

В этом выпуске:

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовый компьютер в алмазе при комнатной температуре

В 1998 году Кейн [1] выдвинул идею проводить квантовые вычисления на спиновых состояниях ядер атомов, внедренных в кристалл, обосновывая ее тем, что релаксация ядерных спинов чрезвычайно медленная. Он же предложил использовать электроны для управления состоянием отдельного ядерного спина (кубита), организации взаимодействия между ядерными спинами и считывания (измерения) состояний ядерного спина. В первоначальном виде конструкция Кейна до сих пор не реализована в силу огромных технологических трудностей. Однако время от времени появляются вариации на эту тему. Вообще, мечтой исследователей является использование естественных структур для проведения квантовых вычислений. По этому пути пошли ученые из Harvard University, Universitat Stuttgart и Texas A&M University и добились впечатляющего результата. [2]

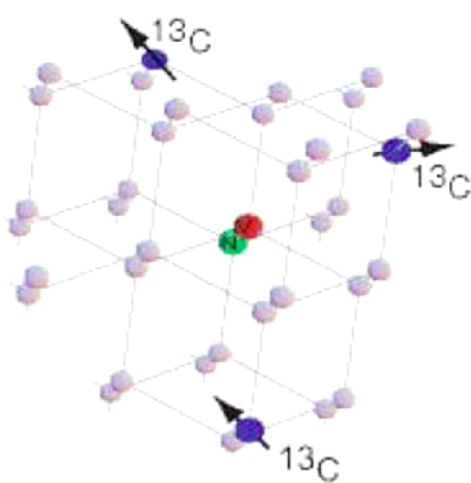


Рис. 1. Спиновые кубиты – ядра ^{13}C , взаимодействие между которыми осуществляют электроны на азотных вакансиях

Они предложили в качестве кубитов применять состояние спина ядер изотопов ^{13}C , которые естественным образом содержатся в кристаллической решетке алмаза (рис. 1). Взаимодействие между ними осуществляют электроны на азотных вакансиях. Волновые функции электронов на вакансиях распыляются на достаточно большие расстояния, так что в этой области могут находиться сразу несколько ядер ^{13}C . Основным состоянием вакансии является долгоживущий спиновый триплет: $| -1 \rangle$, $| 0 \rangle$ и $| 1 \rangle$ (состояния отличаются проекцией магнитного момента). Спин электрона связан со спинами ядер за счет сверхтонкого контактного взаимодействия. В результате этого снимается вырождение состояний триплета по энергии (рис.2). Различие в положении ядер обеспечивает различие в силе этого взаимодействия, что сказывается на частоте ядерного магнитного резонанса.

И далее ...

- 2 Головоломки электростатики
- 3 Универсальная спиновая логика

Анизотропное разрушение поверхности Ферми в квантовой критической точке

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 5 Электронные пары выше критической температуры в высокотемпературных сверхпроводниках

- 6 Андерсон и высокотемпературные сверхпроводники

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Использование углеродных нанотрубок для очистки сточных вод
- 7 Экранирование СВЧ излучения пленками из однослойных углеродных нанотрубок
- 8 Текстильные изделия из углеродных нанотрубок

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 9 Нано в Германии. Все будет наноо'кей

КОНФЕРЕНЦИИ

- 10 Magnetic and Superconducting Materials 2007 (MSM07)
25th - 30th September 2007,
Khiva, Uzbekistan

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

- 10 Радуйтесь материаловеды!



DE

I

—

тем оптическим им-



207)

Универсальная спиновая логика

Группа физиков из University of California San Diego (США) предложила универсальные спиновые бинарные логические элементы, из которых можно строить логические схемы любой сложности [1]. Работа устройства, фактически, основана на эффекте гигантского магнетосопротивления (GMR) в структуре, состоящей из двух ферромагнетиков, разделенных проводящим немагнитным материалом (в данном случае это слой полупроводника, см. рис. 1). Структуры на GMR уже применяются в магнитной памяти (MRAM) и считывающих головках магнитных дисков. Однако создать на их основе логические схемы пока не удалось.

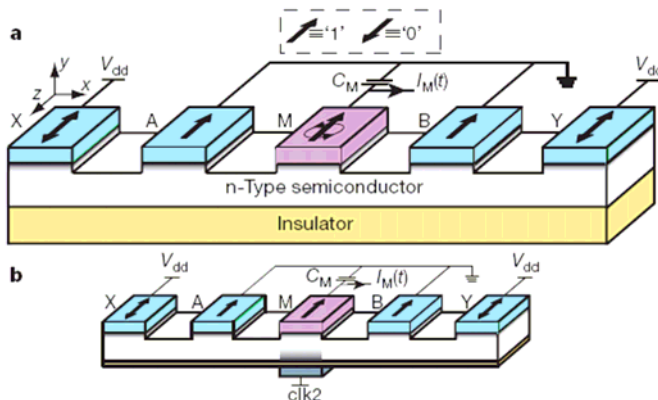


Рис. 1. Схема логического устройства: с изменяемым (а) и неизменным (б) направлением намагниченности контакта М

Долгое время главным кандидатом на спиновую логику служил спиновый транзистор. В нем напряжение, прикладываемое к затвору, вызывает прецессию спина электронов, пробегающих в канале транзистора, вследствие спин-орбитального взаимодействия Рашбы. Контакты истока и стока намагничены либо параллельно, либо антипараллельно. Электроны инжектируются из контакта истока с тем же направлением магнитного момента, что и намагниченность этого контакта. После пролета канала они проникают в сток и создают ток, только если направление их магнитного момента совпадает с направлением намагниченности контакта стока. Однако, как выяснилось, спин-орбитальное взаимодействие в реальных структурах слишком слабое, в результате чего для переворота спина электрона требуются слишком большие напряжения на затворе либо слишком длинные каналы (см. ПерсТ, том 13, выпуск 10, июнь 2006). Авторы настоящей работы предлагают вместо переворота спина электрона изменять намагниченность контактов, что, фактически, означает переход от спинового транзистора на GMR структуры.

На рис. 1 показана схема устройства, в котором входными сигналами являются намагниченности контактов X и Y. Проводники, изменяющие намагниченность не показаны. Ток между контактами

ПерсТ, 2007, том 14, выпуск 12/13

протекает по сильнолегированному хорошо проводящему слою полупроводника при подаче напряжения V_{DD} . Выходной ток I_M снимается с контакта М. Если изменять намагниченность контактов А и В, то можно выполнять различные логические операции между сигналами X и Y. При той намагниченности, что показана на рисунке, выполняется операция NAND (отрицание И). Напомним, что это такое. Если на вход подаются два сигнала А и В, а на выходе получается то, что показано в таблице. Главное, что эта операция является универсальной, т.е. из одних логических элементов NAND можно построить схему, выполняющую любую сложную логическую операцию.

INPUT		OUTPUT
A	B	A NAND B
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Однако чтобы из этих логических элементов сделать большую логическую схему, необходимо, чтобы ток I_M поступал на вход следующего элемента и соответствующим образом намагничивал контакт X или Y в нем. Выходной ток должен быть достаточно большим, чтобы

переключить состояние следующего логического элемента в каскаде. Этим в первую очередь отличаются логические схемы от схем памяти. Элементов памяти придумывают очень много, но только немногие из них годятся для логических схем по указанной выше причине. Как оказалось, и в этом случае ток I_M слишком мал, поэтому авторы предлагают использовать тиристоры, позволяющие с помощью маленького тока управлять большим током, требующимся для намагничивания. Предложение интересное, но сомнение в его перспективности вызывает, по-видимому, низкое быстродействие и затрата большой энергии на переключение элементов.

В.Вьюрков

1. H. Dery et al, *Nature* **447**, 573 (2007).

Анизотропное разрушение поверхности Ферми в квантовой критической точке

В 1853 году G.Wiedemann и R.Franz обнаружили, что удельная теплопроводность металла k пропорциональна его удельной электрической проводимости σ и абсолютной температуре T [1] (закон Видемана-Франца). Спустя 75 лет A.Sommerfeld рассчитал [2] константу L в соотношении $k = L\sigma T$, используя модель свободного электронного газа, подчиняющегося статистике Ферми-Дирака. Теоретическая величина L в пределе $T \rightarrow 0$ составила $L_0 = (\pi^2/3)(k_B/e)^2$, где k_B – постоянная Больцмана, e – заряд электрона, и совпала с экспериментальной. Это способствовало всеобщему признанию квантовой теории твердых тел и ее быстрому дальнейшему развитию.

В 1956 году Л.Д.Ландау показал, что даже при наличии сильного межэлектронного кулоновского взаимодействия, когда "газовое приближение" неприменимо, электроны в металле при низкой температуре можно по-прежнему описывать как слабо взаимодействующие фермионы (квазичастицы) с эффективной массой m^* и достаточно четко определенной поверхностью Ферми, отделяющей занятые электронами состояния от незанятых (теория ферми-жидкости). Поскольку в законе Видемана-Франца масса электрона не фигурирует, он остается справедливым и в ферми-жидкости (при $T \rightarrow 0$). В последние несколько лет появились, однако, сообщения о наблюдении некоторых отклонений от предсказаний теории ферми-жидкости. Такие отклонения были, в частности, обнаружены [4] в металлах с частично заполненными d - и f -оболочками вблизи квантовой критической точки (ККТ), разделяющей две различные электронные фазы при $T = 0$.

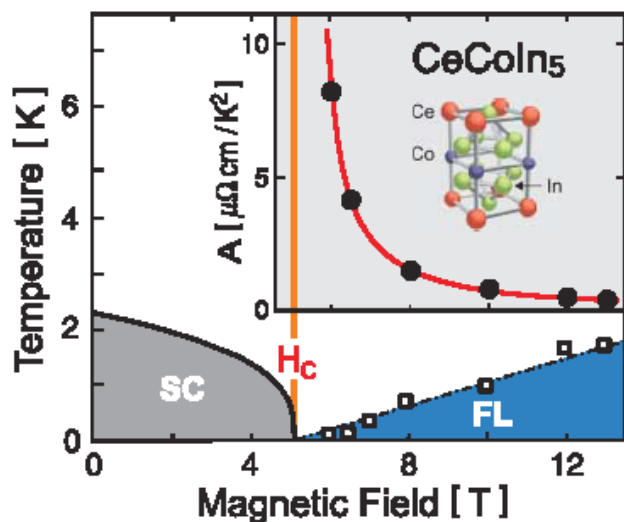


Рис. 1. Фазовая диаграмма CeCoIn_5 в координатах H - T . Магнитное поле направлено вдоль оси c (перпендикулярно базисной плоскости тетрагональной решетки, см. вставку). SC – сверхпроводящая фаза. FL – область ферми-жидкости, в которой $\rho = \rho_0 + AT^2$. Зависимость $A(H)$ изображена на вставке.

Чтобы выяснить, сохраняются ли квазичастицы Ландау и поверхность Ферми в ККТ, украинские, канадские и американские ученые выполнили детальные экспериментальные исследования [5] транспорта тепла и заряда в CeCoIn_5 – металле с "тяжелыми фермионами", у которого ККТ при $H_c = (5.0 \pm 0.1)$ Тл отделяет сверхпроводящую фазу от нормальной (ферми-жидкостной) (см. рис.1). При $H > H_c$ удельное электросопротивление $\rho = 1/\sigma$ зависит от температуры по закону $\rho = \rho_0 + AT^2$, где коэффициент A расходится при $H \rightarrow H_c$ как $A \sim (H - H_c)^{-4/3}$. На рис.2 изображены экстраполированные к $T = 0$ полевые зависимости ρ и удельного термического сопротивления w , определяемого как $w = L_0 T/k$ и связанного с ρ соотношением $w = (L_0/L)\rho$. Если ток направлен перпендикулярно оси c , то с хорошей точностью $w = \rho$ при всех H

вплоть до H_c , то есть закон Видемана-Франца выполняется. При параллельном же оси c направлению тока $w \approx \rho$ только при $H > 8$ Тл, а по мере приближения к ККТ различие между w и ρ становится все больше и больше, что говорит о нарушении закона Видемана Франца, причем нарушении анизотропном – только вдоль оси c .

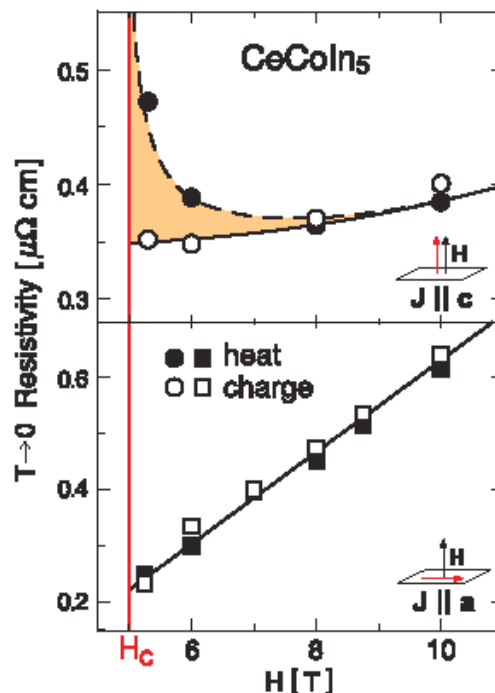


Рис. 2. $\rho(T \rightarrow 0)$ и $w(T \rightarrow 0)$ (пустые и закрашенные символы соответственно) как функции H при параллельном и перпендикулярном оси c направлению тока

Полученные в [5] результаты свидетельствуют о том, что при $H \rightarrow H_c$ поверхность Ферми сохраняется в плоскости a - b , но разрушается в направлении оси c . Нечто подобное имеет место и в недодопированных ВТСП, где при уменьшении концентрации дырок контур Ферми в плоскости a - b разрывается на "дуги", которые при $T \rightarrow 0$ сжимаются в точки, расположенные на направлениях нулей сверхпроводящей щели ($\phi = \pm\pi/4; \pm 3\pi/4$) [6]. Как в ВТСП, так и в CeCoIn_5 "анизотропное разрушение поверхности Ферми" может быть связано со спиновыми флуктуациями. В CeCoIn_5 характеристическая энергия спиновых флуктуаций при $H = H_c$ соответствует температуре $T_{SF} \approx 4$ К. Выше этой температуры зависимость $\rho_a(T)$ вдоль оси a является линейной, тогда как $\rho_c(T) \sim T^{3/2}$ при $T < 1$ К (см. рис.3). Напротив, зависимость $\rho_c(T)$ вдоль оси c строго линейна вплоть до $T = 25$ мК, то есть для рассеяния на магнитных флуктуациях $T_{SF} \rightarrow 0$ при транспорте вдоль оси c . Причина такой анизотропии T_{SF} (как и причина анизотропного разрушения поверхности Ферми) кроется, возможно, в анизотропном характере спектра спиновых флуктуаций в ККТ.

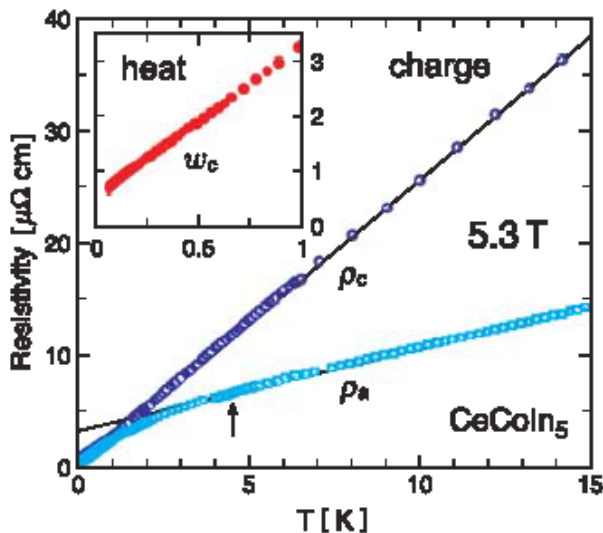


Рис.3. Температурные зависимости ρ вдоль оси c и вдоль оси a при $H = 5.3$ Тл $\approx H_c$. (на вставке – температурная зависимость w вдоль оси c при $H = 5.3$ Тл)

Л.Опенев

1. G.Wiedemann, R.Franz, *Ann. Phys.* **89**, 497 (1853).
2. A.Sommerfeld, *Naturwissenschaften* **15**, 825 (1927).
3. Л.Д.Ландау, *ЖЭТФ*, **30**, 1058 (1956).
4. P.Coleman, A.J.Schofield, *Nature* **433**, 226 (2005).
5. M.A.Tanatar et al., *Science* **316**, 1320 (2007).
6. A.Kanigel et al., *Nature Physics* **2**, 447 (2006).

СВЕРХПРОВОДНИКИ

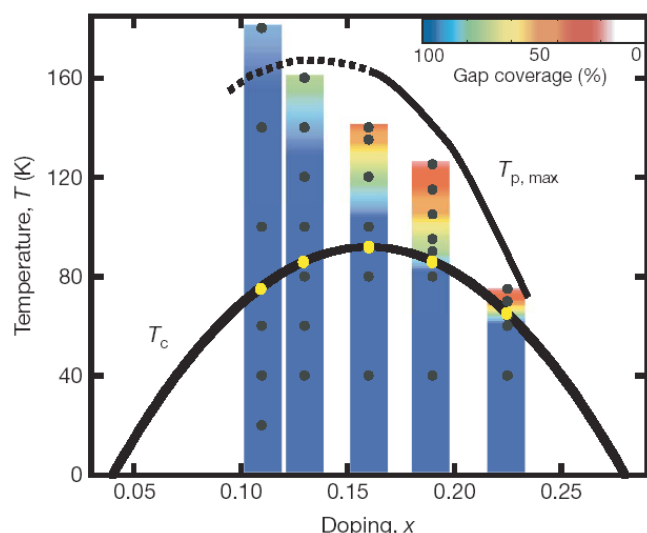
Электронные пары выше критической температуры в высокотемпературных сверхпроводниках

Фазовые переходы в ферромагнетиках и в обычных низкотемпературных сверхпроводниках (НТСП) имеют принципиальные различия. Если при повышении температуры ферромагнетика до точки Кюри исчезает лишь порядок в ориентации магнитных моментов, но не сами моменты, то в НТСП как порядок в волновых функциях электронных пар (фазовая когерентность), так и сами пары исчезают при одной и той же критической температуре T_c . Количественной мерой прочности связи электронов в парах является сверхпроводящая щель Δ в плотности электронных состояний, которая максимальна при $T=0$ и обращается в нуль при $T=T_c$. Многие эксперименты [1] свидетельствуют о том, что высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) занимают промежуточное положение между этими двумя предельными случаями и что в них пары существуют также в некотором температурном диапазоне выше T_c , то есть выше температуры, при которой нарушается фазовая когерентность (исчезает дальний недиагональный порядок) и появляется конечное электросопротивление. В ВТСП "частичная щель" в плотности состояний сохраняется при $T_c < T < T^*$, причем в этом интервале температур ее называют "псевдощелью". Фундаментальный вопрос, на который пока нет однозначного ответа, заключается в том, имеет ли

псевдощель отношение к спариванию электронов (но без фазовой когерентности) или же она связана с каким-то другим типом электронного порядка, конкурирующим со сверхпроводимостью. В теоретических моделях недостатка нет, а вот однозначной интерпретации экспериментов препятствует то, что большинство из них дают информацию об усредненных по образцу (или по его части) характеристиках и поэтому не позволяют "разглядеть" сохранившиеся при $T > T_c$ пары (если они действительно есть в ВТСП) на атомном масштабе.

Японским (Central Research Institute of Electric Power Industry) и американским (Princeton University) физикам удалось [2] просканировать поверхности скола монокристаллов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ в сверхвысоком вакууме иглой СТМ и найти (по особенностям на дифференциальных ВАХ) температурные зависимости щели в разных участках образца, всякий раз фиксируя иглу с точностью не хуже $0.1 \text{ \AA}$ (меньше амплитуды тепловых колебаний атомов), что обеспечило строго локальный характер измерений. Были исследованы монокристаллы с различным содержанием кислорода, соответствующим концентрации дырок $x = 0.12 \div 0.22$ (в расчете на атом меди), то есть охватывающим все диапазоны составов: недодопированные, оптимально допированные и передопированные. Авторы установили, что при фиксированных x и T локальные величины Δ различны в разных точках поверхности скола. Поскольку в ВТСП параметр сверхпроводящего порядка имеет d -волновую симметрию, здесь и ниже речь идет о максимальной величине анизотропной щели. Неоднородность Δ на нанометровом масштабе наблюдалась в ВТСП при $T < T_c$ и раньше [3]. Принципиально новым результатом работы [2] стало непосредственное определение локальных зависимостей Δ от T . Оказалось, что при концентрации дырок $x = 0.16 \div 0.22$ (то есть в оптимально допированных и передопированных образцах) щель исчезает при температуре $T_p > T_c$, (см. рис.). Хотя величина $\Delta(0)$ может существенно меняться от точки к точке (от ~ 15 до ~ 50 мэВ), для T_p справедливо универсальное соотношение $2\Delta(0)/k_B T_p = 7.9 \pm 0.5$. При этом чем больше x , тем ближе оказывается T_p к T_c . В недодопированных образцах с $x \leq 0.14$ в плотности состояний имеются два типа особенностей при различных энергиях, что говорит о наличии двух типов щелей. Одна из них (та, которая меньше) имеет, возможно, сверхпроводящую природу, а другая (по мнению авторов [2]) – точно нет. Таким образом, псевдощель в оптимально допированных и передопированных ВТСП ("мягкая псевдощель") и псевдощель в недодопированных ВТСП ("жесткая псевдощель") – это две большие разницы. Результаты работы [2] указывают, помимо прочего, на то, что, по крайней мере, часть необычных свойств

нормального состояния ВТСП обусловлена "выживанием" локальных электронных пар при $T > T_c$.



Схематическая фазовая диаграмма $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ в координатах концентрация дырок x – температура T . Черные точки показывают, при каких величинах x и T проводилось сканирование поверхности иглой СТМ. Цветом обозначена доля площади поверхности (в процентах), на которой $\Delta \neq 0$ при данных x и T . Нижняя линия — $T_c(x)$, верхняя линия — $T_{p, max}(x)$, где $T_{p, max}$ — температура, при которой $\Delta \neq 0$ более чем на 10% площади скола.

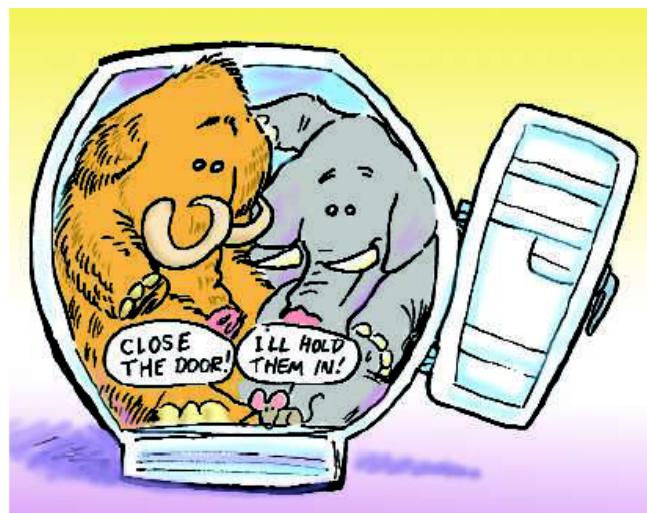
Л. Оленов

1. T. Timusk, B. Statt, *Rep. Prog. Phys.* **62**, 61 (1999).
2. K. K. Gomes et al., *Nature* **447**, 569 (2007).
3. K. McElroy et al., *Science* **309**, 1048 (2005).

Андерсон и высокотемпературные сверхпроводники

На страницах одного из июньских номеров журнала "Science" знаменитый теоретик-твердотельщик Р.В.Андерсон (Princeton University, США) поделился своими соображениями о причинах безрадостного положения дел в теории высокотемпературной сверхпроводимости [1]. Не вдаваясь в детали собственной последней модели [2], он раскритиковал тех (а фактически — всех) своих коллег, которые занимаются поисками "бозонного клея", обеспечивающего образование электронных пар в ВТСП, и дискутируют о физической природе этого "клея", будь то фононы, магноны или какие-то другие квазичастицы. По мнению Р.В.Андерсона, порочна сама идея пытаться использовать "бозонный механизм" Элиашберга для описания спаривания электронов в ВТСП, где характерная энергия межэлектронного кулоновского взаимодействия (например, энергия хаббардовского отталкивания электронов $U > 2$ эВ) превышает ширину разрешенной зоны. Поэтому справедливая для низкотемпературных сверхпроводников перенормировка кулоновского псевдопотенциала $\mu \rightarrow \mu^* \ll \mu$ (в результате которой μ^* становится меньше константы электрон-фононной связи λ , и эффективное взаимодействие между электронами соответствует

их взаимному притяжению) оказывается незаконной. Наблюдаемая в экспериментах по фотоэмиссии с угловым разрешением (ARPES) большая ширина функции распределения электронов по энергии, считает Р.В.Андерсон, обусловлена именно кулоновским взаимодействием электронов между собой, а не с бозонным полем, как некоторые наивно полагают [3]. Здесь на память приходит одна из любимых поговорок Л.Д.Ландау: "Закон Кулона никто не отменял" и строчки из известной песни: "Закон Кулона не объявишь вне закона, ну разве что через Басманный суд". Одним из важных следствий большой величины U является сильное антиферромагнитное взаимодействие, характерная энергия которого $J \approx 0.12$ эВ также довольно велика и которое, вопреки расхожему мнению [4], не имеет никакого отношения к низкочастотным спиновым взаимодействиям между зонными электронами, поскольку характер этого взаимодействия строго ферромагнитный. Итак, резюмирует Р.В.Андерсон, в ВТСП есть два типа межэлектронных взаимодействий кулоновской природы: сильное (J) и очень сильное (U). Их наличие позволяет объяснить и антиферромагнетизм, и d -волновую симметрию параметра порядка, и многие другие специфические особенности ВТСП. И если какой-то дополнительный "бозонный клей" и в самом деле существует, это уже не суть важно... Ведь когда в холодильнике сидят мамонт и слон, то какое нам дело до того, есть ли там еще и мышка?



1. P. W. Anderson, *Science* **317**, 1705 (2007).
2. P. W. Anderson, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 017001 (2006).
3. M. R. Norman, et al., *Phys. Rev. B* **73**, 140501 (2006).
4. D. J. Scalapino et al., *Phys. Rev. B* **34**, 8190 (1986).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Использование углеродных нанотрубок для очистки сточных вод

Как известно, углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальными сорбционными характеристиками, что связано, в первую очередь, с рекордно высокой удельной поверхностью (до 2600 см²/г), присущей этим структурам. Кроме того, поверх-

ность нанотрубки обладает значительным количеством двойных углеродных связей, что открывает возможность присоединения различных молекулярных комплексов, которые могут характеризоваться повышенными сорбционными свойствами. Данное качество УНТ открывает перспективы их использования в качестве сорбента в устройствах для очистки сточных вод от вредных примесей, таких как тяжелые металлы и органические соединения. Детальное исследование сорбционной способности УНТ по отношению к свинцу и кадмию, а также к дихлоробензолу, присутствие которых в сточных водах представляет значительную экологическую угрозу, выполнено недавно группой исследователей из Ноттингемского университета (Англия) и Академии наук Китая. В эксперименте использовали четыре образца многослойных УНТ, полученных термокаталитическим CVD методом с применением различных углеводородов в качестве источника углерода. После тщательного измельчения и диспергирования нанотрубки в течение часа промывали при температуре 140° С в концентрированной азотной кислоте с целью удаления примесей металлического катализатора. Для повышения сорбционных свойств УНТ по отношению к металлам, нанотрубки обрабатывали такими окислителями как H_2O_2 , $KMnO_4$ и HNO_3 . 0,02 г УНТ вводили в 100 мл раствора, содержащего от 10 до 60 мг/л свинца. После фильтрации раствора, количество сорбированного свинца определяли методом атомной адсорбционной спектроскопии. Аналогичные измерения проводили при введении в раствор кадмия с концентрацией от 1 до 9,5 г/мл.

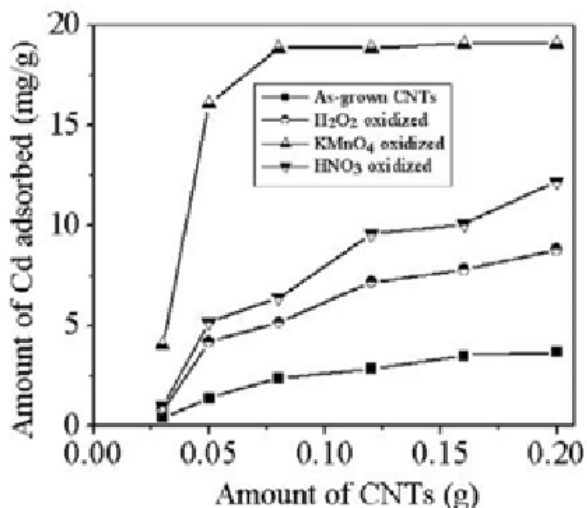


Рис. 1. Зависимость относительного количества сорбированного Cd от массы образца УНТ

На рис. 1 приведены зависимости относительного количества сорбированного Cd от массы УНТ, полученные экспериментально для исходного образца, и образцов, обработанных различными окислителями. Измерения указывают на сильную зависимость сорбционной способности УНТ от типа окислителя. Еще одним фактором, оказывающим

существенное влияние на сорбционную способность УНТ, является величина pH раствора. Это влияние иллюстрируется представленными на рис. 2 экспериментальными данными, из которых следует, что влияние pH на сорбционные свойства УНТ проявляется при величине pH > 10.

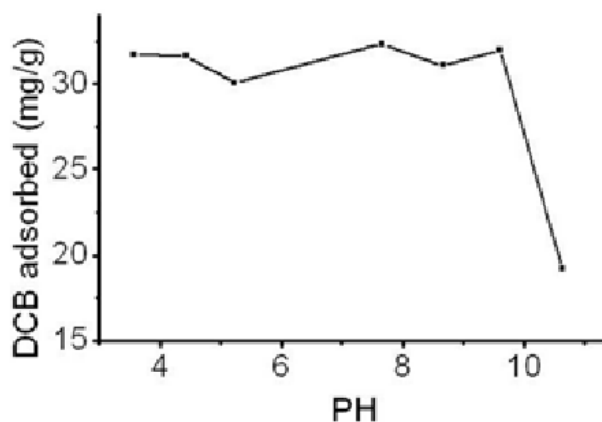


Рис. 2. Зависимость относительного количества сорбированного дихлоробензола от величины pH раствора

А.В.Елецкий

1. Y. H. Li et al., *J. Phys.: Conf. Series* **61**, 698 (2007).

Экранирование СВЧ излучения пленками из однослойных углеродных нанотрубок

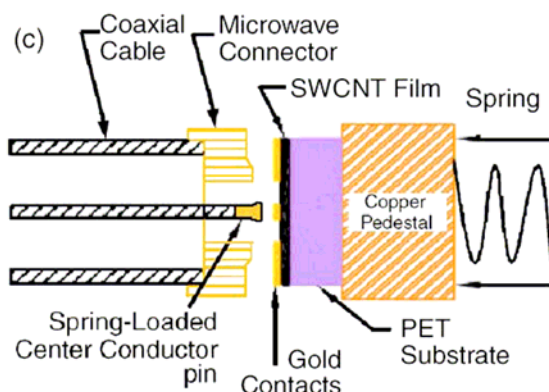


Рис. 1. Схема эксперимента для изучения экранирующей способности пленки УНТ от СВЧ излучения.

Исследования показывают, что углеродные нанотрубки являются подходящим материалом для покрытий, защищающих живые объекты и электронные устройства от СВЧ излучения, интенсивность которого в окружающем мире непрерывно возрастает. Экранирующие свойства УНТ обусловлены их хорошей проводимостью, а удобство их использования в качестве защитного покрытия связано с низким удельным весом и с возможностью получения на их основе тонких прозрачных пленок, не меняющих внешний вид экранируемого объекта. Детальное исследование экранирующих свойств пленок на основе однослойных УНТ выполнено недавно группой исследователей из университетов

Калифорнии и Мериленда (США) [1]. Схема измерений показана на рис. 1.

Пленку однослойных УНТ толщиной 30 нм, имеющую оптическую прозрачность 80%, наносили на подложку из фторированного полиэтилена. Затем на пленку наносили золотой контакт в виде диска. Излучение подавали на образец через коаксиальный кабель. Установка позволяла измерять комплексную проводимость пленки в диапазоне частот от 10 МГц до 30 ГГц. Основные результаты измерений приведены на рис. 2.

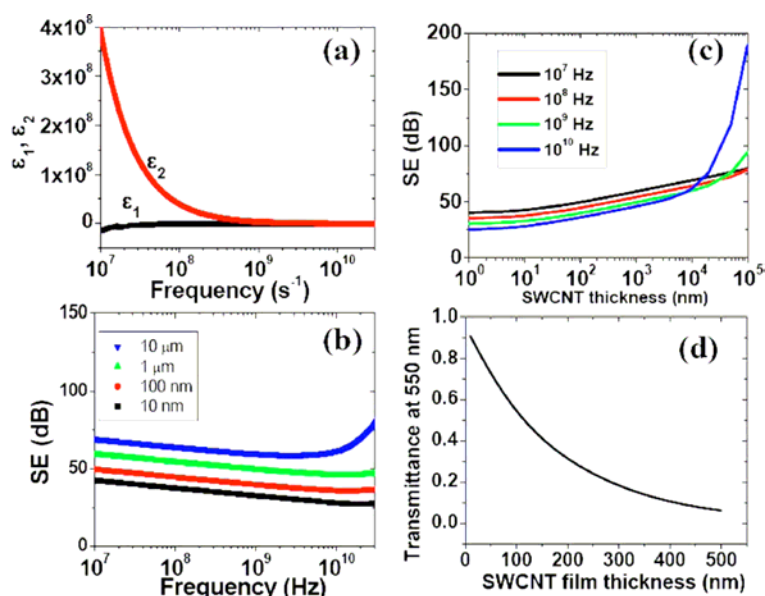


Рис. 2. Частотные зависимости действительной (ϵ_1) и мнимой (ϵ_2) частей диэлектрической постоянной (a); частотные зависимости коэффициента поглощения СВЧ излучения пленками УНТ различной толщины (b); измеренные (c) и вычисленные (d) зависимости коэффициента поглощения СВЧ излучения различной частоты от толщины пленки

Результаты измерений показывают, что пленки на основе УНТ по своим экранирующим свойствам удовлетворяют требованиям многих приложений. В частности, такие пленки могут использоваться для защиты потребителя от излучения мобильных телефонов.

А.В.Елецкий

1. H. Xu et al. *Appl. Phys. Lett.* **90**, 183119 (2007)

Текстильные изделия из углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки обладают уникальными механическими характеристиками, что проявляется в рекордной величине модуля Юнга индивидуальных УНТ, достигающей терапаскалей. Однако практическая реализация столь высоких прочностных свойств возможна лишь в результате перехода от образцов индивидуальных УНТ к макроскопическим объектам на их основе. Первые шаги на пути к решению этой проблемы предприняты сотрудниками химического факультета Техасского уни-

верситета в Далласе (США) [1], которые разработали процедуру получения пряжи и тканей на основе УНТ. В качестве исходного материала для получения пряжи используется плотный массив многослойных нанотрубок высотой около 200 мкм, полученный в результате термокаталитического разложения ацетилена при температуре около 1000 К над кремниевой подложкой, покрытой наночастицами железа, которые играют роль катализатора. Для превращения такого массива в пряжу применена стандартная процедура скручивания, которая лежит в основе классического текстильного производства. Эта процедура иллюстрируется микрофотографиями, представленными на рис. 1.

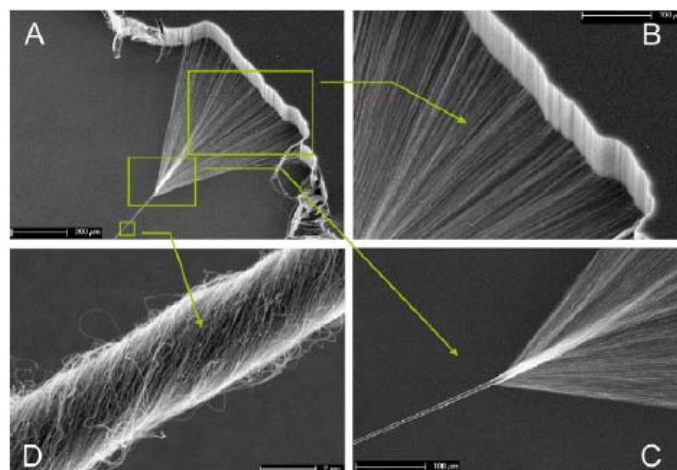


Рис. 1. Полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа микрофотографии, иллюстрирующие процедуру получения пряжи диаметром 3 мм и длиной 250 мм из массива УНТ: (A) общий вид; (B) характер сворачивания УНТ; (C) детали формирования нитей; (D) структура пряжи, содержащей свыше 100000 индивидуальных УНТ

Максимально наблюдаемая жесткость полученной из массива УНТ высотой 550 мм пряжи, что определяемая как удельная энергия, затрачиваемая на ее разрыв, составляет 27 Дж/г, что сопоставимо с соответствующей величиной (33 Дж/г) для углеродных волокон. Однако, в отличие от углеродных волокон, УНТ пряжа не испытывает катастрофической потери прочности при механическом, химическом, радиационном или тепловом воздействии.

Ткань на основе УНТ получают из массива УНТ посредством вытягивания без использования процедуры скручивания. Прочное полотно получается при скорости вытягивания до 30 м/мин, что сравнимо со скоростью получения шерстяных нитей (20 м/мин.). Так, из массива УНТ высотой 245 мкм удалось получить полотно длиной около 3 м. Уплотнение позволило уменьшить толщину полотна до 50 нм при удельной плотности 30 мг/м 2 . Измерения показывают, что удельная прочность такого полотна 120-140 МПа/(г/см 3), удельное сопротивление - около 500 Ом/см 2 , а работа выхода электрона равна 5,2 эВ.

Сочетание высоких механических качеств с электропроводностью и прозрачностью открывает значительные перспективы использования пряжи и тканей на основе УНТ в качестве материала для искусственных мускулов, в качестве прозрачных электродов, в качестве нагреваемых покрытий для оконных стекол и т. п.

А.В.Елецкий

1. K.R. Atkinson et al. Physica B 394, 339 (2007).

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Нано в Германии. Все будет наноо'кей

Хотя основным игроком на нанотехнологическом поле являются США, Германия не сильно отстает от них. К такому заключению пришли аналитики консалтинговой компании Lux Research в своем новом обзоре, в котором сравниваются нанодостижения 14 стран. Германия занимает положение в верхней тройке по большинству оцениваемых категорий – вторая после США по числу исследовательских центров, третья после США и Японии по финансированию корпоративных исследований и вторая после США по числу зарегистрированных патентов.

Позиция Германии чрезвычайно сильна, в частности, благодаря тому, что в исследования включились как вновь образованные компании, так и большие ведущие компании, такие как BASF или Degussa. BASF планирует инвестировать в наноразработки 180 млн. Евро в период между 2006 и 2008 г.г.

С 1995 г. в Германии основано 200 новых нанотехнологических компаний (их перечень см. на www.nano-map.de), создавших более 5000 новых рабочих мест (это десятая часть от 50000, включенных в наноисследования и разработки в Германии). Для сравнения, в США число таких компаний уже превышает 1000. К слову, после 2000 года рост числа новых компаний в Германии замедлился, что возможно связано с неким скептицизмом и опасениями, возникшими у частного капитала после очевидного краха новых интернет-компаний в США и отсутствия быстрой отдачи от вложений в нанотехнологии. Число новых компаний может оказаться фактором, вводящим в заблуждение. Так, одна только традиционная химическая компания, подобная BASF, возможно, продает больше наноматериалов в год, чем все вновь организованные компании вместе взятые.

По заключению консалтинговой компании Cientifica, основанной в Великобритании, частный капитал США инвестировал в нанотехнологии в 2005 г. в 6 раз большие суммы, чем европейский капитал. В обзоре Lux Research названы следующие суммы инвестиций со стороны частного капитала в 2006 г.: 36 млн. долл. в Европе и 550 млн. долл. в США.

Чтобы привлечь частный капитал, в Германии организовали NanoEquity (www.nanoequity.eu), конференцию с участием трех сторон – инвесторы, нанотехнологические компании и ученые.

Другой резерв Германии – множество ее университетов и исследовательских центров, которые помогают молодым наноккомпаниям в организации производства нанотехнологической продукции. Так, фирма Nanogate была образована в 1999 г. на основе идей ученых Institute of New Materials in Saarbrücken. Фирма специализируется на нанопокровых, она поставляет не только нанопорошки, но и готовые ванны с покрытиями, на основе наночастиц, а также оборудование для нанесения нанопокровых. Сегодня в этой фирме уже работают 53 сотрудника и с 2004 г. компания стала прибыльной.

Другая компания, выросшая из академической среды и уже ставшая прибыльной – это производитель сканирующих зондовых микроскопов WITec. Компания основана 10 лет назад тремя физиками из Ulm University, который на первых порах предоставил им часть своей территории. В отличие от Nanogate, в WITec вложены собственные деньги самих учредителей, что побуждает их к более активным действиям для быстрого получения доходов.

Конечно, не все вновь организованные компании в Германии прибыльны. Например, Aquanova AG была основана в 1995 г. и разрабатывает способы повышения биоактивности пищевых добавок, таких как коэнзимы Q10. Одна из причин отсутствия прибыли – в длительности процессов клинических испытаний. Ожидается, что компания станет прибыльной к 2008-2009 г.г.

Отдавая дань длительным (70-80 лет) традициям в химической и фармацевтической промышленности, Германия усилиями таких больших игроков как BASF и Degussa заняла сильную позицию в наноматериалах. В здравоохранении активность проявляют и другие компании, такие как Cinvention AG, которая делает наноструктурированные углеродные покрытия для медицинских инструментов, и MagForce, которая синтезирует магнитные наночастицы и изготавливает инжекторы для их введения в организм человека. В магнитных полях частицы концентрируются в области раковой опухоли и нагревают ее, приводя к ее разрушению без использования традиционной химиотерапии или операции. Продукция обеих компаний еще в стадии клинических испытаний, но они успешны.

Еще не ясно, какие преимущества может принести нано в таких традиционных областях, как немецкий текстиль и строительные материалы. В рамках новых инициатив германского правительства “Aktionsplan 2010” («План действий 2010») планируется ускорить инновации в этих областях. Так что, если будут деньги, то и в этих областях удаст-

ся найти применения для нанойдей - все будет наноо'кей!

На пути активности в нанотехнологиях Германия не хотела бы повторить свои ошибки, допущенные с компьютерами: Германия изобрела компьютер, но не смогла перевести его в продукт, подобно тому, как это сделала Америка.

Small Times Magazine 7, no. 3 (May/June 2007),
<http://www.smalltimes.com/>

КОНФЕРЕНЦИИ

Magnetic and Superconducting Materials 2007 (MSM07), 25-30 September 2007, Khiva, Uzbekistan

The topics of focus at the Magnetic and Superconducting Materials 2007 (MSM07) are: Unconventional Superconductivity, Magnetism, Quantum Criticality, Heavy Fermion Systems, Mechanisms of Superconductivity, Pseudogap, Coexisting/Competing States, Cold Atoms and Bose Einstein Condensates. Theory, Material Aspects of Cuprate Superconductors, Electronic Properties, Tunneling Spectroscopy and Josephson Junction, Superconducting Coherence and Phase Slip, Vortex Behaviors, Fabrication of Thin Films and their Properties, Electronic Applications, Interaction with Electromagnetic Waves, and Other Exotic Superconductors, Strongly Correlated Electrons, Spin Electronics and Magneto-Transport, Magnetic Structures and Interactions, Special Systems and Materials, Statistical Mechanics of Magnetism, Soft and Hard Magnetic Materials, and Magnetic Fine Particles, Magnetic Structure and Dynamics, Magnetoelectrics and Ferroelectrics.

Contacts

Montu Saxena - sss21@cam.ac.uk

Stephen Rowley - ser41@cam.ac.uk

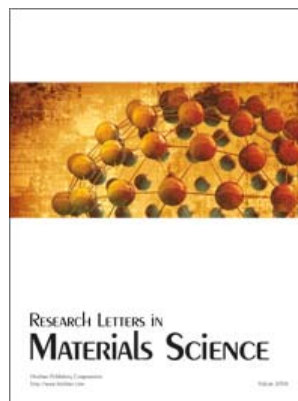
Tel: +44 (0) 1223 337351

Fax: +44 (0) 1223 337351

Web: <http://www.quantummatter.org/msm07>

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Радуйтесь материаловеды!



Издательство [Hindawi Publishing Corporation](http://www.hindawi.com) объявило о начале издания нового журнала Research Letters in Materials Science с открытым доступом к полнотекстовой версии. Журнал должен обеспечить быструю публикацию (в течение 60 дней) коротких (до 4-х страниц), но написанных на высоком научном уровне статей в широком диапазоне направлений современного материаловедения.

Подробности на сайте

<http://www.hindawi.com/journals/rlms/>.

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

Научный редактор К.Кугель

Ответственный редактор: И.Чугуева e-mail: irina@issp.ras.ru

В подготовке выпуска принимали участие В.Вьюрков, А.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенков,

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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