

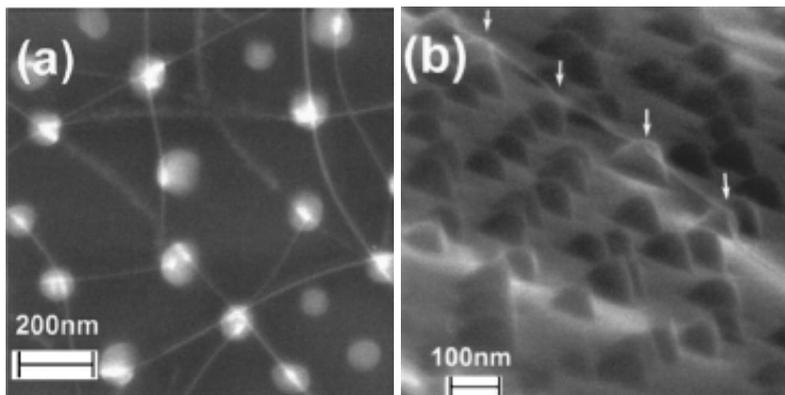
В этом выпуске:

## ПРОРЫВ

### Углеродная нано-ЛЭП на Si-опорах

Рождающаяся новая наноэлектроника стоит на двух «китах» - полупроводниковых нанокристаллах (нк) и углеродных нанотрубках (нт). И пока они не встречались. А что будет, если изолированные нанокристаллы соединить между собой с помощью нанотрубок?. Другой вопрос – можно ли это сделать и как?

Интересный ответ на этот вопрос дала большая группа исследователей (B.Yang, M.S.Marcus, D.G.Keppel, P.P.Zhang, Z.W.Li, B.J.Larson, D.E.Savage, J.M.Simmons, O.M.Castellini, M.A.Eriksson, M.G.Lagally) из Univ. Wisconsin-Madison (США), опубликовавшая его 22 июня 2005 г. в Appl. Phys. Lett. [1]. В работе получен красивый и неожиданный результат: виспячие углеродные нанотрубки прямо по воздуху соединяют кремниевые наноопоры из нанокристаллов. Процедура синтеза этого наночуда довольно проста. Нк-Si получали отжигом структуры кремний-на-изоляторе (толщина слоя кремния 10нм) в сверхвысоком вакууме при 950°C в течение 1 мин. При этом сплошная плёнка распалась на совокупность нк-Si высотой 100-150нм, диаметром основания 90нм и средним расстоянием между ними ~200нм. Затем на эту поверхность наносили катализатор (осаждением слоя FePt из сильно разбавленный раствора FePt соли или испарением 1-2нм слоя Fe). Подложку загружали в реактор, нагревали до 900°C и над ней пропускали поток смеси метана (400см<sup>3</sup>/мин.) с водородом (20см<sup>3</sup>/мин.) при почти атмосферном давлении.



Наблюдения в сканирующем электронном микроскопе (см. рис.) показали, что подавляющее большинство нанотрубок росли с вершин нк-Si и, более того, перекидывались с одного нанокристалла на другой, не касаясь подложки (в точности как провода в линии электропередачи!). Сразу возникают несколько «почему».

Во-первых, почему рост нанотрубок начинается с вершин, ведь частички катализатора распределены равномерно (это специально проверялось)? Есть они на Si кристалликах, есть и между ними и везде готовы породить нанотрубку. Моделирование газодинамической обстановки в CVD-реакторе показало, что ансамбль нк-Si с

И далее ...

## НАНОСТРУКТУРЫ

2 Твердотельный рефрижератор размером с чип

3 Молекулярные контакты на кремнии

Конструирование поверхностных плазмонов

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

5 Криток в ВТСП: просто добавь кальций...

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

6 Экзоэлектронная эмиссия однослойных углеродных нанотрубок

6 Полевой эмиттер на цинките

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

7 "Полуклассическое" квантовое преобразование Фурье

## ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

8 «Наногазон» для батареек

## КОНФЕРЕНЦИИ

June 20-23, 2006. Oviedo, Spain.  
8<sup>th</sup> International Workshop on Non-Crystalline Solids.

## СЕГОДНЯШНИЕ РЕКОРДЫ

Термоядерный реактор-токамак со сверхпроводящим магнитом для удержания горячей плазмы.

На европейском токамаке JET и японском JT-60 выходная мощность приближается к входной. Рекорд достигнут на JET: максимальная выходная мощность 16МВт.

В токамаке ITER, планируемом к запуску в 2015 г., ожидают выходную мощность 400-700МВт, превосходящую входную.

Nature, 2005, 435, 1142

вышеуказанными параметрами организует области застоя между островками, где скорость потока стремится к нулю, так что молекулы метана просто не доходят до катализатора, лежащего на подложке.

Во-вторых, почему образуются висячие нанотрубки? На плоской подложке нанотрубки растут вдоль поверхности, так как вездесущие силы Ван-дер-Ваальса заставляют их липнуть к подложке (для трубки диаметром 10 нм энергия адгезии составляет 8 эВ/нм). Другое дело нк-Si: если трубка начнёт расти, огибая профиль нанокристаллов, то ей придётся изгибаться-деформироваться. И если радиус скругления вершины нк-Si меньше 500 нм, трубке энергетически выгодно отлипнуть от него, т.е. стать висячей.

Главной же загадкой остаётся некая мистическая направленность роста висячей нанотрубки. Откуда ей знать, где расположен соседний нанокристалл, чтобы двигаться именно в эту сторону и, наконец, припасть к его вершине? Авторы [1] не дают ответа на этот вопрос, но сообщают статистику своих наблюдений: из 177 нанотрубок только 4% стартовали с подложки и не стали перемычкой между нк-Si, тогда как 87% соединяют кремниевые островки. Вот уж поистине - красоты без тайн не бывает.

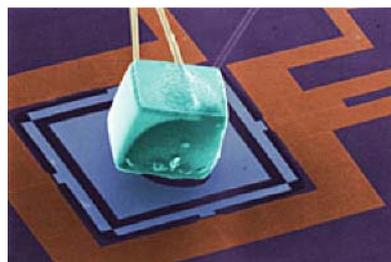
Как бы там ни было, но углеродная наносеть на кремниевых опорах стала объективной реальностью. И, может быть, в списке специальностей XXI века появится новая – наноэлектромонтажник.

С. Чикичев

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **86**, 263107

## НАНОСТРУКТУРЫ

### Твердотельный рефрижератор размером с чип



Широкому использованию некоторых типов электронных устройств с микроскопическими размерами и очень низкими рабочими температурами в настоящее время

препятствует отсутствие надежных и сравнительно дешевых систем для их охлаждения. Сотрудники Nat. Inst. Standards and Technology (NIST, США) в работе [1] сообщили об изготовлении микрорефрижератора, с помощью которого удалось охладить кубик из Ge с длиной ребра 250 мкм до  $T = 220$  мК. Принцип его действия очень простой. Он основан на эффекте туннелирования в контакте NIS (N – нормальный металл, I – изолятор, S – сверхпроводник). У сверхпроводника в плотности электронных состояний имеется щель, причем в термодинамическом равновесии уровень Ферми металла попадает в центр этой щели, так что туннелирование электронов через диэлектрическую прослойку из метал-

ла в сверхпроводник невозможно. При достаточно большом напряжении на контакте химпотенциал металла попадает в центр этой щели, так что электроны теперь могут туннелировать в незанятые состояния, расположенные выше щели (см. рис.1 из статьи [2]). Так как в сверхпроводник туннелируют только электроны с энергиями вблизи уровня Ферми (т.е. самые высокоэнергетичные), то суммарная энергия оставшихся электронов уменьшается, и металл охлаждается.

«Это – так же, как испарение самых разогретых молекул вызывает охлаждение в кондиционере с увлажнением воздуха» - поясняет один из авторов Joel Ullom [3]. Разработчики использовали четыре пары приборов, имевших размеры  $25 \times 15$  мкм<sup>2</sup>, для охлаждения объекта с размерами  $450 \times 450$  мкм<sup>2</sup> от температуры 320 мК до 225 мК. «По объему это аналогично тому, как если бы холодильник размером с человека охладил Статую Свободы» - говорит Ullom. Комбинация He<sup>3</sup> холодильников и устройств с электронным туннелированием могла бы в пределе охлаждать объекты сантиметрового размера до 100 мК и ниже. Такая комбинация была бы полезна для многих криогенных задач, таких как рентгеновские датчики для выявления дефектов в материалах полупроводниковой промышленности, детекторы фотонов на космических аппаратах для исследования поляризации космического микроволнового фона.

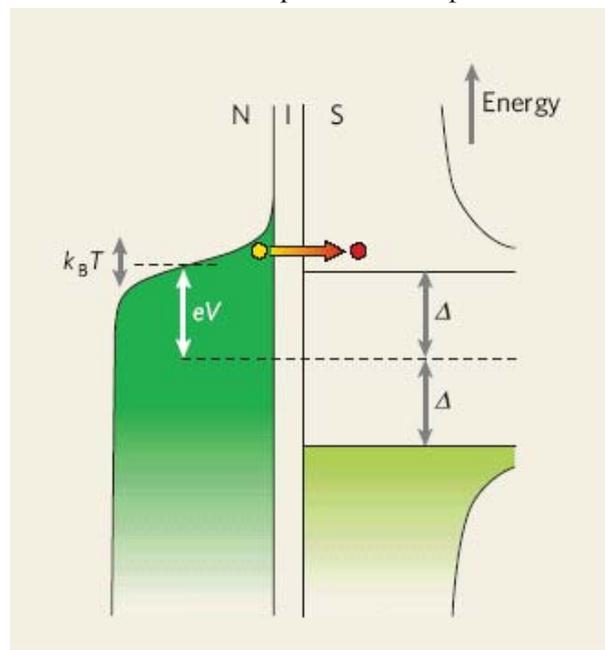


Рис. 1. Иллюстрация принципа работы NIS-микрорефрижератора. Пунктирная линия – химический потенциал;  $V$  – напряжение на контакте;  $\Delta$  – сверхпроводящая щель.

На практике, конечно, приходится попутно решать целый ряд проблем с целью увеличения мощности охлаждения и т. д. Как бы то ни было, авторы упомянутой статьи полагают, что усовершенствование системы отвода тепла позволит достичь еще более

низких температур, вплотную приблизившись к абсолютному нулю.

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **86**, 173508
2. *Nature* 2005, **435**, 889
3. <http://physicsweb.org/articles/news/9/4/16/1#050416>

### **Молекулярные контакты на кремнии**

Научиться контролировать проводимость отдельных молекул – значит проложить дорогу к дальнейшей миниатюризации электронных устройств и переходу с микро- на наноуровень. Исследования контактов металл–молекула–металл показали, однако, что им присущ геометрический беспорядок, который приводит к невоспроизводимости физических характеристик. Один из способов избежать этого – заменить металл на полупроводник, чтобы роль “интерфейса” молекула–электрод играли два атома, соединенные друг с другом ковалентной связью. В недавней совместной работе ученых Univ. Alberta (Канада), Nat. Inst. Nanotechnology (Канада) и Univ. Liverpool (Англия) [1] показано, что контакт между органической молекулой и поверхностью *H-Si(100)* можно изготовить за счет “болтающейся связи”, которая образуется при удалении с поверхности одного атома водорода. Эффективное поле на контакте определяется зарядовым состоянием поверхностного атома кремния. Изменение электростатического потенциала молекулы влияет на ее проводимость. И все это – при комнатной температуре. Не исключено, что уже в ближайшем будущем контакты такого типа составят фундамент молекулярной электроники.

1. *Nature* 2005, **435**, 658

### **Конструирование поверхностных плазмонов**

Как известно, вдоль границы проводника с диэлектриком могут распространяться поверхностные электромагнитные волны в широком диапазоне частот, от нулевой до оптических. Эти поверхностные моды обусловлены взаимодействием между электромагнитным полем и колеблющимися в нем электронами проводимости. В оптическом диапазоне частот такие моды, распространяющиеся вдоль поверхности металла, называют поверхностными плазмонами (surface plasmon). Для них характерны максимальная величина поля на поверхности раздела и ее экспоненциальное спадание в обе стороны от поверхности, но с различной скоростью: ~ 10нм в металлической подложке и ~ 100нм в диэлектрическом слое [1]. Однако, в микроволновом диапазоне металлы можно рассматривать в приближении идеального проводника, и в этом случае проникновение поля в металл по сравнению с длиной волны можно считать нулевым, а его протяженность в диэлектрике – бесконечной (см. рис.1). Другими словами, поверхностная мода вырождается в данном случае в поверхностный ток.

Недавно в работе [2], выполненной J. V. Pendry с соавторами, было предсказано, что даже в пределе идеального проводника, на том же металле системой отверстий, имеющих размеры меньше длины волны, могут поддерживаться локализованные вблизи поверхности электромагнитные волны, аналогичные поверхностным плазмонам.

Причина в том, что, хотя поле не может распространяться по узким каналам (чтобы проводящая трубка стала волноводом, в ее поперечном сечении должна уложиться хотя бы одна полуволна), отверстия позволяют полю проникать на некоторую глубину внутрь подложки, тем самым изменяя общую конфигурацию электромагнитного поля при поверхности. Другими словами, идея, предложенная авторами работы [2], подразумевает «конструирование» искусственной поверхностно-плазмонной моды практически на любой частоте, меньше собственной плазменной частоты металла!

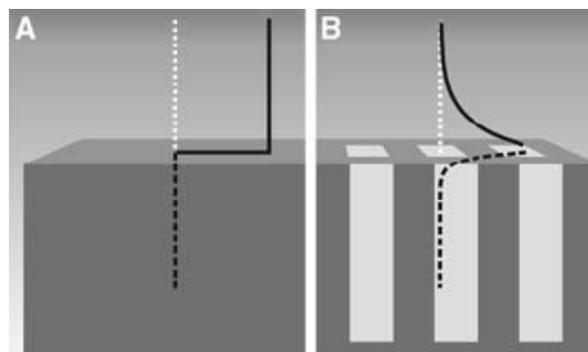


Рис. 1. Схематическое представление электрических полей, связанных с модой, распространяющейся вдоль поверхности металла. На микроволновых частотах металл является почти идеальным проводником. (А) Поле практически полностью вытеснено из подложки, но простирается на многие сотни длин волн в область диэлектрика. Поверхностная мода практически полностью сводится к поверхностному току. (В) Существенное увеличение эффективной глубины проникновения поля в проводящую подложку, перфорированную системой отверстий с поперечными размерами меньше длины волны. Отверстия позволяют полю проникать в структуру, экспоненциально спадая в глубину. Такая конфигурация полей соответствует наблюдающейся в оптическом диапазоне для поверхностных плазмонных мод

Авторы работы [3] из университета г. Эксетер (Англия) провели экспериментальную проверку этой идеи. Путем тщательного подбора размера и периодичности отверстий им удалось понизить эффективную «поверхностную плазменную» частоту металлической подложки до микроволнового диапазона. Экспериментальные результаты также хорошо согласуются с развитой теми же авторами численной моделью.

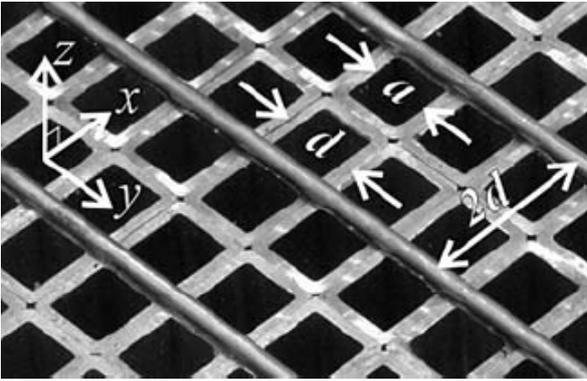


Рис. 2. Фотография сконструированного «образца»: видны квадратные латунные трубки и латунные стержни. Последние внесены в конструкцию для усиления связи падающего на образец излучения с поверхностной модой.

Образец размером  $300 \times 300 \text{ мм}^2$  представлял собой систему латунных трубок квадратного сечения с длиной 45 мм, стороной 9.525 мм и внутренним размером  $a = 6.960 \text{ мм}$  (рис. 2). Этому размеру соответствует частота обрезания (т.е. ниже которой распространение электромагнитных волн в волноводе запрещено) 21.54 ГГц.

На рис. 3 представлен типичный спектр отражения образца, демонстрирующий резонансную поверхностную моду при  $\sim 12.3 \text{ ГГц}$ .

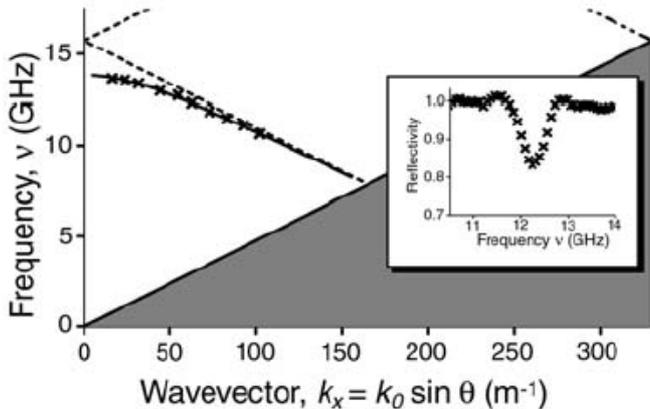


Рис. 3. Дисперсия поверхностной моды на искусственном образце. Облучение  $TM$ -поляризованной волной ведется по нормали. Частота резонансов, полученная экспериментально ( $\times$ ) и в численной модели (сплошная линия) практически совпадают. В заштрихованной области прямой связи падающего излучения с поверхностной модой нет. Пунктирные линии представляют линии первого порядка дифракции для  $K_x = \pm 2\pi/d = \pm 330 \text{ м}^{-1}$  для системы цилиндрических стержней. Вставка: спектр отражения  $TM$ -поляризованной волны, полученный при  $\theta \approx 14$ , демонстрирующий резонансную поверхностную моду на частоте  $\sim 12.3 \text{ ГГц}$ .

Данные, приведенные на рис. 4, представляют полученное в численном моделировании распределение электрического поля, сильно напоминающее картину, типичную для поверхностных плазмонов.

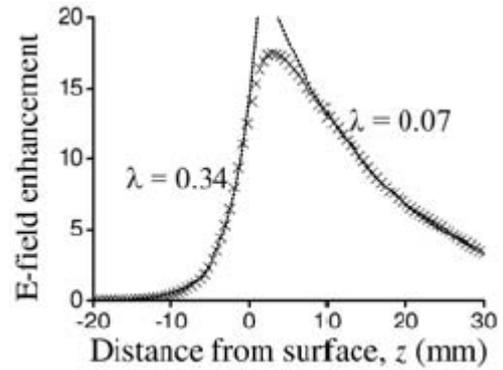


Рис. 4. Усредненная по времени величина электрического поля ( $\times$ ), рассчитанного в области при поверхности образца ( $z = 0$ ) вдоль оси трубки. Линии представляют экспоненциальные аппроксимации.

И, наконец, рис. 5 демонстрирует распределение величины и направления вектора Пойнтинга вблизи поверхности (напомним, что физический смысл вектора Пойнтинга – направление и интенсивность переносимого электромагнитным полем потока энергии). Хорошо видно направление распространения электромагнитной энергии вдоль поверхности.

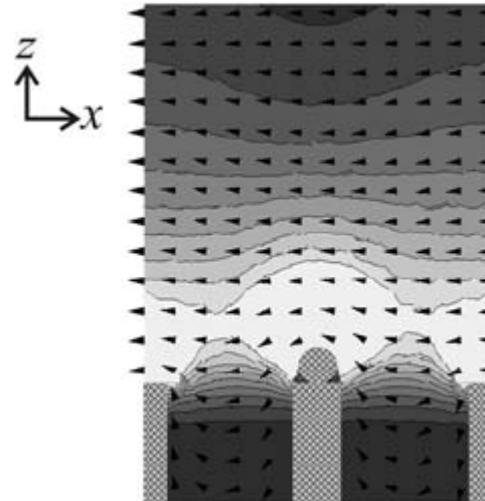


Рис. 5. Направление и величина вектора Пойнтинга, рассчитанные для приповерхностной области. Область белого цвета соответствует увеличению электрического поля приблизительно в 40 раз и потока энергии – в 300 раз

Таким образом, приведенные результаты показывают, что идея J. V. Pendry открывает широкие возможности для конструирования новых, необычайно интересных как с точки зрения «чистой» науки, так и для практических приложений (например, в области связи) «метаматериалов» путем структурирования проводящих (сверхпроводящих) пленок и поверхностей.

Л. Дунин-Барковский

1. W. L. Barnes et al., *Nature* 2003, **424**, 824
2. J. V. Pendry et al., *Science* 2004, **305**, 847
3. A. P. Hibbins et al., *Science* 2005, **308**, 670

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Критток в ВТСП: просто добавь кальций...

Широкомасштабному практическому использованию ВТСП в сверхпроводящих кабелях препятствует значительно более низкая (по сравнению с монокристаллами) величина критической плотности тока  $J_c$  поликристаллических образцов. Это связано с чрезвычайно высокой чувствительностью  $J_c$  к малейшей разориентации кристаллографических осей соседних зерен. Если угол разориентации превышает  $\theta = 2^\circ \div 7^\circ$ , то  $J_c$  через межзеренную границу падает экспоненциально. Среднюю величину  $\theta$  можно уменьшить путем текстурирования образца. Это позволяет слегка улучшить ситуацию, но в целом проблему не решает.

Недавно было замечено [1], что добавление в керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  атомов  $Ca$  приводит к росту  $J_c$ . Этот эффект объяснили уменьшением концентрации дырок при замещении  $Y^{3+}/Ca^{2+}$ . Однако четкое понимание механизма влияния допирования кальцием на межзеренные границы до недавнего времени отсутствовало. В работе [2] интернационального коллектива физиков из Японии (Univ. Tokyo), Германии (Univ. Gottingen) и США (Brookhaven Nat. Lab., Oak Ridge Nat. Lab., Vanderbilt Univ., Univ. California-Davis) представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований этого вопроса. Расчеты из первых принципов показали, что энергия, необходимая для замещения атомов  $Y$ ,  $Ba$  и  $Cu$  на атомы  $Ca$ , существенно зависит от величины и знака (сжатие или растяжение) деформации в плоскости  $a-b$  (см. рис.1а). Чем меньше эта энергия, тем энергетически выгоднее соответствующее замещение. Из рис.1а видно, что без деформации имеет место замещение  $Y/Ca$  – в соответствии с экспериментальными данными для монокристаллов. Однако при сжатии или растяжении свыше  $\sim 6\%$  предпочтительнее становится замещение  $Ba/Ca$  или  $Cu/Ca$ , которое конкурирует с замещением  $Y/Ca$ . Это связано с тем, что ионные радиусы  $Y$  и  $Ca$  примерно равны, тогда как ионные радиусы  $Ba$  и  $Cu$  на 20%, соответственно, больше и меньше, чем у  $Ca$ . Валентность же элементов не играет определяющей роли. Поскольку в поликристаллических образцах области вблизи межзеренных границ сильно деформированы, то в этих областях  $Ca$  замещает преимущественно не  $Y$ , а  $Ba$  и  $Cu$ , уменьшая тем самым локальную деформацию.

Почему же в результате увеличивается  $J_c$ ? Оказывается, что энергии формирования кислородных вакансий в плоскостях  $CuO_2$  и цепочках  $Cu-O$  при деформации уменьшаются (см. рис.1б). Поэтому в недопированных кальцием образцах  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  происходит сегрегация кислородных вакансий вблизи межзеренных границ, и сверхпроводящие характеристики последних ухудшаются из-за понижения концентрации дырочных носителей. Добавка кальция уменьшает деформацию и делает об-

разование кислородных вакансий энергетически очень невыгодным. Химический состав межзеренных границ и примыкающих к ним областей остается близким к стехиометрическому, и  $J_c$  возрастает по сравнению с величиной в образцах без  $Ca$ .

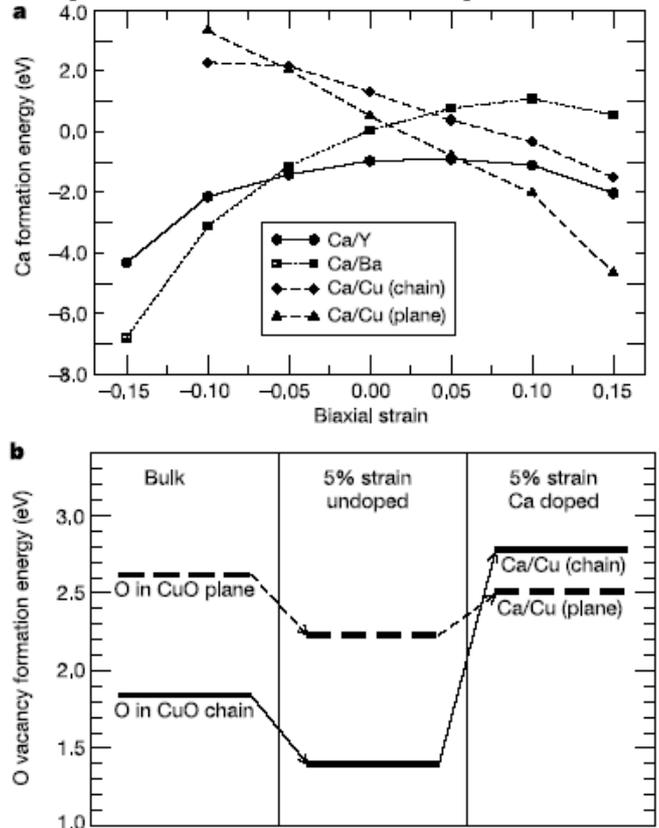


Рис.1 Результаты первопринципных расчетов для объемных образцов  $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ .

а) Энергии замещения атомов  $Y$ ,  $Ba$ ,  $Cu$  на атомы  $Ca$  как функции деформации в плоскости  $a-b$ .

б) Энергии формирования кислородных вакансий в плоскостях  $CuO_2$  и цепочках  $Cu-O$ : недопированный образец без деформации (слева); недопированный образец с 5%-ой деформацией растяжения в плоскости  $a-b$  (в центре); допированный кальцием образец с 5%-ой деформацией растяжения в плоскости  $a-b$  (справа).

Теоретические расчеты были подтверждены авторами [2] экспериментально путем измерения спектров потерь энергии быстрых электронов ( $EELS$ ), что позволило получить изображения границ зерен в тонких пленках  $YBa_2Cu_3O_{7.8}$  и  $(Y,Ca)Ba_2Cu_3O_{7.8}$  с атомным разрешением. Наблюдались все предсказанные особенности структуры межзеренных границ (при этом величина  $J_c$  в допированных кальцием пленках была на 30% больше). Полное согласие теории и эксперимента говорит о том, что вопрос о физической причине увеличения  $J_c$  при допировании  $YBa_2Cu_3O_{7.8}$  кальцием можно считать решенным.

Заметим, однако, что оптимальным для допирования следует считать такой элемент, добавка которого не только ведет к росту  $J_c$ , но и не ухудшает при этом другие сверхпроводящие характеристики. Поскольку допирование кальцием приводит к умень-

шению концентрации дырок (из-за различия валентностей  $Ca$  и  $Y$ ) и, следовательно, к понижению  $T_c$ , то кальций не является идеальным допирующим элементом. В качестве альтернативы можно было бы попробовать серебро, у атомов которого ионный радиус практически такой же, как у  $Y$ , и которое может быть изовалентно с  $Y$ , не изменяя концентрацию дырок (а следовательно, и  $T_c$ ) в зернах, но увеличивая  $J_c$  через межзеренные границы за счет того же механизма, что и в случае  $Ca$ .

Л. Опенов

1. G.Hammerl et al., *Nature* 2000, **407**, 162
2. R.F.Klie et al., *Nature* 2005, **435**, 475

## ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

### Экзоэлектронная эмиссия однослойных углеродных нанотрубок

Значительное число публикаций последних лет посвящено изучению особенностей и оптимального режима работы холодных катодов на основе углеродных нанотрубок (УНТ). В работе [1], выполненной совместно группой исследователей из ИРЭ РАН и ИОФ РАН, сообщается о наблюдении аномальных особенностей в эмиссии из однослойных нанотрубок, которые проявляются при повышенных величинах приложенного напряжения. УНТ синтезированы стандартным электродуговым методом в атмосфере гелия в присутствии  $Ni:Y_2O_3$  катализатора. Слои нанотрубок осаждали на подложку методом жидкофазного электрофореза из спиртовой суспензии. Автоэлектронную эмиссию полученного катода исследовали в вакууме  $10^{-9}$  Торр. Анодом служил сферический зонд из нержавеющей стали (диаметром 2мм), расположенный на расстоянии 200 – 400мкм от катода. Вольт-амперная эмиссионная характеристика образца, измеренная при повышении приложенного напряжения от 600 до 1000В и выраженная в стандартных координатах Фаулера-Нордгейма, представляет собой прямую линию. Это указывает на автоэлектронную природу эмиссии. Небольшое отклонение от прямой в сторону пониженных токов наблюдается в области максимальных напряжений, что, по мнению авторов, связано с изменением формы головок УНТ под действием повышенного тока. После того как катод проработал при максимальном токе в течение 30 минут, повторное измерение вольт-амперной характеристики проводили при снижении приложенного напряжения от 1000 до 600В. Отмечено, что эмиссионный ток при пониженных величинах приложенного напряжения существенно (на 2 – 3 порядка) превышает величины, наблюдаемые при первичных измерениях. Этот тип дополнительной эмиссии электронов авторы работы отождествляют с экзоэлектронной эмиссией, вызванной механическими напряжениями и дефектами, возникающими в УНТ под действием электростатических сил. Эк-

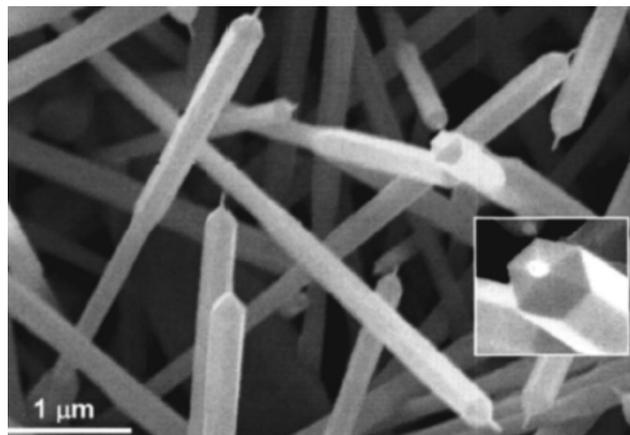
зоэлектронная эмиссия нестационарна и быстро спадает со временем.

А.Елецкий

### 1. Письма в ЖЭТФ 2005, **82**, 52

#### Полевой эмиттер на цинките

ПерсТ постоянно отслеживает ситуацию с разработкой холодных катодов на углеродных нанотрубках – их преимущество в сравнении с множеством других материалов для этих целей в низком пороговом напряжении эмиссии электронов. Чтобы из проводящего вещества вырвать электроны электрическим полем, т.е. путём «холодной» или полевой эмиссии, надо этому веществу придать форму остррия. И чем острее острие – тем лучше, потому что тем больше будет «вырывающее» поле при заданной разности потенциалов между острым катодом и плоским анодом. Если же на этом принципе делать плоские дисплеи, то острий на кв. см подложки должно быть очень много, а материал, из которого они сделаны, должен быть термически и химически стойким. Но главное – изготовление мультиострийных катодов должно быть дешёвым, потому что речь идёт о десятках и сотнях квадратных метров готовой продукции. В этом отношении внимание исследователей всё больше привлекает и такой полупроводник, как оксид цинка (цинкит,  $ZnO$ ).



О своих последних результатах по цинкитовому эмиттеру электронов сообщила группа сотрудников нескольких университетов Тайваня [1]. Процесс изготовления включал следующие этапы. В кварцевый реактор загрузили пластину  $n$ -Si, а под ней (на расстоянии 1мм) цинковый порошок. Никаких катализаторов и прочих присадок не использовали. Реактор продували аргоном ( $54\text{см}^3/\text{мин}$ ) и нагревали со скоростью  $20^\circ\text{C}/\text{мин}$ . По достижении  $450^\circ\text{C}$  к аргону добавляли кислород ( $3\text{см}^3/\text{мин}$ ). При этом общее давление в реакторе составляло 15Торр. Нагрев прекращали при  $550^\circ\text{C}$  и выдерживали при этой температуре 30мин. Затем медленно охлаждали систему, а давление понижали с 15 до 5Торр. Извлечённая из реактора подложка оказалась покрытой белесоватым полупрозрачным слоем.

При рассмотрении в растровом электронном микроскопе выяснили, что слой представляет собой

настоящий бурелом из шестигранных  $ZnO$  нанокандалашей (со средним диаметром 200нм), большая часть которых была увенчана цинкитовыми же наногрифелями (диаметром 20-30нм). Авторы [1] полагают, что заточка грифелей происходила в процессе охлаждения, когда всё меньше и меньше атомов цинка поступало на подложку. Более подробное исследование грифелей в высокоразрешающем электронном просвечивающем микроскопе показало, что они покрыты «нанопупырышками» диаметром всего 2-3нм.

Эмиссионные свойства заточенных нанокандалашей исследовали в вакууме  $\sim 5 \times 10^{-6}$  Торр. Анодом служила стеклянная пластинка с проводящей плёнкой из оксидов индия-олова, размещённая на расстоянии 214мкм от катода. Эмиссионный ток измеряли при увеличении приложенного напряжения от 1 до 1000В (ступеньками по 5В). При поле 3.7В/мкм плотность эмиссионного тока ( $j$ ) составила 10мкА/см<sup>2</sup>, а при поле 4.6В/мкм,  $j=1.3$ мА/см<sup>2</sup>. Таким образом, пороговое поле оказалось больше, чем у эмиттеров на основе углеродных нанотрубок, но меньше, чем у других полупроводников, в том числе и ранее изготовленных  $ZnO$  наноструктур. Испытали нанокандалашные эмиттеры и на выносливость - 30 раз поле меняли от 0 до 5В/мкм. Деградации не было.

Не исключено, что это – ещё одно полено в топку разгорающегося цинкитового ренессанса.

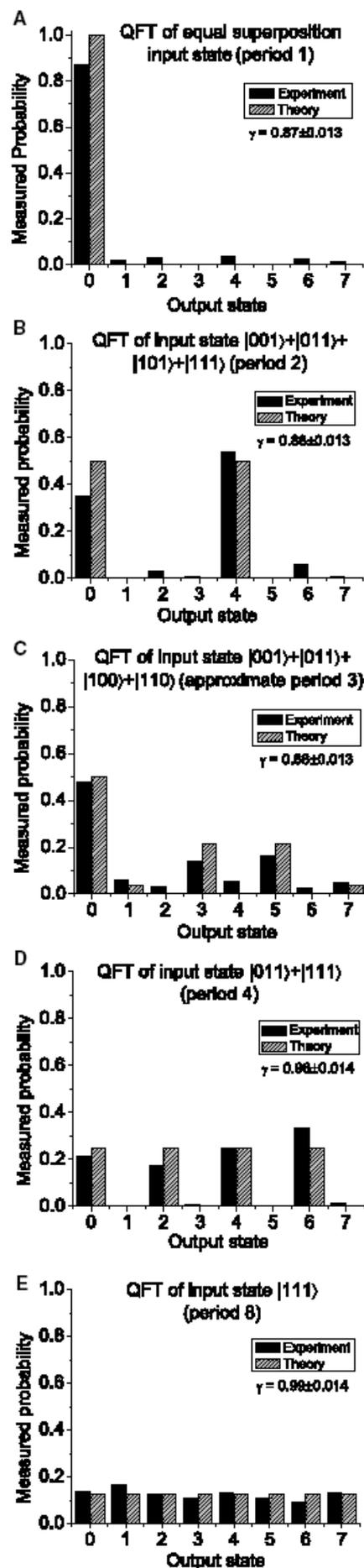
С.Чикичев

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, 87, 013110

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### "Полуклассическое" квантовое преобразование Фурье

Дискретное квантовое преобразование Фурье (КПФ) является основой большинства алгоритмов обработки квантовой информации, обеспечивающих экспоненциальное ускорение по сравнению с классическими алгоритмами. Например, в методе факторизации больших целых чисел, предложенном Шором, КПФ используется для определения периода набора квантовых амплитуд. Поскольку решение этой задачи требует знания лишь амплитуд вероятностей, то относительные фазы несущественны, и поэтому КПФ можно заменить на более эффективное "полуклассическое" КПФ, для выполнения которого достаточно лишь однокубитных операций. Это приводит к существенному упрощению, так как позволяет обойтись без операций запутывания в протоколе КПФ и значительно уменьшить полное число операций.



Результаты "полуклассического" КПФ для пяти различных начальных состояний. Величина  $\gamma$  – мера отклонения эксперимента от теории.

Впервые КПФ было экспериментально реализовано [1] в системе ядерных спинов с использованием методики ЯМР. Это достижение, однако, следует рассматривать лишь как демонстрацию принципиальной осуществимости КПФ с "физическими кубитами" на современном аппаратно-технологическом уровне. С точки зрения масштабируемости гораздо более перспективной системой представляются ионы в магнитной ловушке [2]. В работе [3] для реализации "полуклассического" КПФ использованы три иона  ${}^9\text{Be}^+$  в многозонной ловушке. Ионы (все вместе или по отдельности) перемещали из одной зоны в другую путем синхронного изменения потенциалов на контролирующих электродах. Состояния  $|0\rangle = |F=1, m_F=-1\rangle$  и  $|1\rangle = |F=2, m_F=-2\rangle$  играли роль логических состояний каждого кубита. Операции с кубитами осуществляли посредством двухфотонных рамановских переходов. Состояния кубитов определяли путем их проецирования с использованием резонансной флуоресценции (в состоянии  $|1\rangle$  ионы флуоресцируют, а в состоянии  $|0\rangle$  – нет).

1. *Nature* 2001, **414**, 883
2. *Nature* 2002, **417**, 709
3. *Science* 2005, **308**, 997

## **ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК «Наногазон» для зарядки батарейки**

Благодаря сотрудничеству фирм Lucent Technologies и mPhase (США), работающих в области нанотехнологий, скромная батарейка мощно прибавляет в емкости. К концу 2004 г. был создан первый образец, в котором реализованы наработки ф. Bell Labs (тесно связанной с Lucent Technologies) в создании и реконструкции структуры кремниевого «наногазон». «Наногазон» – это специально обработанная поверхность кремния, напоминающая газон из травинки в виде плоских лезвий с размерами порядка нанометров. В начале 2004 г. в Bell Labs установили, что пока не приложено напряжение, капли жидкого электролита, нанесенного на поверхность этих наноскопических структур, сохраняют свою шарообразную форму неизменной. При подаче потенциала на пластину жидкость начинает проникать между «лезвиями», и капля расплывается, как при смачивании. Было показано, что в русле нанотехно-

логии таким способом можно изготовить «батарейки», которые могут накапливать заряд и, как следствие, вырабатывать электрический ток, причем батарейки – очень лёгкие, более долговечные и зарядоёмкие в сравнении с существующими.

«Вообще, совершенствование технологии аккумуляторов продвигалось медленно, сильно уступая, например, сокращению циклов разработки новых полупроводниковых приборов, предсказанному законом Мура», сказал Дэйв Бишоп, вице-президент ф. Bell Labs по исследованиям в нанотехнологии и президент Консорциума по нанотехнологии в Нью-Джерси. «Мы верим, что нанотехнология и, особенно технология «наногазона», позволит нам сделать значительный скачок в емкости гальванических элементов. Ф. mPhase намерена по лицензии Lucent Tech. перевести «нанобатарейки» на рыночную основу, обещая первый коммерческий образец в 2005г. Среди потенциальных применений этого явления – термоохлаждение интегральных схем в компьютерах, новые компоненты фотоники для оптической связи и миниатюрные, дешевые датчики типа «lab-on-a-chip».

1. *Electronics World*, 2005, **111**, no. 1825, p. 4

## **КОНФЕРЕНЦИИ 2006**

**June 20-23, 2006.** Oviedo, Spain. 8<sup>th</sup> International Workshop on Non-Crystalline Solids.

Focus on the recent advances on non-crystalline and nanostructured materials from fundamental studies to applications. The Workshop will be just before the Joint European Magnetic Symposia (JEMS 2006), July 25-30, 2006, San Sebastian, Spain, in order to favor the attendance of participants interested in both meetings.

Topics

1. Fabrication and processing techniques.
2. Crystallization phenomena and structural properties.
3. Mechanical, magnetic, transport and optical properties.
4. Technological applications.

The deadline for abstracts – January 15<sup>th</sup>, 2006. Abstracts should come as an attachment in an e-mail: [iwncs\\_2006@uniovi.es](mailto:iwncs_2006@uniovi.es)

Web site: [http://www.nanomagnetism.org/iwncs\\_2006](http://www.nanomagnetism.org/iwncs_2006)

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

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

Научный консультант: К.Кугель e-mail: [kugel@orc.ru](mailto:kugel@orc.ru)

В подготовке выпуска принимали участие: Л.Дунин-Барковский, А.Елецкий, Ю.Метлин,  
Л.Опенев, С.Чикичев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>