

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сверх-полу-проводниковые наноструктуры

Интеграция полупроводниковых наноструктур со сверхпроводниками позволила бы изготовить твердотельные наноэлектронные устройства нового типа. Проблема здесь заключается в плохой “совместимости” полупроводниковых и сверхпроводящих материалов, имеющих различную кристаллическую и электронную структуру. Первый шаг в этом направлении сделан сотрудниками Harvard Univ., которые сконструировали гибридное устройство из полупроводникового нанопровода и сверхпроводника [1]. Нанопровод представлял собой германиевый сердечник длиной 150 нм и диаметром 15 нм, покрытый слоем кремния толщиной около 2 нм. Кремниевая оболочка играла роль барьера, ограничивающего движение электронов в радиальном направлении, а сам нанопровод выполнял функцию джозефсоновского контакта, соединяющего два алюминиевых проводника (см. рис. 1а.)

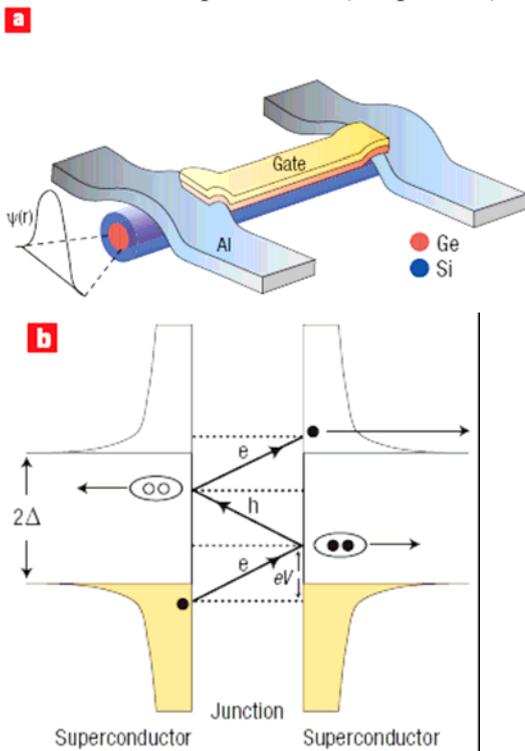


Рис.1. Нанопровод Ge/Si, соединяющий два сверхпроводящих алюминиевых проводника (а) многократное андреевское отражение на границах S-junction-S (b).

При $T > T_c(Al) = 1.6K$ проводимость нанопровода как функция напряжения V_g на управляющем электроде имеет ступенчатый вид, типичный для баллистических структур, длина которых меньше длины свободного пробега электронов. Эффект квантования проводимости сохраняется и при $T < T_c$: критический сверхток

И далее ...

2 Как рассеешься, так и спаришься...

3 Как это было...

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

4 Изменение диаметра индивидуальной нанотрубки

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

5 Моттовское состояние молекул в оптической решетке

СПИНТРОНИКА

5 Переключаются ли светом высокоспиновые кластеры?

НАНОСТРУКТУРЫ

7 Транзисторы растут, как грибы

ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ

7 Углеродные наноструктуры: фуллерены, нанотрубки, графен

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

9 Журнал “Российские нанотехнологии”

КОНФЕРЕНЦИИ

9 13-16 марта 2007 г. Новосибирск. Вторая Всероссийская конференция по наноматериалам

26-30 August 2007, Frankfurt, Germany. Third Seeheim Conference on Magnetism

(максимальный сверхток, который может течь через джозефсоновский контакт) увеличивается с ростом V_g не монотонно, а ступеньками – в соответствии с теоретическими предсказаниями. Интересный результат был получен при исследовании дифференциальных ВАХ. Согласно теории, вследствие эффекта многократного андреевского отражения на границах раздела нанопровода и сверхпроводника, величина dI/dV как функция V должна иметь максимумы при V , удовлетворяющих условию $neV = 2\Delta$, где Δ – сверхпроводящая щель, а $n = 1, 2, 3, \dots$ – число “пролетов” электрона через нанопровод (каждый раз его энергия увеличивается на eV) (см. рис. 1b). Такие максимумы в [1] действительно обнаружены, но только при $n \leq 5$ и $n = 9, 13, 25$. Максимумы, соответствующие, например, $n = 6$ или 10 “пролетам” электрона на ВАХ почему-то отсутствовали.

По-видимому, мы пока не вполне понимаем детали процесса переноса заряда через наноструктуры такого типа. Не исключено даже, что наблюдавшиеся особенности ВАХ обусловлены не андреевским отражением, а какими-то другими причинами [2].

Л.Опенев

1. J.Xiang et al., *Nature Nanotechnology* **1**, 208 (2006)
2. W.Belzig, *Nature Nanotechnology* **1**, 167 (2006).

Как рассеешься, так и спаришься...

Распространено мнение, что ключ к механизму высокотемпературной сверхпроводимости следует искать в особенностях “странного” металлического состояния ВТСП при $T > T_c$. Одним из признаков этой “странности” является близкая к линейной температурная зависимость удельного сопротивления ρ_{ab} нормальной фазы в плоскости a - b (то есть параллельно слоям CuO_2). Так как величина ρ_{ab} определяется скоростью Γ рассеяния носителей заряда ($\rho_{ab} \sim \Gamma \sim 1/\tau$, где τ – “транспортное” время свободного пробега носителей), то для выяснения причин линейности $\rho_{ab}(T)$ нужно разобраться, какие именно каналы рассеяния дают линейный по T вклад в Γ . Здесь бы очень пригодилось знание анизотропии Γ , то есть зависимости Γ от направления движения электрона в плоскости CuO_2 (например, от угла φ между вектором скорости и связью Cu - O - Cu). Однако определить $\Gamma(\varphi)$ просто путем измерения ρ_{ab} при разных ориентациях измерительного тока в плоскости a - b не удается: в тетрагональной фазе ρ_{ab} изотропно из-за усреднения $\Gamma(\varphi)$ по углу (в орторомбических образцах $\rho_a \neq \rho_b$, но для нахождения $\Gamma(\varphi)$ этого недостаточно).

Чтобы выяснить-таки вид функции $\Gamma(\varphi)$ в ВТСП, авторы работы [1] (специалисты из Великобритании, Канады, США и Австралии) использовали

следующий прием. Они пропускали ток не параллельно слоям CuO_2 , а перпендикулярно им (вдоль оси c), то есть измеряли не ρ_{ab} , а ρ_c , и при этом помещали образец (передопированный ВТСП $Tl_2Ba_2CuO_{6+\delta}$ с $T_c = 15K$ и концентрацией дырок $p = 0.25$) в сильное магнитное поле ($H = 45Tл$), направленное под различными углами к оси c и к связи Cu - O - Cu . Магнитное поле играет двоякую роль: во-первых, оно подавляет сверхпроводимость, а во-вторых – вынуждает электроны двигаться по “орбитам”, включающим параллельные слоям CuO_2 участки. При низкой температуре (слабом рассеянии носителей) характер зависящих от углов осцилляций магнитосопротивления (angle-dependent magnetoresistance oscillations, *AMRO*) полностью определяется топологией поверхности Ферми. С ростом T величина Γ увеличивается, причем увеличивается по-разному для разных φ . При этом количественный анализ характера изменения кривых *AMRO* (подробнее см. [1]) позволяет определить Γ как функцию T и φ .

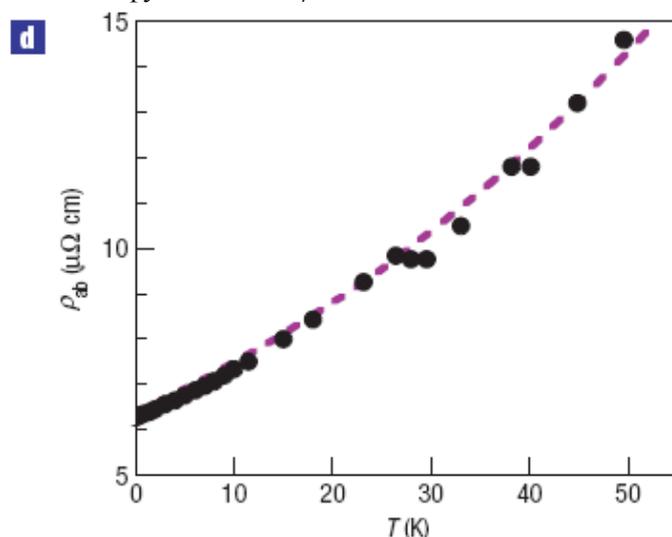


Рис.1. Температурная зависимость ρ_{ab} монокристалла $Tl_2Ba_2CuO_{6+\delta}$ с $T_c = 15K$ в сильном магнитном поле, подавляющем сверхпроводимость. Кружки – результаты непосредственных измерений. Штриховая линия – расчет с использованием функции $\Gamma(\varphi)$, определенной из *AMRO*.

Оказалось [1], что $\Gamma(\varphi)$ представляет собой сумму трех слагаемых: $\Gamma(\varphi) = \Gamma_0 + aT^2 + T\cos^2(2\varphi)$. Первые два из них являются изотропными (не зависят от φ). Как и в обычных металлах, они представляют собой, соответственно, не зависящую от T константу, обусловленную рассеянием на примесях, и квадратичный по T вклад от электрон-электронного рассеяния. Наиболее интересно третье слагаемое. Оно анизотропно и линейно по T . Именно эта составляющая Γ ответственна за близкую к линейной температурную зависимость ρ_{ab} в нормальном состоянии ВТСП. Здесь необходимо отметить, что в передопированном ВТСП $Tl_2Ba_2CuO_{6+\delta}$ сильное электрон-электронное рассеяние приводит к довольно-таки существенному отклонению $\rho_{ab}(T)$ от прямой. Тем не менее, расчет, $\rho_{ab}(T)$ с использованием найденной из *AMRO* функции $\Gamma(\varphi)$ привел к отличному количественному совпадению с

экспериментальной зависимостью $\rho_{ab}(T)$ (см. рис.1). Ключевым результатом работы [1] является то, что линейная по T составляющая $\Gamma(\varphi)$, как и d -волновой параметр сверхпроводящего порядка $\Delta(\varphi)=\Delta_0\cos(2\varphi)$, максимальна в направлениях связей $Cu-O-Cu$ ($\varphi=0$ и т.д.) и обращается в нуль на диагоналях между этими связями ($\varphi=\pi/4$ и т.д.). Поскольку анизотропия $\Delta(\varphi)$ есть следствие анизотропии взаимодействий, ответственных за спаривание, то возникает естественный вопрос: а не имеют ли сверхпроводящее спаривание носителей и их “аномальное” (линейное по T) рассеяние общую природу? Какие взаимодействия могут приводить к такой анизотропии $\Delta(\varphi)$ и $\Gamma(\varphi)$? Первое, что приходит на ум, – антиферромагнитные флуктуации [2].

При $p < 0.16$ в спектре возбуждений имеется так называемая псевдощель, причина появления которой является предметом активных дискуссий. В псевдощелевой фазе поверхность Ферми представляет собой совокупность несвязанных друг с другом участков – “фермиевских дуг”. Эти дуги сохраняются в направлениях, где рассеяние наиболее слабое. В направлениях же сильного рассеяния формируется диэлектрическая щель (см. рис. 2). Может быть, выяснение причины такой корреляции приведет нас к пониманию механизма возникновения псевдощелевого состояния? Вот только не факт, что вид зависимости $\Gamma(\varphi)$ в псевдощелевой фазе удастся определить с помощью методики *AMRO*, для которой существенно наличие когерентной поверхности Ферми [2]. Остается дожидаться результатов новых экспериментов...

Л.Опенев

1. M.Abdel-Jawad et al., *Nature Physics* 2, 821 (2006)
2. L.Taillefer, *Nature Physics* 2, 809 (2006)

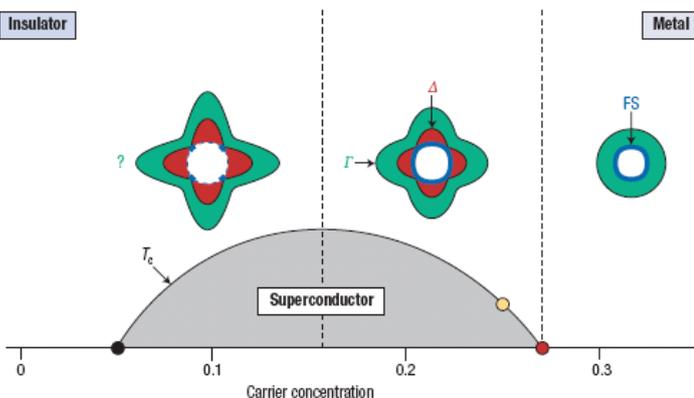


Рис. 2. Схематическое изображение фазовой диаграммы ВТСП в координатах «температура T – концентрация носителей p », поверхности Ферми (синие линии), сверхпроводящей щели Δ (красные линии) и скорости рассеяния носителей Γ (зеленые линии).

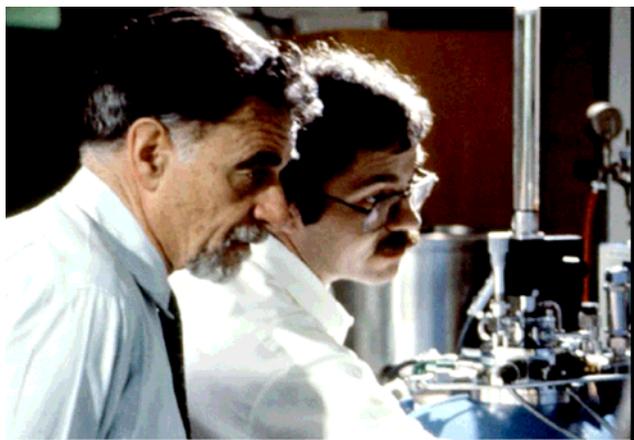
Обсуждая полученные результаты, авторы [1] обращают внимание на два экспериментальных факта. Во-первых, линейная по T составляющая $\rho_{ab}(T)$ отсутствует в передопированных несверхпроводящих образцах с $p = 0.3$ и появляется практически одновременно с возникновением сверхпроводимости при $p = 0.27$ (см. рис. 2). Во-вторых, эта составляющая сохраняется в $\rho_{ab}(T)$ вплоть до милликельвинных температур. Если ее появление связано с термическим возбуждением антиферромагнитных флуктуаций, то характеристическая энергия этих флуктуаций должна быть пренебрежимо малой – типичный признак квантовой критической точки (ККТ), разделяющей два различных основных состояния при $T = 0$. Однако единственной ККТ в этой области фазовой диаграммы является не магнитная, а собственно сверхпроводящая ККТ (см. рис. 2).

В дальнейшем было бы очень интересно попытаться определить зависимость Γ от T и φ в оптимально допированных ($p \approx 0.16$) и недопированных ($p < 0.16$) образцах. Известно, что линейная по T составляющая $\rho_{ab}(T)$ наиболее отчетливо выражена при $p \approx 0.16$. Каков при этом вид $\Gamma(\varphi)$?

Как это было...

В 1986 г. отмечалась 75-ая годовщина открытия сверхпроводимости Камерлинг-Оннесом. За этот период критическую температуру T_c удалось повысить от $T_c = 4.2\text{K}$ в ртути (1911 г.) до $T_c = 23.3\text{K}$ в Nb_3Sn (1973 г.), после чего прогресс остановился. Начали появляться теоретические работы, обосновывавшие принципиальную невозможность существования сверхпроводников с $T_c > (25 \div 30)\text{K}$. А экспериментаторы между тем стали постепенно приходить к пониманию, что сверхпроводники с более высокой T_c нужно искать не среди металлов и бинарных сплавов (к тому времени почти все они были протестированы на предмет сверхпроводимости, за досадным, как выяснилось впоследствии, исключением MgB_2), а среди более сложных соединений, состоящих из трех, четырех и более химических элементов.

Дело было так. В 1983 г. К.А.Мюллер из лаборатории ИВМ в Рюшликоне (Швейцария) попросил Дж.Беднорца (молодого сотрудника, специализировавшегося на перовскитах) помочь ему в одном интересном, но имеющем, как тогда казалось, мало шансов на успех проекте: поиске новых сверхпроводников в ряду сложных оксидов – материалов, большинство из которых являются диэлектриками. Беднорц согласился. Он уже имел опыт работы со $SrTiO_3$ и ранее сотрудничал с группой, которой удалось повысить T_c этого перовскита от 0.3K до 1.2K за счет его легирования ниобием. К тому времени уже была обнаружена сверхпроводимость с $T_c = 13\text{K}$ в четверном перовските $(Ba,Pb)BiO_3$ (1975 г.). Мюллер полагал, что путем подбора надлежащего химического состава удастся усилить электрон-фононное взаимодействие и тем самым поднять T_c .



Беднорц и Мюллер стартовали с перовскита $LaNiO_3$ и приступили к систематическому исследованию влияния частичного замещения Ni и La различными элементами (Al , Cu , Y и др.) на его электрические характеристики. Но все эти соединения оказывались несверхпроводящими. Тогда (в 1985 г.) они решили сделать паузу и заняться изучением литературы по данной тематике. Вскоре Беднорц наткнулся на статью французских ученых, занимавшихся изучением каталитических свойств $LaBaCuO$ при высоких температурах. Он тотчас же приступил к изготовлению образцов и успешно справился с этой задачей. Однако измерения температурной зависимости их сопротивления пришлось отложить на несколько месяцев из-за текущей работы и очередного отпуска.

Вернувшись после отпуска в конце января 1986 г., Беднорц обнаружил резкое падение сопротивления одного из образцов при $T = 11K$. Вот он – долгожданный успех! Остальное было делом техники (и двух недель непрерывной работы, когда пара будущих Нобелевских лауреатов дневала и ночевала в лаборатории в поисках оптимального состава). Лучшее, что они смогли получить, – керамический образец, в котором резистивный сверхпроводящий переход начинался при $T=35K$. Но сверхпроводимость ли это? Научные журналы того времени пестрели неподтвержденными сообщениями о сверхпроводимости различных материалов, которые другим воспроизвести не удавалось.

Для однозначного доказательства сверхпроводимости $LaBaCuO$ Беднорцу с Мюллером нужно было показать, что наряду с падением сопротивления в этом соединении имеется еще и эффект Мейснера. Но для измерения магнитной восприимчивости им требовался СКВИД-магнитометр, доставка которого в лабораторию задерживалась. А ждать было нельзя. Мог ускользнуть приоритет. И свои результаты они все же опубликовали, сопроводив термин “высокотемпературная сверхпроводимость” в названии статьи осторожным эпитетом “возможная”. Несколькими месяцами позже (сентябрь 1986 г.) измерения магнитной восприимчивости подтвердили-таки наличие в

$LaBaCuO$ эффекта Мейснера при той же температуре, при которой падало сопротивление.

По воспоминаниям Беднорца, их статья была встречена в научных кругах с изрядной долей скептицизма. И лишь после независимого подтверждения этих результатов группами S.Tanaka из Университета Токио и P.Chu из Университета Хьюстона (а также повышения T_c до 50K за счет гидростатического давления) ученый мир понял, что произошла революция... А вскоре P.Chu, заменив лантан иттрием, перешагнул “азотный барьер” и довел T_c до 93K в $YBaCuO$. Всем стало окончательно ясно: найден новый класс сверхпроводников. После получения Нобелевской премии в декабре 1987 г. (кратчайший срок между открытием и его “нобелевским признанием”) Беднорц и Мюллер вернулись к экспериментам с разными составами, но большего добиться уже не смогли. Это сделали за них другие, доведя T_c до 138K. Зато они навсегда останутся первыми...

P.S. К.А.Мюллер в свои 80 лет продолжает активно заниматься наукой. Он говорит, что должны существовать и другие, пока неизвестные нам, классы еще более высокотемпературных сверхпроводников, добавляя, что имеет на этот счет кое-какие соображения (но делиться ими не спешит).

Л.Опенев

На фото - К.А.Мюллер и Дж.Беднорц. Январь 1986 года. Лаборатория в Рюшликоне. Ночные бдения.

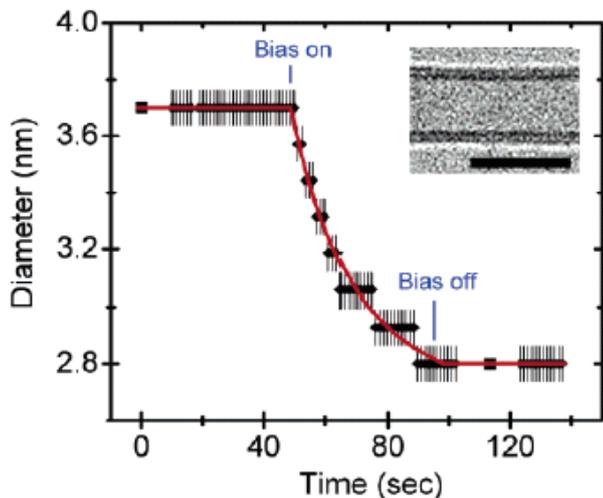
По материалам журнала “Science”, 314, p.1078

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Изменение диаметра индивидуальной нанотрубки

Углеродные нанотрубки (УНТ) с заданными геометрическими характеристиками (диаметр, число слоев, хиральность) могут быть изготовлены двумя путями: непосредственно при их синтезе или при последующей обработке. Активно развиваются оба подхода. Интересный вариант в развитии второго подхода реализован недавно исследователями из Калифорнийского университета в Беркли (США), которые разработали процедуру контролируемого уменьшения диаметра многослойной УНТ.

Многослойные УНТ, полученные стандартным электродуговым методом, подмешивают в изопропиловый спирт, небольшое количество которого наносят на подложку, содержащую золотые контактные пластины толщиной 30нм. Отдельную нанотрубку с помощью сканирующего электронного микроскопа располагают между парой таких контактов, а затем подложку с нанотрубкой помещают в просвечивающий электронный микроскоп. В результате приложения к контактам постоянного напряжения величиной 2–3В внешние слои нанотрубки последовательно разрушаются, что приводит к уменьшению ее диаметра. Типичная зависимость диаметра УНТ от времени, полученная при постоянстве приложенного напряжения, показана на рисунке.



Интересно, что нанотрубка, испытавшая потерю одного или нескольких слоев под действием протекающего электрического тока, самопроизвольно очищается от неразрушенных остатков стенок нанотрубки. В результате в процессе уменьшения диаметра нанотрубки сохраняют совершенную структуру. Это можно видеть по микроизображению нанотрубки, приведенному на вставке к рисунку. Уменьшение числа слоев УНТ сопровождается соответствующим ростом ее электрического сопротивления. Так, при уменьшении диаметра УНТ от 21.5 до 0.9 нм ее сопротивление возрастает от 9.3 до 86.3 кОм. Дальнейшее пропускание тока через нанотрубку приводит к ее полному термическому разрушению, что регистрируется размыканием цепи.

А.В.Елецкий

1. T.D.Yuzvinsky et al. *Nano Letters*, **6**, 2718 (2006)

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Моттовское состояние молекул в оптической решетке

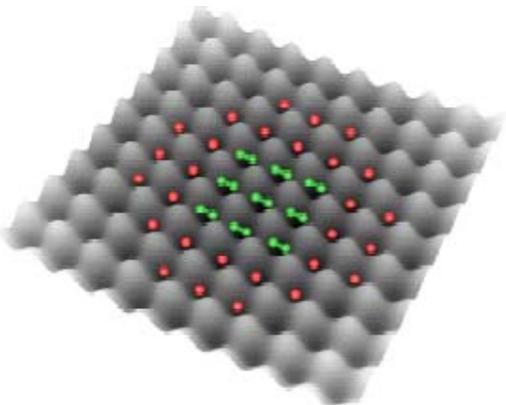


Рис.1. В центре оптической решетки каждый узел занят одной двухатомной молекулой, а по краям – одним атомом.

Интерес к ультрахолодным атомным газам в оптических решетках обусловлен (помимо прочего) возможностью регулировать межчастичные взаимодействия путем изменения потенциала решетки.

ПерсТ, 2007, том 14, выпуск 1/2

Это позволяет, в частности, осуществить квантовый фазовый переход атомного бозе-конденсата из сверхтекучего состояния в диэлектрическое (моттовское) [1]. В фазе моттовского диэлектрика в каждом узле решетки находится один атом, а в спектре возбуждений имеется щель.

Физики из Max-Planck-Inst. Quantenoptik (Германия) пошли дальше и изготовили оптическую решетку, в которой каждый узел занят двумя атомами ^{87}Rb , связанными в двухатомную молекулу [2].

Авторы [2] использовали разработанную ими ранее методику [3], основанную на медленном изменении магнитного поля в окрестности резонанса Фешбаха. При этом заполнение узлов с $n = 1$ не изменяется, на узлах с $n = 2$ атомы объединяются в молекулы, а узлы с $n > 2$ быстро пустеют из-за неупругих соударений формирующихся на этих узлах молекул между собой или с неспаренными атомами. Затем узлы с $n = 1$ «очищают» с помощью лазера, и в оптической решетке остаются только молекулы. Состояние, в котором находятся молекулы, авторы [2] называют моттовским молекулярным состоянием, избегая термина «молекулярный моттовский диэлектрик», поскольку пока не ясно, есть ли в этом состоянии диэлектрическая щель. Если удастся таким же образом изготовить решетку из молекул, состоящих из атомов разных сортов и обладающих дипольными моментами, это откроет новые горизонты в квантовой информатике.

1. M.Greiner et al., *Nature* **415**, 39 (2002)
2. T.Volz et al., *Nature Phys.* **2**, 692 (2006); *cond-mat/0605184*
3. S.Durr et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 020406 (2004)

СПИНТРОНИКА

Переключаются ли светом высокоспиновые кластеры?

Вдоволь наигравшись с высокоспиновыми кластерами ацетата Mn_{12} (рис.1a), научное сообщество приступило к изготовлению комбинаций этих необычных одномолекулярных магнитов с различными соединениями, способными «привить» оптические или электрические функции этим привлекательным материалам. Хотя, вопреки многочисленным обещаниям, эти кластеры так и не позволили создать квантового компьютера и ячеек памяти, надежды на их использование связывают с возможностями переключения полного спина кластеров внешними воздействиями.

Авторы [1] не стали присоединять к молекуле Mn_{12} никаких дополнительных молекул, а просто «подключили» сам кластер к золотым нанопроволочным электродам (рис.1b) и измерили его дифференциальную проводимость. Процесс подключения кластера выглядел как последовательность приэлектродных химических реакций: электроды помещали в тиобензеновую кислоту, молекулы которой за счет образования химической связи S-Au одним концом присоединялись к электроду, а на другой стороне имели свободные COO -группы. Затем остатки кислоты смывали

и выдерживали электроды в ацетонитриле марганца, в результате чего *COO* группы заменялись на нанокластеры марганца.

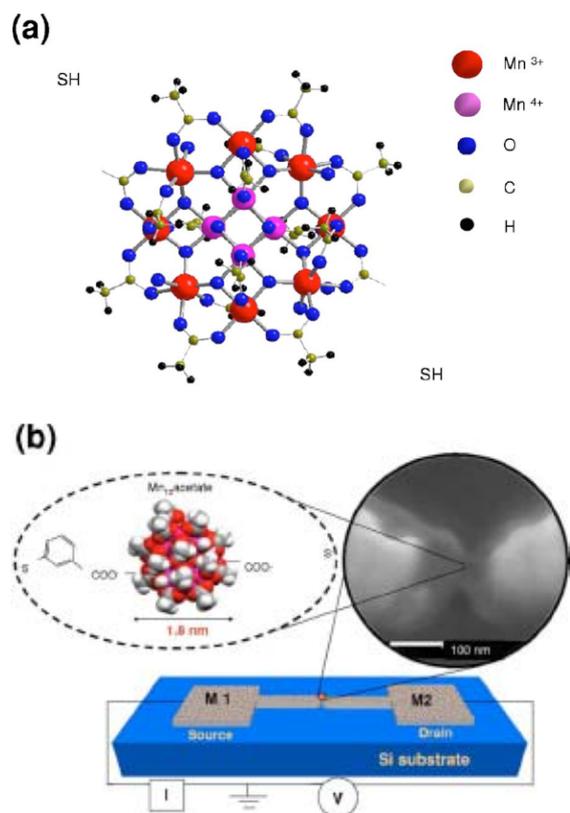


Рис.1. а) Атомная структура высокоспинового кластера *Ac-Mn12*, б) схема подключения кластера к электродам и фотография межэлектродного пространства (на врезке).

Измерение размеров межэлектродного пространства (см. рис 1б) и их сопоставление с размерами нанокластеров показало, что там может находиться один или несколько высокоспиновых кластеров, соединенных химической связью с золотым нанoeлектродом.

После приготовления кластера, подключенного к электродам, были измерены вольт-амперные характеристики системы в темноте и в условиях освещения галогеновой лампой белого света (с максимумом интенсивности на длине волны 700нм). В пяти случаях из 80 ток под действием облучения сильно возрос. Соответствующие вольт-амперные характеристики показаны на рис. 2 а.

Авторы проверили более 200 образцов с заведомо нарушенным молекулярным контактом. При этом никакого различимого влияния света на проводимость не наблюдали, а сама величина проводимости была на несколько порядков меньше, чем в случае молекулярного контакта.

Авторы полагают, что дистанция между максимумами дифференциальной проводимости (около 1В) соответствует *HOMO-LUMO* щели, которая в соответствии с теоретическими расчетами составляет 1.2эВ.

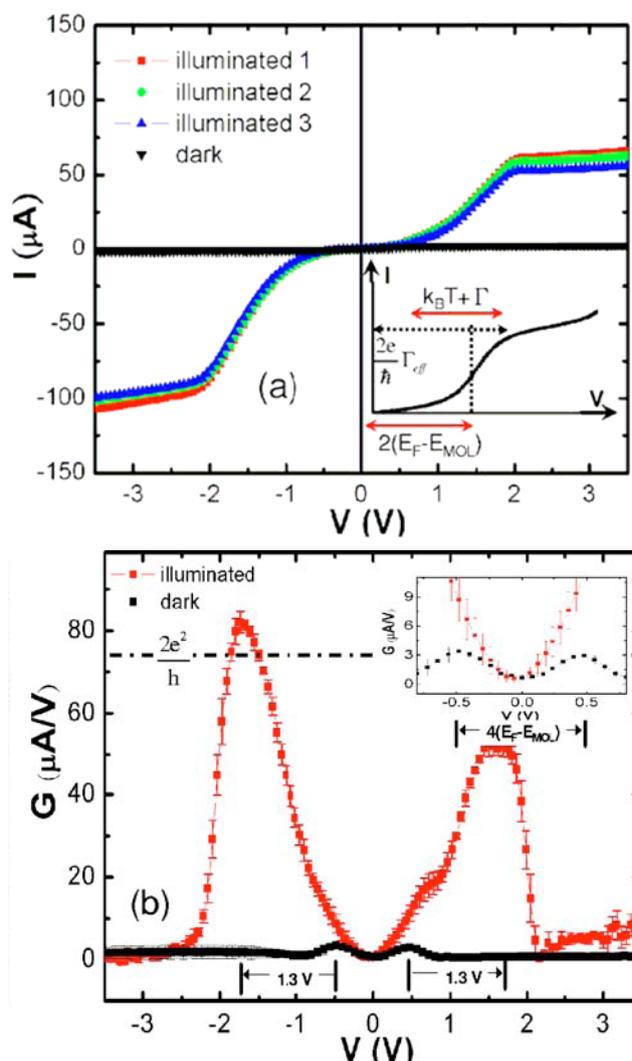


Рис. 2 а) Вольт-амперная характеристика *Mn12-Ac* молекулярного контакта (показаны три измерения облучаемого светом кластера), б) зависимости дифференциальной проводимости от напряжения, полученные в темноте (черные линии) и на свету (красные линии).

Заметим, что в обсуждаемой (видимо, очень поспешной) работе практически осталась без внимания главная ее цель – влияние света на намагниченность (или полный спин) кластера. Кроме того, не вполне ясно, какое действие мог оказывать нагрев, тепловое расширение электродов и прочие факторы, обычно проверяемые в любых опытах со световым облучением. В свете известных данных о фотопроводимости массивных образцов, представляется важным получение спектральной характеристики фотоиндуцированной проводимости и сравнение ее с имеющимися данными [2]. Ну и самое больное место – отсутствие прямых доказательств того, что в межэлектродном пространстве вообще содержалась нужная молекула.

Р. Моргунов

1. C. Ni et. al. *Appl.Phys.Lett.* **89**, 212104 (2006)
2. J. M. North et. al. *Phys.Rev.B*, **67**, 174407(2003)

НАНОСТРУКТУРЫ

Транзисторы растут, как грибы

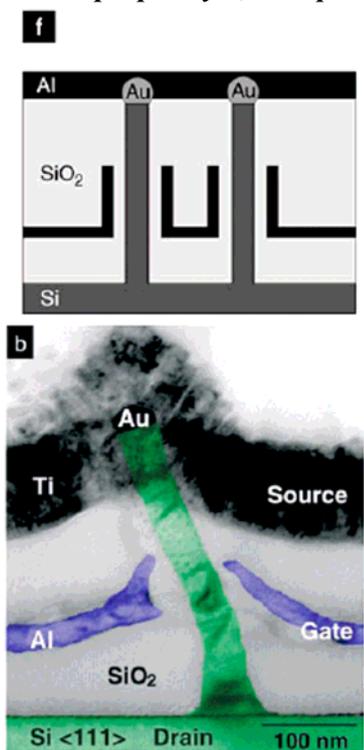


Рис. 1. Конструкция транзистора на нанопроволоке (a) и TEM изображение изготовленного в [1] транзистора (b).

Специалисты из IBM Res. Lab. (Швейцария) и Max Planck Inst. Microstructure Physics (Германия) вырастили целую грядку (миллион штук) вертикальных полевых транзисторов. Каналом транзисторов служили кремниевые нанопроволоки (nanowires). Они возникали на кристаллической кремниевой подложке под предварительно осажденными на нее капельками золота Au (рис. 1a), которые выступают в роли катализатора при осаждении кремния методом химического осаждения из газовой фазы (CVD). Толщина нанопроволок составляет 40 нм, а их длина в 10 раз больше. Дальнейшие технологические операции были обычными для формирования вертикального транзистора. Главное достоинство такой конструкции заключается в том, что затвор огибает канал транзистора со всех сторон, что обеспечивает хорошее управление током транзистора с помощью потенциала затвора. Конструкция позволяет сделать очень малыми токи утечки транзистора в закрытом состоянии. При большой плотности транзисторов в будущих микросхемах токи утечки могут приводить к сильному разогреву, с которым не справится никакое охлаждение.

Ближайшую перспективу кремниевой технологии связывают с транзисторами на подложке «кремний на изоляторе» (КНИ). Попробуем сравнить изготовленные в [1] нанопроволочные транзисторы с перспективными КНИ транзисторами. В КНИ транзисторах с тонким слоем кремния (2-5 нм) можно вообще не легировать канал, сохраняя в нем максимальную подвижность носителей. В нанопроволочном транзисторе канал приходит-

ся легировать. Тонкий слой кремния в КНИ также обеспечивает хорошее управление током транзистора с помощью потенциала затвора, даже если затвор не огибает канал со всех сторон. Расстояние между истоком и стоком в описываемом нанопроволочном вертикальном транзисторе составляет 0,4 мкм. Таким образом, он фактически попадает не в нано-, а в субмикронную технологию, несмотря на нанометровую толщину нанопроволочного канала. Быстродействие такого транзистора в первую очередь ограничено пролетным временем носителей в канале.

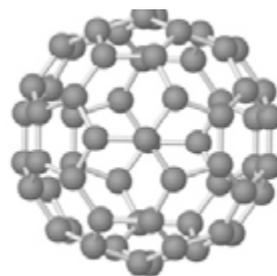
Малую ширину канала транзистора по сравнению с его остальными частями следует относить к недостаткам конструкции. Наибольшую частоту работы транзистора в логической схеме обеспечивает канал, имеющий такую же ширину, как и электроды истока и стока, что как раз и есть у КНИ транзистора. Широкий канал позволяет получить максимальный ток в открытом состоянии транзистора, или, другими словами, минимальное сопротивление канала R . В логических схемах ток одного транзистора переключает состояние другого путем зарядки определенных емкостей C , например, истока, стока, затвора и соединений. Как известно, быстродействие ограничено, помимо пролетного времени носителей в канале, также RC -временами зарядки. Кстати, это замечание касается всех транзисторов на нанообъектах, таких как нанотрубки, нанопроволоки и другие, которые пока тоже очень далеки от того, чтобы составить реальную конкуренцию КНИ транзисторам с тонким слоем кремния.

В.Вьюрков

1. V. Schmidt et al. *Small* 2, 85-88(2006) (www.small-journal.com)

ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ

Углеродные наноструктуры: фуллерены, нанотрубки, графен



1985 г. Открытие фуллеренов C_{60}

Авторы: H.W.Kroto*, J.R.Heath, S.C.O'Brien, R.F.Curl, R.E.Smallley

Организации: Rice Quantum Inst. and Departments of Chemistry and Electrical Engineering, Rice Univ., Houston, Texas (США)

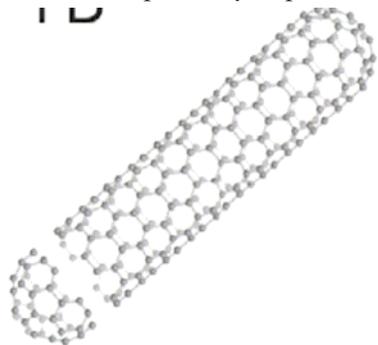
*Permanent address: School of Chemistry and Molecular Sciences, University of Sussex, Brighton (Великобритания)

Статья: « C_{60} : Buckminsterfullerene» опубликована в *Nature* 318, 162-163 (14 November 1985)

Реферат. During experiments aimed at understanding the mechanisms by which long-chain carbon molecules are formed in interstellar space and circumstellar shells¹, graphite has been vaporized by laser irradiation, producing a remarkably stable cluster consisting of 60 carbon atoms. Concerning the question of what kind of 60-

carbon atom structure might give rise to a superstable species, we suggest a truncated icosahedron, a polygon with 60 vertices and 32 faces, 12 of which are pentagonal and 20 hexagonal. This object is commonly encountered as the football shown in Fig. The C_{60} molecule which results when a carbon atom is placed at each vertex of this structure has all valences satisfied by two single bonds and one double bond, has many resonance structures, and appears to be aromatic.

1991 г. Открытие углеродных нанотрубок



Автор, обычно упоминаемый как первооткрыватель нанотрубок

Sumio Iijima

Организация:
NEC Corp., Fundamental Res. Lab., Tsukuba, Ibaraki (Япония)

Статья: «*Helical microtubules of graphitic carbon*» опубликована в *Nature* **354**, 56-58 (7 November 1991)

Реферат. The synthesis of molecular carbon structures in the form of C_{60} and other fullerenes¹ has stimulated intense interest in the structures accessible to graphitic carbon sheets. Here I report the preparation of a new type of finite carbon structure consisting of needle-like tubes. Produced using an arc-discharge evaporation method similar to that used for fullerene synthesis, the needles grow at the negative end of the electrode used for the arc discharge. Electron microscopy reveals that each needle comprises coaxial tubes of graphitic sheets, ranging in number from 2 up to about 50. On each tube the carbon-atom hexagons are arranged in a helical fashion about the needle axis. The helical pitch varies from needle to needle and from tube to tube within a single needle. It appears that this helical structure may aid the growth process. The formation of these needles, ranging from a few to a few tens of nanometres in diameter, suggests that engineering of carbon structures should be possible on scales considerably greater than those relevant to the fullerenes.

Однако, справедливости ради, стоит отметить предшественников, получивших и исследовавших в 1976 г. нанотрубную структуру углерода, сформированную в процессе синтеза углеродных волокон. Строго говоря, Sumio Iijima в своей основополагающей статье ссылается на эту работу предшественников, не получившую широкого научного резонанса.

1976 г. Нанотрубная структура в углеродном нановолокне

Авторы: А. Berlin, М. Endo, Т. Koyama*

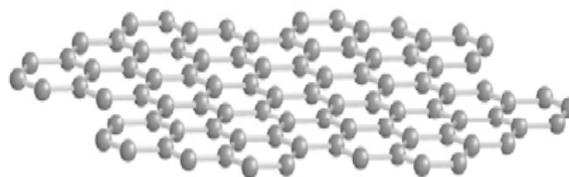
Организации: Lab. Marcel Mathieu, Faculté des Sciences, CNRS, Orléans-La-Source (Франция)

*Shinshu Univ., Wakasato Nagano City (Япония)

Статья «*Filamentous growth of carbon through benzene decomposition*» опубликована в *J. Crystal Growth*, **32**, 335-349 (March 1976)

Реферат. Carbon fibres have been prepared by pyrolysing a mixture of benzene and hydrogen at about 1100°C. They have been studied by high resolution electron microscopy. These fibres have various external shapes and contain a hollow tube with a diameter ranging from 20 to more than 500 Å along the fibre axis. They consist of turbostratic stacks of carbon layers, parallel to the fibre axis, and arranged in concentric sheets like the “annual ring structure of a tree”. These fibres have two textures resulting from different growth processes; core regions, made of long, straight and parallel carbon layers, are primarily formed by catalytic effect; the external regions correspond to a pyrolytic deposit occurring during the secondary thickening growth process. Very small cementite crystals, typically about 100 Å in a diameter, have been identified by dark-field techniques at the tip of the central tube of each fibre. A model of fibre growth related to a surface diffusion of carbon species on the catalyst particle has been established.

2004 г. Открытие графена



Авторы: К. S. Novoselov,¹ А. K. Geim,^{1*} S. V. Morozov,² D. Jiang,¹ Y. Zhang,¹ S. V. Dubonos,² I. V. Grigorieva,¹ А. A. Firsov²

Организации: ¹University of Manchester (Великобритания)

²Institute for Microelectronics Technology (Черноголовка, Россия)

Статья “*Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*» опубликована в *Science* **306**, p. 666 (22 October 2004)

Реферат. We describe monocrystalline graphitic films, which are a few atoms thick but are nonetheless stable under ambient conditions, metallic, and of remarkably high quality. The films are found to be a two-dimensional semimetal with a tiny overlap between valence and conductance bands, and they exhibit a strong ambipolar electric field effect such that electrons and holes in concentrations up to 10^{13} per square centimeter and with room-temperature mobilities of $\sim 10,000$ square centimeters per volt-second can be induced by applying gate voltage.

По материалам *Materials today* **10**, no 1-2, p. 20 (2006)

ПерТ, 2007, том 14, выпуск 1/2

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Журнал "Российские нанотехнологии"

В начале декабря 2006 г. в Интернете по адресу <http://www.nanorf.ru> представлен выпуск нового научного журнала "Российские нанотехнологии". Учредителем журнала выступает «Федеральное агентство по науке и инновациям РФ» совместно с компанией "Парк-медиа".

По заявлению главного редактора академика М.В.Алфимова журнал „Российские нанотехнологии“ намерен не только полно представлять научно-технические достижения российских ученых в сфере нанотехнологий, но и стать одним из инструментов по выработке стратегии и тактики развития nanoиндустрии в РФ. Журнал планирует публиковать оригинальные статьи, в том числе междисциплинарного характера, удовлетворяющие критериям высшего научного качества по следующим направлениям научно-технологических исследований:

- самоорганизующиеся структуры и наноструктуры;
- наноструктуры, включая нанотрубки;
- наноматериалы функционального назначения;
- наноматериалы конструкционного назначения;
- устройства и изделия на основе наноматериалов и нанотехнологий;
- метрология, стандартизация и контроль нанотехнологий;
- наноэлектроника;
- нанофотоника;
- нанобиология.

Как представляется экспертному сообществу, эти направления исследований являются наиболее важными и перспективными для развития фундаментальных основ и становления индустрии наносистем в РФ.

При планируемом общем объеме финансирования nanoисследований в России до 12 млрд. руб. ежегодно авторы проекта надеются на отсутствие проблем с достойными результатами исследований, а, соответственно, и с качественными публикациями.

Параллельно с этим журналом выйдет в свет и "Российский электронный наножурнал".

Для подписки на журнал необходимо отправить заявку в редакцию

- по электронной почте podpiska@nanorf.ru
- по телефону (495) 930 8850 (495)930 8707 (с 10 до 18 московского времени)
- по факсу (495) 930 8850 (495)930 8707
- по почте Россия, 119989, Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, владение 1, строение 75Г

В заявке указать – число экземпляров, имя, фамилию, адрес получателя, телефон, адрес электронной почты. Для организаций указать юридический и фактический адрес, реквизиты, имя, фамилию и должность ответственного сотрудника.

КОНФЕРЕНЦИИ

13-16 марта 2007 г. Новосибирск. Вторая Всероссийская конференция по наноматериалам совместно с 4-ым Международным научным семинаром «Наноструктурные материалы 2007: Россия и Белоруссия».

Организатор:

Научный Совет по наноматериалам при Президиуме РАН

Темы:

- Наноструктурные материалы и их физико-химические свойства
- Объемные наноматериалы
- Нанокompозиты и многослойные структуры
- Физико-химические методы исследования наноматериалов
- Использование наноматериалов в промышленности

Контакт:

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Татьяна Федоровна Григорьева

e-mail: grig@solid.nsc.ru

26-30 August 2007, Frankfurt, Germany. Third Seeheim Conference on Magnetism.

Topics

- 1) *Magnetic Memories:* MRAM, TMR, GMR, CPP-GMR, Domain Walls, Modelling and Hysteresis.
- 2) *Spin Dependent Transport Properties:* Magnetoresistance, Magneto-impedance, Giant-magnetoresistance (Multilayers, Magnetic Tunnel Junctions, Ultrafine Particles, other Materials, Magnetic Semiconductors), Magneto-optics, Magneto-resistance in transition metal oxides.
- 3) *Thin films and Particles:* Superlattice, Ultrathin Films, Multilayers, Ultrafine Particles, Dots, Current Induced Magnetization, Spin Torque, Injection and Accumulation, Surface and Interfaces, Magnetic Fluids and Nanoparticles, Soft Magnetic materials).
- 4) *Magnetic Interactions:* Exchange Interactions (Multilayers, Transition Metals and Compounds, Rare Earth and Compounds), Crystal Field Anisotropy, Magneto-elastic Interactions.

5) *Magnetization Process*: Dynamic Effects in Nanomaterials, Relaxation, Spin Waves and Solitons.

6) *Applications*: Recording Media & Device, Magnetic Sensors and Memory, Magneto-optics, Measurement Techniques.

Contact

Coordinators - M. Ghafari, H. Hahn

ghafari@int.fzk.de

www.tu-darmstadt.de/magnetism

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

Научный редактор К.Кугель

Редактор: С.Корецкая

В подготовке выпуска принимали участие В.Вьюрков, А.Елецкий, Р.Моргунов, Ю.Метлин, Л.Опенев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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