массив вертикально ориентированных нанотрубок для холодных полевых катодов

Для успешного внедрения углеродных нанотрубок (УНТ) в коммерческие холодные полевые катоды необходимо развить технологию выращивания однородного массива вертикально ориентированных УНТ, обладающих одинаковыми эмиссионными характеристиками, на подложках возможно большей площади. Недавно в результате исследования, выполненного в Univ. Claude Bernard Lyon 1 (Франция) было найдено эффективное средство управления однородностью вертикально ориентированных УНТ. Оказалось, что секрет - в использовании внешнего электрического поля в традиционном методе химического осаждения паров (CVD).

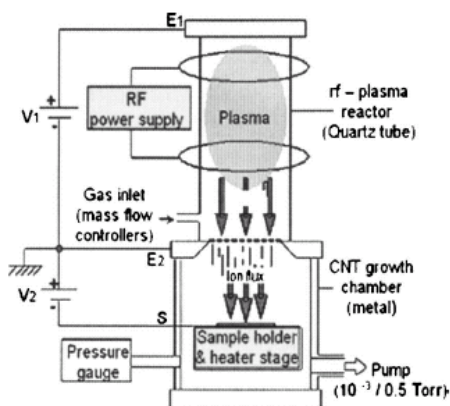


Рис. 1. Схема плазменного реактора для синтеза УНТ
Синтез проводили в двухкамерном плазменном реакторе (рис. 1). В первой камере создавали плазму высокочастотного разряда, которая с помощью

вытягивающего электрического поля транспортировалась во вторую камеру (реактор), оснащенную системой электростатических электродов E_1 , E_2 и S . Использование подобной конструкции позволяет варьировать напряженность электрического поля в области роста УНТ, не вмешиваясь в процесс формирования плазмы.

Подложкой служила система танталовых наконечников радиусом 0.4мм (рис. 2). Поверхность наконечников покрывали наночастицами никеля диаметром ~ 100 нм, которые играли роль катализатора роста УНТ. Синтез УНТ осуществляли в потоке $CH_4 NH_3$ в соотношении 2:3 при полном давлении газа в диапазоне 0.1–0.2Тор и температуре в диапазоне 600–800°C. Напряжение V_1 поддерживали на уровне 50В, а напряжение V_2 варьировали от 0 до 300В. Наблюдения, выполненные в электронном микроскопе, показывают, что вертикально ориентированные УНТ (высотой до 10мкм), отстоящие друг от друга на расстоянии нескольких нм, образуются на подложке только при приложении внешнего электрического поля с напряженностью не ниже 50В/см.

Нанотрубки, входящие в выращенный массив эмиттеров, характеризуются значительным разбросом по высоте. Для выравнивания массива по высоте использовали явление полевого испарения УНТ при эмиссии, в результате которого высота наиболее протяженных УНТ уменьшилась настолько, что их общий вклад в эмиссию значительно возрос.

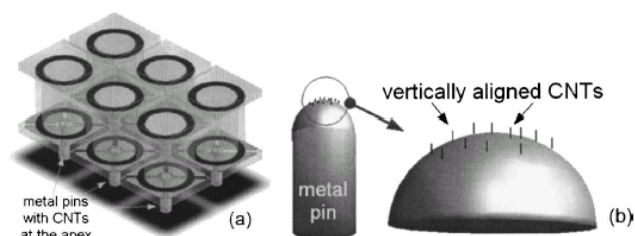


Рис. 2. Подложка в виде системы Ta наконечников (их геометрия показана с различным увеличением)

А.В.Елецкий

1. M.Mauger, Y. T. Binh J. Vac. Sci. Technol. B24, 997 (2006)

В нанотрубки скоро свернут всю неорганику (и органику тоже!)

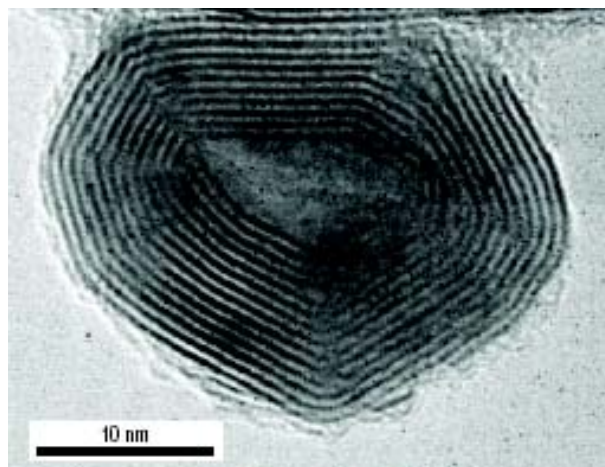
Вскоре после открытия углеродных фуллеренов и нанотрубок начались активные поиски аналогичных неуглеродных наноструктур. Первые «другие» нанотрубки (MoS_2 и WS_2) были синтезированы в 1992 г. [1]. ПерсТ регулярно сообщал о получении Ru , GaN , BN , MoS_2 , WS_2 , VO_x и других нанотрубок (включая нанотрубки-манганиты) и изучении их свойств, а также о работах по моделированию структуры и электронного строения. В последние годы наблюдается заметный всплеск интереса к синтезу самых различных неорганических нанотрубок и фуллереноподобных частиц. Этой теме, а также перспективам применения новых нанотруб-

ных материалов посвящен недавно вышедший обзор R.Tenne [2].

Вначале нанотрубки из сульфидов металлов получали в газофазных реакциях соответствующих оксидов (например, WO_3) с сероводородом. Метод, однако, не годился для менее реакционных оксидов, например, оксидов титана и ниобия. Была разработана новая стратегия, когда прекурсорами стали галогениды или карбонилы металлов. Они нестабильны, и в их реакциях с паром H_2X (где $X = S, Se, Te$) могут быть синтезированы разные MX_2 (M – переходный металл) наноматериалы. Таким способом были получены фуллереноподобные наночастицы NbS_2 , MoS_2 и $MoSe_2$, нанотрубки TiS_2 , а фуллереноподобные наночастицы TiS_2 и WS_2 были синтезированы в реакции галогенидов с серой.

Нанотрубки из разнообразных оксидов металлов были получены путем гидротермального синтеза и с помощью методов золь-гель и интеркаляции-эксполиации. Интересно, что при использовании в качестве template (основы) нанотрубок оксида ванадия удалось синтезировать VS_2 нанотрубки (при том, что объемный слоистый VS_2 не существует). Это – еще одно доказательство стабильности, присущей нанотрубчатым фазам. Применяя различные варианты template-метода, недавно синтезировали много других нанотрубок из квазиизотропных трехмерных (не слоистых) соединений (оксидов, нитридов, сульфидов).

Приведем еще несколько примеров последних достижений. Химическими методами впервые синтезированы нанотрубки сложного состава: WO_2Cl_2 , $[(UO_2)_3(SeO_4)_5]^{4+}$. В больших количествах получены стехиометрические нанотрубки хризотила – минерала, родственного асбесту. (Что самое удивительное – обнаружено, что в отличие от безусловно биотоксичного природного асбеста синтетические нанотрубки оказались безвредными.



Возможно, они заменят волокна асбеста в будущих строительных материалах. Синтезированы фуллереноподобные наночастицы Cs_2O (см. рис.), причем, они оказались довольно стабильными. Это важно, поскольку пленки примерного состава $Cs:O$

= 2:1 повышают чувствительность оптоэлектронных детекторов, используемых, например, в медицине, но, к сожалению, разрушаются даже при кратковременном нахождении в условиях низкого вакуума.

Диапазон применений неуглеродных наноматериалов все время расширяется. Так, фуллереноподобные наночастицы MoS_2 и WS_2 могут использоваться не только как обычные добавки в смазочные материалы. Продemonстрировано первое медицинское применение WS_2 – для уменьшения трения в ортодонтических проволоках. Что важно, в токсикологических тестах доказана безвредность этих наночастиц. В серии других экспериментов показано, что WS_2 и MoS_2 выдерживают ударные волны до 25 и 30 ГПа, соответственно, и при этом нет заметных структурных изменений. Возможно, это самые прочные материалы, известные в настоящее время, и, конечно, они найдут множество применений как защитные – например, для покрытия автомобилей и, возможно, в будущем для упрочнения конструкционных материалов.

VO_x -алкиламин и $H_2Ti_3O_7$ нанотрубки находят применение в исследованиях по спинтронике и электронике. Предполагается, что их можно использовать и в медицине в качестве целенаправленных носителей лекарственных средств. На базе пленок из нанотрубок оксида титана был создан биосенсор на допамин (что очень важно для диагностики и лечения нейродегенеративных заболеваний, например, болезни Паркинсона). Нанотрубки из оксида титана позволили создать высокочувствительный сенсор водорода. Нанотрубки и наночастицы MoS_2 проявили прекрасные каталитические свойства в процессах очистки серы. Недавно была продемонстрирована иммобилизация различных белков и биомолекул на BN нанотрубках, что говорит и о перспективах их применения в биотехнологии и медицине.

Изучение интеркаляции лития в TiS_2 и другие нанотрубки показало их эффективность как электродов электрохимических батарей. Продолжаются экспериментальные и теоретические исследования хранения водорода в нанотрубках – многие авторы считают, что BN нанотрубки эффективнее углеродных.

Хотя в синтезе неуглеродных нанотрубок и фуллеренов достигнут значительный прогресс, и в некоторых случаях эти наноматериалы получают уже в больших количествах (например, BN , MoS_2 , WS_2 , V_2O_5), но еще остаются проблемы контроля их формы и размеров.

Прогресс, достигнутый в синтезе неуглеродных нанотрубок и фуллеренов (причем не только слоистых соединений), открывает новые широкие перспективы....

О.Алексеева

1. R. Tenne et al. *Nature* **360**, 444 (1992)
2. R. Tenne. *Nature Nanotechnology* **1**, 103 (2006)

Переход холодной полевой эмиссии электронов в термоэмиссию в нанотрубках

Разработки холодных катодов на основе углеродных нанотрубок (УНТ) переходят из исследовательской в инженерную стадию. Главные усилия нацелены на определение предельных параметров работающих систем - максимально достижимый ток эмиттера и факторы, ограничивающие его. В каких условиях предельные параметры достижимы?

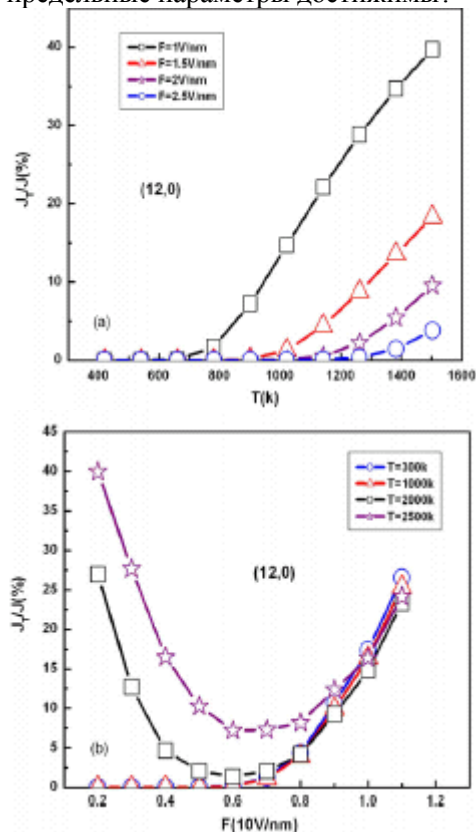


Рис. 1. Типичные зависимости относительного вклада термоэлектронной эмиссии в полный эмиссионный ток от температуры (a) и напряженности поля на кончике однослойных УНТ (b).

Один из таких факторов - нагрев нанотрубки при высоких токах эмиссии. В этом случае к эмиссионному току, определяемому воздействием электрического поля на УНТ, добавляется термоэмиссионный ток, величина которого резко возрастает с температурой. При достаточно высоких полях роль термоэмиссии становится определяющей, в результате чего углеродная нанотрубка, обладающая значительно меньшей величиной работы выхода по сравнению с традиционно используемыми в качестве источников термоэмиссии оксидными катодами, теряет свои преимущества. Детальное теоретическое исследование условий и характера перехода однослойной нанотрубки от режима автоэлектронной эмиссии к термоэлектронной выполнено в Sun Yat-Sen Univ. (Китай). Численные расчеты, выполненные с использованием современных квантово-химических методов, показывают, что относительный вклад термоэлектронной эмиссии в полный эмиссионный ток зависит не только от температуры, но и также и от напряженности электрического

поля. Кроме того, характер указанных зависимостей определяется хиральностью нанотрубки.

Как видно из рис. 1, при любой температуре существует область значений напряженности электрического поля, в которой относительный вклад термоэлектронной эмиссии минимален.

А.В.Елецкий

1. H.Tang et al. J. Phys., D 39, 5280 (2006)

За токсичность углеродных нанотрубок могут быть ответственны примеси

“Cause I’m CNT, not dynamite - потому что я УНТ, не динамит” - назвали свою заметку немецкие ученые из Forschungszentrum Karlsruhe [1], перефразируя известную в свое время песню рок-группы AC/DC¹.

Авторы высказывают свое мнение о токсичности углеродных нанотрубок. Они вспоминают, что уже на начальном этапе их исследования этого вопроса выяснилось, что одних биологических данных мало. Началось тесное сотрудничество биологов, физиков, химиков. Результатом явилась разработка сложных методов очистки наноматериалов от примесей тяжелых или переходных металлов, применяемых в качестве катализаторов синтеза. В настоящее время количество и качество остаточных примесей играет ключевую роль в оценке токсичности. Таким образом, основным направлением работ компаний и институтов, производящих нанотрубки, должны быть разработка более чистых методов синтеза и усовершенствование процедур очистки. Результаты ряда работ говорят о том, что УНТ вызывают гибель живых клеток, однако это, по-видимому, эффект примесей. Чтобы разобраться с токсичностью самих нанотрубок, надо работать с чистыми и стандартизованными наноматериалами (необходимо охарактеризовать их химический состав, размер, площадь поверхности, поверхностный заряд, активность поверхности, агломерацию, растворимость, морфологию). Токсичность надо оценить тщательно и аккуратно, чтобы предотвратить все охи и ахи по поводу этих сложных материалов. Результаты важны и для науки, и для общества в целом. Безусловно, есть какие-то вредные побочные эффекты воздействия наноматериалов на здоровье и экологию, и придется разбираться в них на молекулярном уровне, если мы хотим найти безопасные приемлемые методы их синтеза и использования. Это все-таки нанотрубки, а не динамит, и с ними можно обращаться без риска – если знать как!

О.Алексеева

¹ “I’m dirty, mean, and mightily unclean...’Cause I’m TNT (mpomил), I’m dynamite...”

1. J.M. Wörle-Knirsch, H.F. Krug. Nanotoday 1, №4, p.48 (2006)

НАНОСТРУКТУРЫ

Диэлектрики не виноваты

Значительно улучшить свойства современных кремниевых полевых транзисторов можно было бы, используя в качестве изолятора под электродом затвора не диоксида кремния (как сейчас и делается), а оксидов диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k). Предполагается использование таких диэлектриков и в других приборах, даже в структурах квантовых компьютеров. Диэлектрическая проницаемость high-k диэлектриков достигает величины нескольких десятков, в то время как у диоксида кремния она равна 12. Однако вскоре было замечено, что у тонких слоев подобных диэлектриков эффективная проницаемость оказывается гораздо ниже. Первое предположение, которое пришло на ум, состояло в том, что это приповерхностный нарушенный слой в диэлектрике играет свою негативную роль, т.е. виноват сам диэлектрик. Теперь представление коренным образом изменилось.

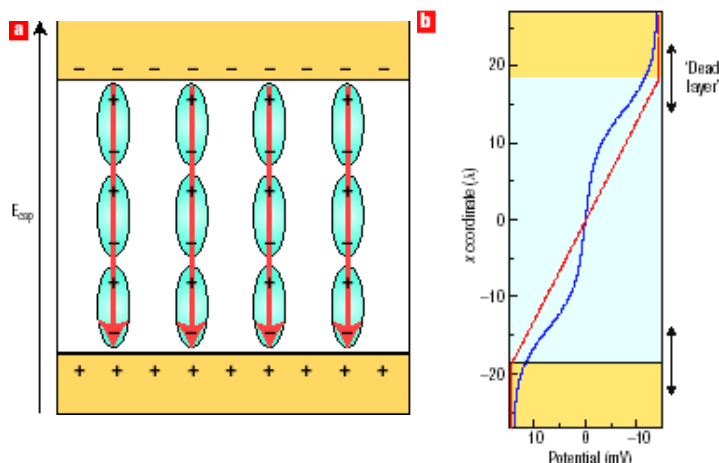


Рис. 1. Диэлектрик в плоском конденсаторе (a) и распределение потенциала (b): красная линия идеальная, синяя – реальная.

Высокая диэлектрическая постоянная обусловлена высокой поляризуемостью атомов или молекул, составляющих диэлектрик (рис. 1a). Это, в свою очередь, требует большого заряда на металлических обкладках конденсатора. Заряд оказывается настолько большим, что уже нельзя пренебречь падением напряжения в самом металле (рис. 1b, синяя кривая). Обычно считают, что экранирующие свойства металла настолько высоки, что все приложенное к обкладкам напряжение падает на диэлектрике (рис. 1b). Качественно объяснение выглядит убедительным. Если еще и расчеты верны, то использование тонких слоев high-k диэлектриков имеет принципиальные физические ограничения, а не технологические, как считалось раньше. Попутно можно отметить, что аналогичная ситуация складывается и у тонких слоев сегнетоэлектриков.

В.Вьюрков

1. *Nature Nanotechnology* 1, 171 (2006)

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовая и классическая механики: что яйцо, что курица?

Обычно полагают, что квантовая механика является более общей наукой и переходит в классическую механику, если устремить постоянную Планка $\hbar$ к нулю. Другого мнения придерживается Андрей Хренников (Växjö Univ., Швеция), который сделал недавно интригующий доклад на семинаре по квантовой информатике во ФТИАН'е.

Предположим, что в природе существуют вполне классические поля, которые осциллируют быстро и случайным образом. Наблюдать эти поля непосредственно мы не в состоянии, поскольку живем в других временных масштабах. Нам доступно только наблюдать средние величины этих полей. Сами поля являются аналогом скрытых параметров в современной квантовой механике. Далее, оперируя обычной математикой для случайных процессов, можно получить аналог вычисления средних в квантовой механике с помощью матрицы плотности для одной частицы. Таким образом, квантовая механика есть просто вычисление классических средних от случайных классических полей.

Естественно, в теории возникает некая безразмерная константа. Она характеризует отношение масштаба времени в квантовой механике, который нам доступен, и масштаба времени в предквантовой механике, который для нас слишком мал. Автор пытается даже оценить величину этой константы. Интересно, что в следующем порядке разложения по этому параметру теория становится нелинейной. Этот вопрос до сих пор обсуждается: является ли квантовая механика линейной или нелинейной.

Конечно, новая теория находится в стадии разработки, пока не ясно, например, как ввести эволюцию во времени. Однако стремление к истине и возросший интерес к основам квантовой механики в связи с квантовыми вычислениями и квантовой коммуникацией стимулируют развитие новых идей. Подробности в статье автора «Квантовая механика для офицеров» [1].

В.Вьюрков

1. <http://lanl.ArXiv.org/abs/quant-ph/0609124>

Атомы переговариваются фотонами

Новые возможности для квантовой коммуникации (а, может быть, и для квантовых вычислений) открывает эксперимент, выполненный недавно *Felinto et al.* [1]. Было доказано, что два идентичных фотона, пройдя 50% делитель, далее распространяются только парой (рис. 1). Аналогичный эксперимент был выполнен еще в 1987 году [2]. Тогда в качестве источника пары фотонов использовался нелинейный кристалл, в котором происходил распад фотонов лазерной накачки. Таким образом, оба фотона от распада выходили из одного источника, и этот источник никак нельзя было разделить на два независимых. Кроме того, фотоны в паре

обычно оказывались не достаточно идентичными (по крайней мере, по частоте), а в этом случае их интерференции не возникает.

В качестве источника одиночных фотонов в новой работе [1] использовались два кластера атомов цезия, находящихся в состоянии, близком к бозе-конденсату, при сверхнизкой температуре. Такие кластеры атомов ведут себя как один «суператом». Они, в принципе, могут быть разнесены на большие расстояния, что и необходимо для квантовой коммуникации. Степень идентичности фотонов в эксперименте оказалась вполне приемлемой и равной 90%. Для определения степени идентичности регистрировались случаи обнаружения обоих фотонов в одном рукаве интерферометра и в разных рукавах. Для различающихся фотонов соотношение этих событий в точности должно быть равно 1. Идентичные фотоны вообще не могут оказаться в разных рукавах. Высокая степень идентичности обусловлена тем, что частота фотонов всегда очень близка к частоте излучения отдельного атома цезия, которая является эталонной.

Поведение кластера атомов как единый суператом по отношению к процессу испускания фотонов было предсказано в работе R. Dicke еще в 1954 году [3], позднее этот эффект был назван сверхизлучением (super-radiant state). Суть его в том, что атомы оказываются в состоянии с одинаковой фазой, если зарегистрировать только один предыдущий испущенный системой фотон. Эффект обусловлен тем, что испущенный фотон находится в запутанном состоянии со всей системой атомов. Измерение этого фотона фиксирует состояние квантовой системы. Если когерентность этой системы не успевает нарушиться, то и следующий фотон будет испущен в том же направлении.

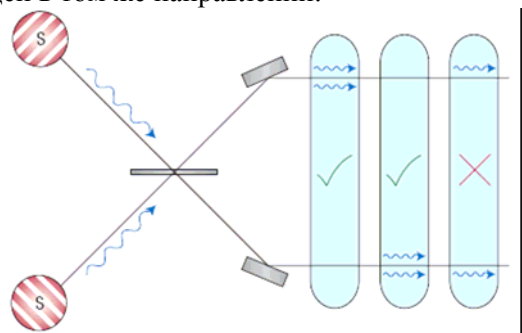


Рис. 1. Тест на идентичность фотонов. Два идентичных фотона, пройдя 50% делитель, далее распространяются только парой.

Сверхизлучение не имеет отношения к лазерному эффекту, в котором фазировка отдельных излучателей (атомов) происходит под воздействием самого излучаемого электромагнитного поля, вызывающего индуцированные переходы. В данном случае речь идет об излучении одиночных фотонов. Практическая ценность эффекта сверхизлучения состоит в том, что вероятность испускания одиночного фотона возрастает во много раз по сравнению с вероятностью испускания фотона от-

дельными атомами в ансамбле независимых атомов. Можно сказать так, что, хотя фотон рождает один атом, остальные атомы коллектива его в этом процессе поддерживают.

Что касается применения идентичных фотонов в квантовой коммуникации, то в 2001 году была опубликована соответствующая работа [4]. Авторы показали, что использование атомных ансамблей и только линейной оптики позволяет осуществить квантовую коммуникацию на больших расстояниях. Главное, что в этой работе была доказана возможность построения повторителей в канале связи. В квантовой механике это очень не просто устроить из-за того, что всякое клонирование (копирование) неизвестных квантовых состояний запрещено.

В.Вьюрков

1. *Nature Phys.* **2**, 844 (comments, *ibid.* p.801) (2006)
2. *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2044 (1987)
3. *Phys. Rev.* **93**, 99 (1954)
4. *Nature* **414**, 413 (2001)

Квантовая телепортация между мезоскопическими объектами

Квантовая телепортация – одна из главных составляющих квантовой информатики. Без нее нельзя обойтись при операциях с удаленными кубитами. В совместной работе физиков Copenhagen Univ.; Univ. Aarhus (Дания) и Max Planck Inst. Quantum Optics (Германия) квантовая телепортация впервые осуществлена между двумя мезоскопическими объектами различной природы: световым импульсом и атомным ансамблем [1]. Это делали следующим образом. При пропускании импульса света через систему из $\sim 10^{12}$ атомов Cs формировалось запутанное состояние импульса и атомов. Затем этот импульс “перемешивался” с телепортируемым импульсом на делителе пучка 50/50, отстоящем от атомного образца на 0.5м, после чего выполнялось совместное (белловское) измерение поляризаций этих импульсов. Далее информацию о результатах измерения использовали для проведения соответствующих операций над ансамблем атомов, который переводили в спиновое состояние, эквивалентное поляризационному состоянию телепортируемого импульса. Томографическая реконструкция конечного атомного состояния показала, что точность (*fidelity*) телепортации составляет 0.58 ± 0.02 и 0.61 ± 0.02 при использовании когерентных импульсов со средним числом фотонов 20 и 5 соответственно. Успешная телепортация носителя квантовой информации (света) на среду ее хранения и обработки (атомы) – важный шаг к созданию распределенных квантовых сетей.

1. *J.Sherson et al, Nature* **443**, 557 (2006)

НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

Нитридный свет на пути к нам

Настоящий новогодний подарок преподнесли мировому светодиодному сообществу сотрудники японской корпорации Nichia: результаты их исследовательской работы привели к созданию белого светодиода (СД) малой площади с эффективностью до 138лм/Вт при 20мА и светодиода большей площади с мощностью до 106лм при 350мА (эффективность более 90лм/Вт) [1].

Ультра-эффективные белые светодиоды созданы на основе синих чипов с гетероструктурами типа *InGaN/GaN*, покрытых *YAG*-люминофором. В чипах использована структурированная сапфировая подложка и *p*-контакты на основе оксидов олова и цинка. Площадь синих чипов составляла $240 \times 420 \text{ мкм}^2$, а их квантовая эффективность достигала 63.3% при токе 20мА. Световой поток на основе таких светодиодов достигал 8.6лм, а светоотдача – 138лм/Вт (кпд – 41.7%). Это несколько превышает светоотдачу белых СД фирмы Cree (на основе чипа стандартного размера, но на подложке из карбида кремния – 131лм/Вт [2]) и в 1.5 раза превышает светоотдачу ламп дневного света (90лм/Вт).

Мощные синие светодиоды на основе чипов большой площади ($1 \times 1 \text{ мм}^2$) имели выходную мощность до 458мВт при токе 350мА; а белые СД давали световой поток до 106лм при 350мА и светоотдачу – до 92лм/Вт (кпд – 27.7%). Кроме того, световой поток мощного белого светодиода достигал 402лм при токе через диод 2А, что соответствует полному световому потоку 30-ти ваттной лампы накаливания.

Таким образом, исследователи Nichia сделали значительный шаг в разработке белых светодиодов для широкого круга задач и подтвердили свой статус одного из лидеров в производстве высокоэффективных и мощных белых светодиодов.

М.Бадгутдинов

1. Y.Narukawa et.al. *Jap. J. Appl. Phys.* **45**, L1084 (2006)
2. http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1150834953712

ИТОГИ

Обо всем...

Совсем скоро наша Земля, в своем вечном обращении за нашей желтой звездой – Солнцем, пройдет ничем, по большому счету, не примечательную точку своей орбиты – ничем, кроме нашей привычки за несколько минут до прохождения этой точки откупорить свои бутылки Шампанского (которое уже на нашей памяти политкорректно отступило на позиции Советского Игристого). Наступит очередной Новый Год – праздник, который не переименовывали и не перемещали в наших краях уже лет триста, отчего он стал привычным и родным, так что все с удовольствием традиционно отмечают прохождение этой, ничем другим не примечательной точки нашей орбиты.

Перст, 2006, том 13, выпуск 20

По той же традиции принято подводить итоги, и этим занимаются также охотно. При этом почти все несколько опережают условленный момент пространства-времени, наверное, чтобы нечаянно не опоздать к основному событию – к открыванию Игристого. Вот и сайт Американского Института Физики <http://www.aip.org/> с опережением распространил свой список наиболее заметных, по их мнению, работ по физике 2006 г. Посмотрим, что там...

Всего в списке около полутора десятков работ, однако, в список дополнительно включены и предшественники некоторых из них, так что общий список достаточно объемный и тематически представительный. В списке нашлось место самым разным тематикам – от реликтового микроволнового излучения до способа обходиться без розетки при зарядке laptop'a. Значительная часть отмеченных работ посвящена «вечным» темам, как в плане обращения к «вечности» – например, к предыстории Вселенной, так и к темам, которые сопровождают развитие физики от поколения к поколению, и которые, видимо, дадут возможность проявить себя еще не одному поколению исследователей. В группе «вечных тем» – работа о «старении» мировых констант. Работы этого направления исходят из мысли о том, что в эволюционирующей Вселенной и физические константы не обязательно должны быть постоянны; однако пока ничего подобного, несмотря на неоднократные попытки, обнаружено не было. Статья Reinhold'a с соавторами в *Phys.Rev.Lett.* от 21 апреля с. г. нарушает эту традицию. Тщательно сравнив положения линий в спектре водорода в лаборатории и в свете, дошедшем до нас от дальних квазаров, авторы решились заявить, что константа сверхтонкого взаимодействия за последние 12 млрд. лет изменилась на $2 \cdot 10^{-5}$ своей величины. Правда, и этот результат едва вытягивает над уровнем шума эксперимента – всего в 3.5 стандартных отклонения.

Многие работы посвящены ранней эволюции Вселенной. Первая в этом ряду – работа, удостоенная Нобелевской премии по физике за текущий год. Результат этой работы – обнаружение флуктуаций фона микроволнового реликтового излучения. Формулировка результата, может быть, не слишком яркая, однако сам результат принципиален. Собственно, наша Вселенная – звезды, галактики, скопления и все, что в ней есть – это некие объекты, отличающиеся от всего остального, от фона. Все, что мы знаем, видим, измеряем – это те или иные неоднородности. Дошедшее же до нас экспериментальное свидетельство состояния Вселенной в течение первых минут после ее образования – реликтовое излучение – было однородно (по крайней мере, нам было неизвестно об обратном). Обнаружение флуктуаций реликтового фона – это обнаружение начала перехода от бесформенного «послеэврынного» состояния к формированию объектов Вселенной. Конечно, обнаруженные флуктуации невелики – они составляют всего 10^{-5} от средней температуры излучения в 2.7К,

но это принципиально важный результат (<http://nobelprize.org>). Карта неоднородностей представлена на (<http://map.gsfc.nasa.gov/>).

Вообще же в направлении «глубокого фундаментализма» заявлено относительно много результатов:

- обнаружение в Дубне элементов 116 и 118;
- исследование «химии» искусственных «атомов» протон-антипротон и электрон-позитрон-электрон;
- работа о плотности кварковой жидкости в протонах и некоторые другие.

Вошла в почетный список и работа, посвященная проверке знаменитой формулы $E = mc^2$. Казалось бы, вот уж что проверено на практике; однако и здесь нашлось место сомнению. Теперь объединенными усилиями пяти институтов и университетов во главе с NIST'ом это соотношение проверено с точностью $4 \cdot 10^{-7}$ – результат, точность которого в пятьдесят пять раз выше прежнего (<http://www.aip.org/pnu/2006/split/761-1.html>).

Есть в списке и работы более земного плана. Среди них – работы по квантовому эффекту Холла в графене (однослойному графитовому листу, вроде «шкурки» от нанотрубки). Помимо прямых результатов, обнаружилась интересная аналогия: как выяснилось, закономерности электронного переноса в графене в некотором плане аналогичны закону распространения света. Это дало повод авторам воспарить над тривиальной реальностью и вспомнить об идее существования параллельных миров, которую до сих пор эксплуатировали лишь фантасты. И действительно, кто сказал, что в параллельных мирах должны обитать злобные внеземляне или зеленые чертики? Почему не может существовать мир, вписанный в лист графена, в котором роль нашего света играют электроны со специфическим законом дисперсии? Эта идея, скорее всего, не очень плодотворна для фантастов; однако физики, которым пришла в голову идея об аналогии, сумели даже оценить, какова должна быть в указанном мире константа сверхтонкого взаимодействия, хорошо известная в нашем мире $1/137$. Оказалось – около 2. Пустячок – а приятно. (<http://www.aip.org/pnu/2006/split/769-2.html>).

Кроме указанного, масса всякого, как на распродаже – от аналогии между колебаниями курса акций с фазовыми переходами и телеклонированием до ускорения частиц по принципу индуцированного

перехода; кроме этого – отдельный список работ по поляритонам.

Ну и, наконец, о возможности подзаряжать laptop без розетки. Из обсуждаемой работы следует, что можно (<http://www.aip.org/pnu/2006split/801-1.htm>). Если кто-то забыл основы функционирования трансформатора и устройство резонансного контура, то в этой работе можно найти много нового и интересного. В целом же гораздо проще и содержательней подсоединить к laptop'у велосипедную динамомашинку. Интересней другое – почему эксперты и редакторы *Physics News Update* сочли тривиальную работу достойной широкой огласки?

Не исключено, что перед нами (возможно, бессознательное) проявление реакции на то, что наука становится все более дорогой и высокотехнологичной, все дальше уходит от своих натурфилософских корней, от наглядности задач и ясности формулировок. Все больше новых результатов на самых фундаментальных направлениях мы получаем на безумно сложных и дорогих ускорителях и космических станциях. Проверка гипотез затягивается на десятилетия, а простая перепроверка работ другими исследователями – то, на чем стояла физика от основания – становится экзотикой либо просто является невозможной, например, если эксперимент был проведен в рамках крупного проекта – на второй такой же денег точно не дадут!

Однако оставим консервативное брюзжание. Приближаясь к упомянутой особой точке и оглядываясь на прожитый год, согласимся, что поводов для радости и для огорчений было по порядку величины примерно одинаково. Отсюда следует, что, во-первых, могло быть и хуже, а, во-вторых, не исчерпаны варианты улучшений.

Значит, есть, за что поднять тост, когда мы откупорим свою бутылку Игристого!

Будьте здоровы!

М.Компан,

к Новому году тосту которого присоединяется вся остальная редакция ПерсТа – Ольга Алексеева, Володя Вьюрков, Мансур Бадгутдинов, Александр Елецкий, Юрий Метлин, Роман Моргунов, Светлана Корецкая, Клим Кугель, Леонид Опенов, Ирина Фурлетова, Стас Широков, Алла Чернышова, Сергей Чикичев

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

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, М.Белоголовский, В.Вьюрков, А.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенов

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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