

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Жесткая сверхпроводимость мягкого металла в квантовом пределе

Уменьшение одного или нескольких размеров сверхпроводника до масштаба длины когерентности ξ ($\sim 1 \div 100$ нм в различных соединениях) приводит к подавлению сверхпроводимости из-за того, что электроны, во-первых, не могут образовывать куперовские пары, а во-вторых, разрушается когерентность квантового состояния, обеспечивающая бездиссипативный перенос заряда. Помимо этого, в сверхпроводящих слоях толщиной $\sim \xi$ затруднен пиннинг абрикосовских вихрей, что опять же приводит к диссипации и препятствует практическому использованию “чересчур тонких” сверхпроводящих пленок в различных приложениях. Для стабилизации сверхпроводимости пленок *Pb* толщиной несколько монослоев (*ML*) в работе [1] использован эффект квантового конфайнмента электронов проводимости.

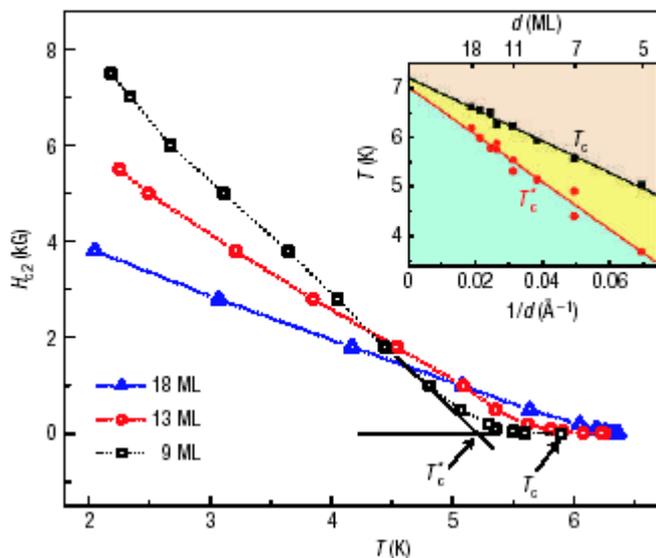


Рис. 1. Температурная зависимость H_{c2} ультратонких пленок *Pb* различной толщины d . На вставке – зависимости T_c и T_c^* от $1/d$.

Начнем с того, что рост пленок *Pb* (в отличие от других металлов) определяется не энергией деформации их поверхности, а квантованием электронных состояний в поперечном направлении. Это связано с тем, что на толщине $2ML$ в направлении $\langle 111 \rangle$ ($1ML = 0.286$ нм) укладывается почти в точности полторы длины волны электрона с энергией Ферми. Такая взаимосвязь электронных и структурных характеристик позволяет вырастить пленки *Pb* на *Si(111)* с идеально гладкой (на атомном уровне) поверхностью и практически не содержащие дефектов начиная с $d = 5ML$. Исследования сверхпроводящих свойств пленок с различными d показали, что при $T \rightarrow T_c$ зависимость $H_{c2}(T)$ существенно отклоняется от линейной, причем характер этого отклонения систематически зависит от d (см. рис.1). Экстраполяция линейного участка $H_{c2}(T)$ к $H_{c2}=0$ дает $T_c^* \neq T_c$. При уменьшении d величина T_c хоть и уменьшается

И далее ...

- 2 Джозефсоновские контакты из сверхтекучей жидкости
- 3 Локальный контроль двумерной сверхпроводимости с помощью сегнетоэлектрика

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 3 Углеродные нанотрубки помогут вырастить новую руку?
- 4 Многослойные нанотрубки малого диаметра столь же прочны, как однослойные
- 5 Оптические спектры углеродных нанотрубок зависят от хиральности
- 6 Гибкие дисплеи из углеродных нанотрубок

МАНГАНИТЫ

- 6 Семейство квази-двумерных слоистых материалов

НАНОСТРУКТУРЫ

- 7 Неэргодичность одномерного бозе-конденсата

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 8 Шредингеровский котенок

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 8 Как выявить самую «горячую» тему в физике?

КОНФЕРЕНЦИИ

- 9 **March 12-16, 2007.** Phoenix, Arizona, USA. Nano and Giga Challenges in Electronics and Photonics.

(см. вставку на рис.1), но достаточно медленно по сравнению с аморфными и гранулярными пленками. Это связано с их почти идеальной кристаллическостью и отсутствием дефектов. $T_c(d) = T_{c0}(1 - d_c/d)$, где $T_{c0} = 7.2\text{K}$ – величина T_c в объемных образцах, а $d_c \approx 0.43\text{nm}$ представляет собой критическую толщину пленки, при которой сверхпроводимость исчезает (заметим, что $\xi \approx 90\text{nm}$ в объемном *Pb*).

Однако известно, что полное отсутствие дефектов мешает использованию сверхпроводников в магнитных устройствах, поскольку абрикосовским вихрям при этом не за что “зацепиться”, и возникает резистивное состояние с $R \neq 0$. Авторы упомянутой работы нашли способ выращивать пленки *Pb*, содержащие поры толщиной ровно $2ML$ и имеющие четко очерченные границы. Процесс намагничивания таких пленок является существенно необратимым, а петли гистерезиса имеют почти прямоугольную форму (см. рис.2), что говорит о наличии в них критического биновского состояния. Глубина локальных потенциальных ям для захвата абрикосовских вихрей в несколько раз превышает тепловую энергию при комнатной температуре. Таким образом, поры представляют собой практически идеальные центры пиннинга: они “портят” сверхпроводник только локально, и “чистые” в остальных отношениях пленки ведут себя как “грязные” жесткие сверхпроводники. Как следствие, их критический ток оказывается очень высоким ($J_c > 10^6\text{A/cm}^2$) и достигает 10% от тока распаривания.

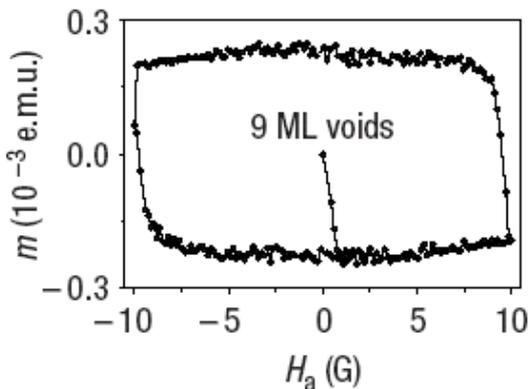


Рис. 2. Петля гистерезиса пленки *Pb* с $d = 9ML$.

Было бы здорово попробовать использовать методы “наноинженерии” для создания таких барьеров на пути вихрей и в других сверхпроводниках, так чтобы эти барьеры усиливали пиннинг, не влияя на T_c . В любом случае развитая методика очень пригодится для создания тонкопленочных сверхпроводниковых наноразмерных устройств.

Л.Опенев

1. M.M. Ozer et al., *Nature Physics* 2006, 2, 173

Джозефсоновские контакты из сверхтекучей жидкости

Эффект Джозефсона – яркий пример макроскопического проявления законов микромира. Если два сверхпроводника разделены несверхпроводящей прослойкой (достаточно тонкой, чтобы они могли через нее “чувствовать” друг друга), то между ними течет ток $I \sim \sin \varphi$, величина которого определяется разностью фаз $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ между волновыми функциями этих сверхпроводников. Джозефсоновские контакты находят практическое применение в ультрочувствительных вольтметрах и датчиках магнитного поля, низкотемпературных термометрах.

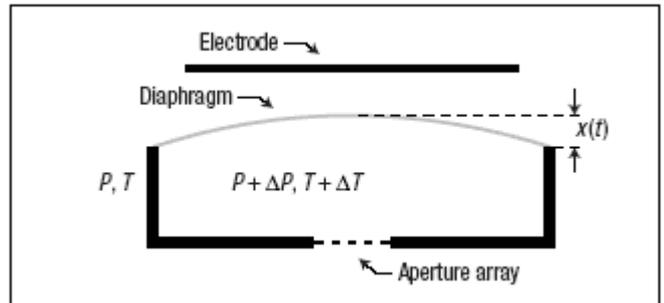


Рис.1. Схема эксперимента по исследованию течения сверхтекучего ^4He между двумя конденсатами.

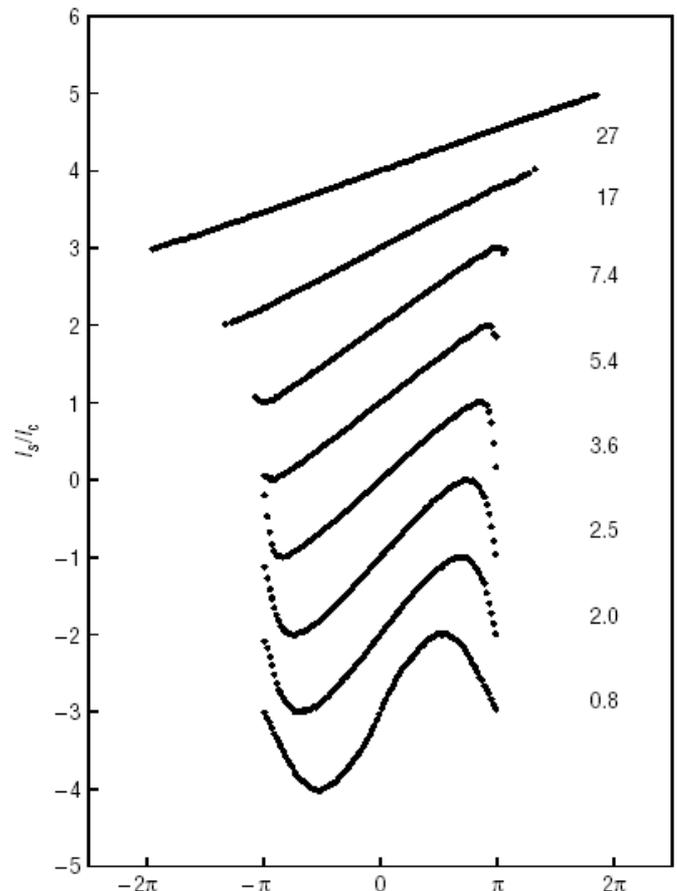


Рис.2. Зависимость сверхтока I_s между двумя конденсатами ^4He от их разности фаз φ при различных температурах. Для каждой температуры величина I_s нормирована на соответствующую максимальную величину I_c . Цифры у кривых – разность $T_\lambda - T$ в мК.

Но макроскопическая когерентность, помимо сверхпроводников, присутствует и в сверхтекучих жидкостях. После наблюдения квантовых осцилляций в сверхтекучем ^4He [1] возникла идея изготовить что-то наподобие джозефсоновских контактов из сверхтекучих конденсатов. Это впервые удалось сделать американским физикам из Калифорнийского университета (Беркли) и Калифорнийского технологического института [2].

Они разделили два резервуара с жидким ^4He перегородкой, в которой имелось 4225 отверстий диаметром $d \approx 40\text{нм}$ каждое. Течение гелия через отверстия приводило к отклонению расположенной поблизости диафрагмы (см. рис.1), что позволяло определить скорость этого течения, то есть фактически сверхток I_s . Выяснилось, что поведение I_s зависит от силы связи между конденсатами, которая характеризуется параметром d/ξ , где ξ - характерный масштаб изменения волновой функции конденсата ("healing length"). При $T < T_\lambda = 2.17\text{K}$ величина $\xi \sim 1\text{нм}$ намного меньше d (режим сильной связи), но поскольку ξ увеличивается с ростом температуры ($\xi \rightarrow \infty$ при $T \rightarrow T_\lambda$), то при $\xi \sim d$ происходит переход в режим слабой (джозефсоновской) связи. При этом зависимость $I_s(\varphi)$ изменяется с линейной на синусоидальную (рис. 2).

Так как температуры порядка 2К достижимы без особых хлопот, то полученные в [2] результаты открывают дорогу к новым приборам. Например, сверхтекучий интерферометр – аналог сверхпроводникового СКВИДа – был бы полезен как в навигации и геодезии, так и для решения ряда фундаментальных физических проблем.

Л.Опенев

1. E.Hoskinson et al., Nature 2005, 433, 376
2. E.Hoskinson et al., Nature Physics 2006, 2, 23

Локальный контроль двумерной сверхпроводимости с помощью сегнетоэлектрика

Критическая температура T_c многих сверхпроводников (например, ВТСП) очень чувствительна к концентрации носителей заряда n . Для изменения n (с целью повышения T_c) в сверхпроводник добавляют примеси замещения с другой валентностью или варьируют содержание кислорода. Однако хаотическое распределение примесей или кислородных вакансий создает для электронов рассеивающий потенциал, что приводит к расплавлению и ограничивает тем самым рост T_c . Поэтому большое значение приобретает разработка альтернативных способов допирования.

В работе [1] продемонстрирована возможность локального изменения n за счет сегнетоэлектрического полевого эффекта. Ее авторы (специалисты из Швейцарии, Франции и Японии) изготовили гетероструктуру из сверхпроводника $\text{SrTi}_{0.98}\text{Nb}_{0.02}\text{O}_3$ (Nb-STO) толщиной 26нм и сегнетоэлектрика $\text{PbZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ (PZT) толщиной 50нм. Локальное из-

Перст, 2006, том 13, выпуск 11

менение поляризации PZT путем подачи напряжения на иглу атомно-силового микроскопа приводит к сдвигу T_c в Nb-STO (см. рис.1 а,б). Таким путем можно формировать в одном и том же материале области нормальной и сверхпроводящей фазы с четкими межфазными границами чисто электронной природы, что позволит, в частности, изготавливать одномерные сверхпроводящие провода и кольца для СКВИДов или создавать в сверхпроводнике центры пиннинга. А там – кто знает – не исключено, что развитие этих идей поможет приподнять T_c в ВТСП или создать новые высокотемпературные сверхпроводники.

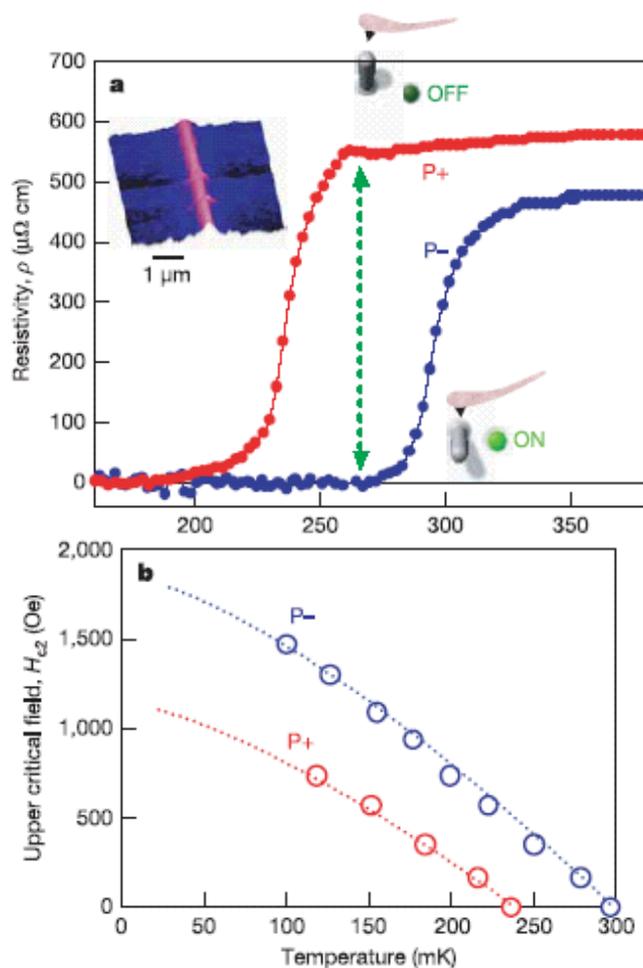


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления (а) и верхнего критического поля (б) пленки Nb-STO при различной поляризации слоя PZT иглой атомно-силового микроскопа. Поляризации P^+ и P^- отвечают, соответственно, локальному уменьшению и увеличению концентрации носителей в Nb-STO .

Л.Опенев

1. K.S.Takahashi et al., Nature 2006, 441, 195

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Углеродные нанотрубки помогут вырастить новую руку?

Область биологических применений углеродных наноматериалов расширяется с каждым днем. Тем не менее, о чем пишут американские исследователи [1], кажется фантастикой. Речь идет об использовании углеродных нанотрубок (УНТ) для формирования костей.

Для устранения различных дефектов костей, в том числе связанных с удалением опухолей, травмами, патологией развития, в современной медицине применяют трансплантаты, металлические протезы - заменяют утерянную кость искусственным материалом, что ни в коей мере не способствует ее регенерации.

Основными клетками костной ткани являются остециты (в растущей кости - остеобласты) – клетки с большим числом отростков, заключенные в межклеточное вещество, содержащее большое количество неорганических солей (главным образом, фосфатов кальция).

Исследователи в области биотехнологии использовали различные материалы в качестве основы для роста остеобластов и образования кости *in vitro*. В идеале такой материал должен обеспечить адекватное микроокружение как для пролиферации (размножения) и дифференциации костных клеток, так и для формирования минерализованного межклеточного вещества. Остеобласты, которые вырастут на этом материале, должны выполнять все физиологические функции, свойственные человеческой кости. Такой материал может либо рассасываться после роста новых костей, либо оставаться в виде инертной матрицы, на которой будут размножаться клетки и осажаться новый живой межклеточный материал, образуя в итоге нормально функционирующую кость. Авторы [1] считают, что по всем показателям в качестве материала второго типа наилучшим образом подходят углеродные нанотрубки. Плотность нанотрубок близка к плотности графита, то есть намного ниже, чем плотность стали или титана, обычно применяемых для замены кости, и к тому же они чрезвычайно прочные, и их имплантация может не только способствовать регенерации, но и повышать механические свойства поврежденной костной ткани. Углеродные нанотрубки к тому же гибкие и эластичные. Таким образом, налицо все основные свойства опорной структуры кости.

В своей предыдущей работе американские исследователи впервые начали изучение потенциальной возможности использования одностенных УНТ как костного материала и сообщили о минерализации химически функционализированных одностенных УНТ гидроксиапатитами [2]. Однако для применения *in vivo* необходимо исследовать их биосовместимость и возможную токсичность. Информация по этому вопросу пока остается ограниченной и противоречивой.

Для того, чтобы найти наиболее подходящий тип УНТ авторы [1] культивировали клетки остеосаркомы крысы на одностенных (ОСНТ) и многостенных (МСНТ) нанотрубках до и после их химической модификации различными способами. ОСНТ имели диаметр около 1.5нм и длину от не-

скольких сотен нанометров до несколько микрон, диаметры МСНТ были в диапазоне от 10 до 30нм. ОСНТ по диаметру близки к коллагеновым волокнам, что делает их идеальной основой для роста кости. Авторы [1] охарактеризовали пролиферацию остеобластов, морфологию клеток, формирование кристаллов как показатель биосовместимости, а также целостность плазматической мембраны остеобластов как показатель жизнеспособности клеток.

Результаты исследований подтверждают, что остеобласты, культивируемые на электрически нейтральных УНТ, растут и образуют минерализованную кость. Химическая модификация нанотрубок, приводящая к появлению результирующего электрического заряда на УНТ, замедляет этот рост. Авторы допускают, что возможно дело не только в поверхностном заряде, следует изучить влияние примесей, гидрофобности и гидрофильности. Далее, авторы впервые показали, что электрические характеристики плазматической мембраны остеобластов сохраняются, что доказывает биосовместимость данных УНТ. Форма клеток и, возможно, их дифференциация могут контролироваться путем использования ОСНТ или МСНТ.

В целом, результаты говорят о реальной возможности использовать УНТ в качестве альтернативного материала для лечения заболеваний, приводящих к потере кости, с перспективами восстановительного роста нормальной кости. Это, безусловно, успех в области биоинженерии кости.

О.Алексеева

1. L.P. Zanello et al. *Nano Letters* 2006, **6**, 562
2. B. Zhao et al. *Chem. Mater.* 2005, **17**, 3235

Многослойные нанотрубки малого диаметра столь же прочны, как одностойные

Как известно, углеродные нанотрубки (УНТ) имеют рекордную величину модуля Юнга (~ 1ТПа), что делает их наиболее прочным из всех известных материалов. Однако, как следует из многочисленных измерений, аномально высокие величины модуля Юнга присущи только одностойным нанотрубкам с относительно небольшим количеством дефектов. Такие УНТ синтезируют либо электродуговым методом, либо методом лазерной абляции, которые имеют весьма невысокую производительность (на уровне г/час), так что трудно рассчитывать на широкую практическую реализацию исключительно высоких прочностных качеств УНТ. Наиболее производительный метод химического газофазного осаждения (CVD) приводит обычно к УНТ с высокой плотностью дефектов и соответственно с существенно более низким модулем Юнга ($E \sim 100$ ГПа). Многочисленные исследования указывают, что модуль Юнга обратно пропорционален диаметру многослойной УНТ и числу слоев в ней. Отсюда следует, что попытка направленного синтеза УНТ малого диаметра методом химического осаждения паров может привести к высокопроизводительному получению нанотрубок аномально высокой

прочности. Такая попытка была выполнена большим коллективом исследователей из университетов Швейцарии, Франции и Бельгии [1]. Они показали, что многослойные нанотрубки малого диаметра, синтезированные методом химического газофазного осаждения, обладают столь же высоким модулем Юнга (на уровне 1ТПа), что и однослойные нанотрубки.

В эксперименте было получено два типа образцов многослойных УНТ с малым внешним диаметром и малым числом слоев в них. Образец первого типа (1) был получен при пропускании смеси $H_2 + CH_4$ (соотношение 82:18) над наночастицами кобальта при температуре 1000°C. Частицы катализатора были синтезированы селективным восстановлением твердой суспензии $Mg_{1-x}Co_xO$ (x в диапазоне 0.01-0.1). Полученные УНТ отжигали при 600°C в потоке аргона (3л/мин.). Образец второго типа (2) был синтезирован при термокаталитическом разложении ацетилена при 700°C на катализаторе $Fe-Mo/NaY$. Как показывают наблюдения, выполненные с помощью просвечивающего электронного микроскопа, образец 1 содержал нанотрубки с внешним диаметром от 1.1 до 3.5нм и внутренним диаметром от 0.65 до 2нм. При этом более 70% нанотрубок были двухслойные, а остальные состояли из одного или 3 слоев. Образец 2 содержал нанотрубки с внешним диаметром от 2 до 16нм, 50% которых были двухслойные с внешним диаметром от 1.6 до 4.0нм, 25% - трехслойные с внешним диаметром от 3 до 12нм и 25% - четырехслойные с внешним диаметром от 4 до 16нм. Все нанотрубки объединены в жгуты.

Прямые измерения механических свойств синтезированных УНТ производили стандартным методом с помощью атомно-силового микроскопа: жгут из УНТ располагали поперек поры, образованной на мембране из оксида алюминия; модуль Юнга определяли на основании известного соотношения, связывающего прогиб жгута с величиной приложенного усилия. Проведенные измерения указывают на сильную зависимость «кажущегося» модуля Юнга E_B от диаметра нанотрубки: для жгутов нанотрубок любого типа диаметром меньше или порядка 5нм E_B - в диапазоне от 0.8 до 1.2ТПа; для жгутов нанотрубок диаметром 7нм и более E_B не превышает 100ГПа, а в некоторых случаях опускается до 10ГПа. Высокий модуль Юнга, характерный для жгутов малого диаметра, свидетельствует о малой концентрации структурных дефектов в нанотрубках, составляющих такие жгуты.

А.В.Елецкий

1. Lukic B. et al. *Nano Letters* 2005, 5, 2074

Оптические спектры углеродных нанотрубок зависят от хиральности

Важный параметр однослойной углеродной нанотрубки (УНТ) - хиральность, которая определяется углом ориентации графитовой плоскости по отношению к оси трубки. Индексы хиральности, характеризующие величину этого угла, определяют основные электронные свойства нанотрубки. В частности, нанотрубки с углом хиральности, равным нулю, обладают металлической проводимостью, а нанотрубки с ненулевым углом хиральности могут быть полупроводниками с шириной запрещенной зоны, зависящей от индексов или угла хиральности. Понятно стремление исследователей научиться синтезировать УНТ с заданными индексами хиральности - ведь в случае успеха они получают возможность изготавливать элементы электронных схем с любыми характеристиками. Однако в настоящее время не решена даже более простая задача оперативного определения индексов хиральности нанотрубки, а без решения этой задачи трудно представить себе дальнейшее продвижение на пути развития углеродной наноэлектроники.

Важный шаг был сделан недавно группой специалистов из Колумбийского университета (Нью-Йорк), которым удалось показать, что от хиральности однослойных УНТ зависят и их оптические спектры. В эксперименте нанотрубки были выращены на кремниевой подложке методом химического осаждения паров в присутствии кобальтового катализатора. Подложка содержала щель длиной 1мм и шириной 25мкм, над которой подвешивали нанотрубки. Условия роста подбирали таким образом, чтобы расстояние между соседними нанотрубками составляло 100мкм. Это позволяло применять для их исследования как оптические методы, так и методы, основанные на дифракции электронов. Оптические спектры исследуемых образцов были получены с помощью метода релеевского рассеяния, имеющего высокую спектральную разрешающую способность при быстром времени считывания сигнала. Хиральность нанотрубок определяли независимо с помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения. Результаты измерений указывают на различия в оптических спектрах релеевского рассеяния нанотрубок различной хиральности. Так, удалось отождествить индивидуальные нанотрубки с индексами хиральности (16, 11) и (15, 10), а также (13, 12) и (15, 10). Все эти нанотрубки имеют полупроводниковые свойства. Удалось также идентифицировать оптические спектры металлических нанотрубок с индексами хиральности (10, 10). Измерения показывают, что хиральность нанотрубок может быть определена методом оптической спектроскопии, более доступным и оперативным, чем традиционно используемая дифракция электронов.

А.В.Елецкий

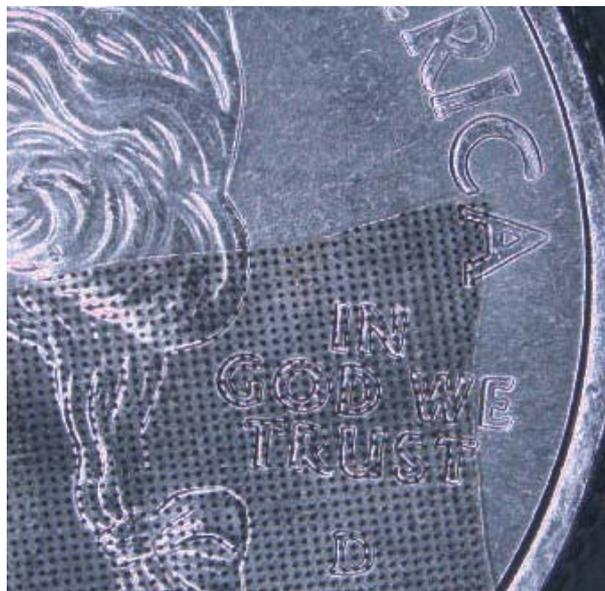
1. Steir M.Y. et al. *Science* 2006, 312, 554

Гибкие дисплеи из углеродных нанотрубок

Своими электрическими свойствами углеродные нанотрубки (УНТ) чем-то напоминают двуликого Януса: выбирая наугад одну УНТ из только что приготовленной партии, никогда заранее не знаешь, окажется она проводящей или диэлектрической. Причина этого кроется в высокой чувствительности электронной структуры УНТ к ее диаметру и ориентации ее оси относительно шестиугольников, образуемых связями С-С в исходном графитовом монослое, при сворачивании которого в цилиндр и получается УНТ. Наше неумение изготавливать однородные массивы УНТ с наперед заданными характеристиками сдерживает практическое использование УНТ в приборах и устройствах нового поколения (например, в качестве базовых элементов интегральных схем). По этой причине основное внимание сейчас сосредоточено на таких применениях УНТ, для которых их электрическая проводимость несущественна: нанопереклюатели, наномоторы, композитные материалы на основе УНТ и прочее. Одним из перспективных направлений использования УНТ считаются плоские дисплеи. Их работа основана на способности УНТ испускать электроны при воздействии электрического поля (за счет квантово-механического эффекта туннелирования через потенциальный барьер). При этом УНТ фактически выполняют функцию катодно-лучевой трубки обычных мониторов.

Оригинальный подход к конструированию дисплеев из УНТ предложен в работе [1]. Ее авторы изготовили большие массивы вертикальных (перпендикулярных подложке SiO_2) УНТ в полимерной матрице из диметилсилоксана путем химического газофазного осаждения. При этом УНТ сгруппированы в регулярно расположенные “столбики” диаметром 0.5мм и высотой 0.1мм каждый. Композит полимер/УНТ легко отделяется от подложки после полимеризации (см. рис.). Смачивание УНТ полимером препятствует их слипанию и соответствующей экранировке электрического поля на краях УНТ. Поэтому все УНТ сохраняют свои отличные эмиссионные характеристики, и коэффициент усиления (отношение напряженности электрического поля у края “столбика” к напряженности внешнего поля) достигает 10000! Интересно, что эмиссионные свойства матрицы сохраняются даже после ее сильного изгиба. Это позволит в недалеком будущем изготавливать гибкие дисплеи, которые можно будет в буквальном смысле сворачивать в трубку. Дело за малым – столь же гибким экраном, флуоресцирующим при попадании на него электронов из эмиссионной части дисплея и отстоящим от последней на строго фиксированное расстояние. Задача непростая, но на современном технологическом уровне вполне решаемая. А потенциальных применений

у гибких дисплеев множество. И некоторые из них весьма необычные. Например, в принципе возможно изготовить из них что-то типа “электронной одежды”, так что в перерывах между концертными номерами артисты смогут менять свои наряды путем простого перепрограммирования.



Композит из полимера и углеродных нанотрубок, объединенных в периодически расположенные “столбики”.

Л.Опенев

1. Y.J.Jung et al., *Nano Letters* 2006, 6, 413

МАНГАНИТЫ

Семейство квазидвумерных слоистых материалов

Отличительная особенность слоистых оксидных соединений на основе переходных металлов – чрезвычайно высокая анизотропия их электрических и оптических свойств. Монокристаллы таких соединений могут иметь металлическую проводимость в параллельной слоям плоскости ab , но быть диэлектриками в перпендикулярном этим слоям направлении c . Причиной “двумерного конфинмента” носителей тока являются сильные электрон-решеточные и магнитные взаимодействия в пределах каждого слоя. Для перескока электрона со слоя на слой нужно преодолеть значительный энергетический барьер, что на эксперименте часто проявляется как наличие “псевдощели” в спектре возбуждений. Наиболее типичными представителями таких материалов являются недодопированные ВТСП.

В работе [1] специалистов из Швейцарии, Великобритании, США и Японии сообщается о семействе квазидвумерных оксидов, представляющих собой слоистые манганиты $La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn_2O_7$, в которых эффекты конфинмента выражены даже сильнее, чем в ВТСП. Свойства этих соединений очень сильно зависят от x . Например, при $x \approx 0.5$ они являются диэлектриками, а при $0.3 \leq x \leq 0.45$ в них наблюдаются различные ферро- и антиферромагнитные фазы. Наиболее детально был изучен монокристалл с $x = 0.3$, в парамагнитной фазе которого ρ_{ab} имеет металлическую температурную за-

висимость и примерно на четыре порядка меньше ρ_c (см. рис.1^b). Понижение температуры до $T_C = 90\text{K}$ ведет к переходу в магнитоупорядоченное состояние - такое, что в пределах одного атомного слоя MnO спины атомов Mn ориентированы параллельно, а в соседних слоях – антипараллельно. При $T < T_C$ величина ρ_c уменьшается в ≈ 100 раз, а зависимость $\rho_c(T)$ становится металлической. Тем не менее, и оптическая, и сканирующая туннельная спектроскопии однозначно свидетельствуют, что диэлектрическая щель $\Delta \approx 200\text{мэВ}$ вдоль оси c при магнитном переходе никуда не исчезает, то есть носители заряда не могут ни свободно двигаться между слоями, ни перейти из поверхностного слоя на иглу микроскопа. Тогда почему при $T = T_C$ падает ρ_c ? Оказалось, что причиной этого являются дефекты, а именно – области, в которых доменные стенки соседних слоев строго не совпадают, и поэтому имеются участки с параллельной ориентацией спинов вдоль оси c (см. рис. 1^a). Эти участки выполняют функцию шунтов, поскольку находящиеся в них электроны свободно туннелируют между слоями. Двумерный конфинмент носителей в $La_{1.4}Sr_{1.6}Mn_2O_7$ обусловлен, скорее всего, образованием поляронов – решеточных или спиновых. Никаких признаков электронного фазового расслоения, концепция которого нынче столь популярна, не было обнаружено.

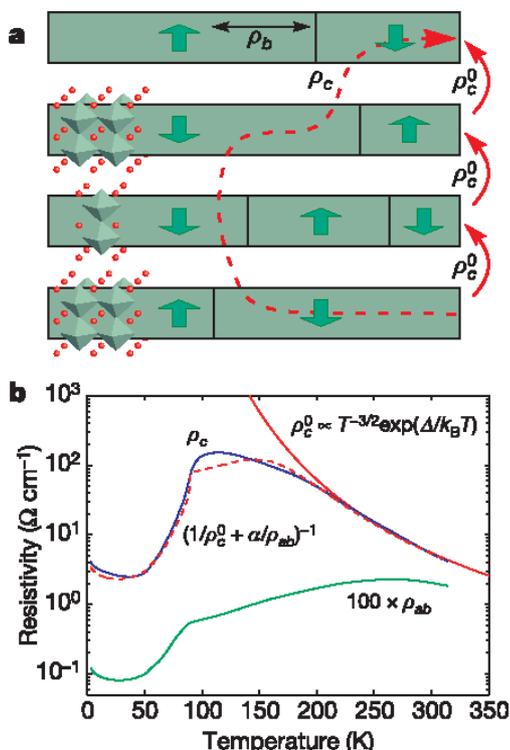


Рис. 1. (a) Двумерная перовскитная структура $La_{1.4}Sr_{1.6}Mn_2O_7$ и различные пути движения электрона вдоль оси c . Стрелки указывают направления намагниченности ферромагнитных доменов. (b) Температурные зависимости удельного сопротивления вдоль слоев (ρ_{ab}) и перпендикулярно слоям (ρ_c). ρ_c^0 – высокотемпературная часть ρ_c .

1. H.M.Ronnow et al., Nature 2006, 440, 1025

НАНОСТРУКТУРЫ

Неэргодичность одномерного бозе-конденсата

Статистическая механика основана на фундаментальном предположении о том, что замкнутая система с большим числом степеней свободы имеет равные шансы оказаться в любой точке фазового пространства, отвечающей определенной энергии. Посредством микроскопических столкновений, приводящих к макроскопическим процессам диффузии частиц и энергии, эргодические системы стремятся к состоянию теплового равновесия, в котором все механические, химические и тепловые параметры выходят на свои постоянные величины¹. Важной задачей современной физики является выяснение пределов применимости эргодической гипотезы. А для этого нужно найти и изучить физические системы, которые не являются эргодическими и потому не релаксируют к тепловому равновесию.

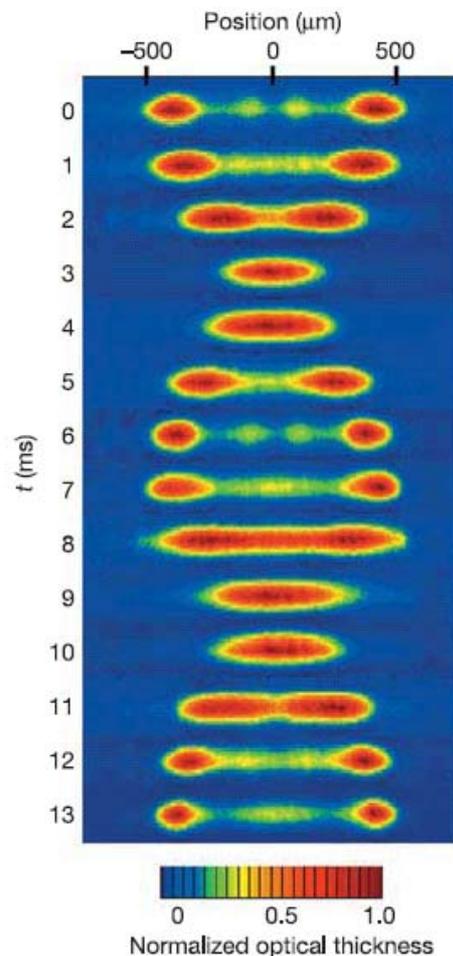


Рис. 1. Первый цикл колебаний двух бозе-эйнштейновских конденсатов в гармоническом потенциале дипольной ловушки.

Одна такая неэргодическая система экспериментально исследована в работе [1] группы из университета Пенсильвании. Она представляет собой одномерный бозе-эйнштейновский конденсат (БЭК) из ≈ 100 атомов ^{87}Rb , ограниченный “потенциальной трубкой” в оптической решетке и дипольной ловушке. В начальный момент БЭК разделяли на две части путем воздействия противоположно направленными лазерными импульсами, после чего эти две половинки оказывались в неравновесных состояниях и начинали двигаться навстречу

друг другу под действием возвращающих сил со стороны гармонического потенциала ловушки. Встретившись на полпути, они проходили друг сквозь друга и вновь расходились по разные стороны ловушки. И так повторялось неоднократно (несколько тысяч раз!). Иными словами, столкновения БЭКов не приводили к установлению равновесного состояния. И это при том, что, например, в трехмерном газе атомов при низкой температуре равновесие достигается за время нескольких межатомных соударений.

Все дело здесь, конечно, в одномерности. Если в трехмерной системе скорости атомов при упругом соударении могут изменяться (в результате чего и формируется равновесное распределение по скоростям и имеет место термализация), то в одномерии скорости после соударения не изменяются, и термализации не происходит. На языке классической физики атомы при соударении обмениваются своими скоростями. При квантово-механическом описании дело обстоит так: соударение, в котором атомы обмениваются скоростями, конструктивно интерферируют с соударениями, в которых они проходят друг через друга. Но итог тот же – после соударения мы имеем два атома с такими же, как и до соударения, скоростями. Поэтому два БЭКа в принципе могли бы до бесконечности колебаться, сталкиваясь друг с другом, если бы ловушка была строго гармонической, а вакуум – идеальным.

1. T.Kinoshita et al., *Nature* 2006, **440**, 900

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Шредингеровский котенок

Когда-то Шредингер приводил состояние Шредингеровского кота – суперпозицию живого и мертвого кота – в качестве примера невозможности существования квантовой суперпозиции двух различных макроскопических состояний. Впоследствии иллюзорность этого состояния часто использовали как аргумент против полноты квантово-механического описания Природы. Сейчас понятно, что основная трудность в создании такого состояния заключается в экспоненциальном увеличении скорости потери когерентности с ростом размера объектов, находящихся в суперпозиции. Чем крупнее объекты, тем тщательнее нужно оберегать их от воздействия со стороны внешнего окружения. Но если у нас пока не получается сконструировать большого кота, то почему бы не попытаться изготовить хотя бы маленького котенка? Эта задача решена физиками из Орсе (Франция) в красивом эксперименте [1], в котором роль Шредингеровского котенка играл световой импульс в суперпозиции двух состояний. Он формируется при удалении одного фотона из сжатого пучка. Хотя этот импульс был очень слабым (число фотонов в каждом из состояний суперпозиции не превышало пяти), но и этого в принципе уже достаточно, чтобы увидеть его невооруженным глазом. Измерения продемонстрировали наличие у функции Вигнера области отрицательных значений, что является доказательством суперпозиционной природы котенка. Расчеты прекрасно согласуются с экспериментальными данными. Итак, котенок родился. Сможем ли мы теперь вырастить из него жирного кота?

1. A.Ourjountsev et al., *Science* 2006, **312**, 83
2. *Science* 2006, **312**, 63

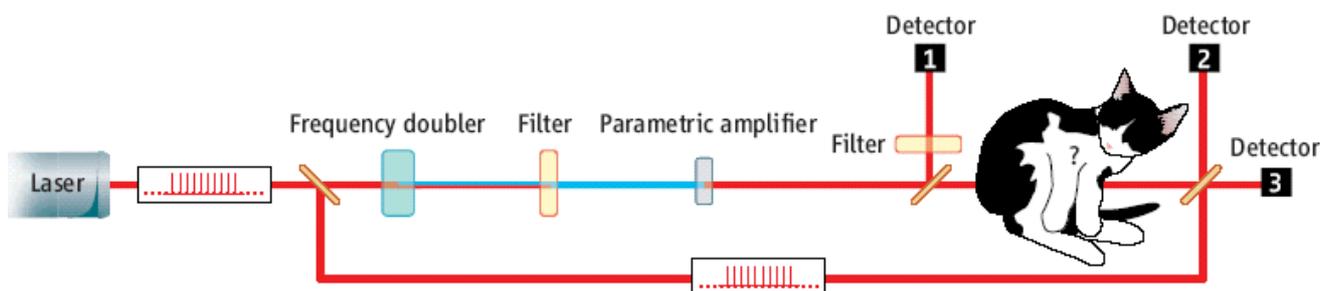


Рис.1(из [2]). Схема эксперимента

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Как выявить самую «горячую» тему в физике?

Широко принятый критерий оценки рейтинга ученого – индекс цитирования его статей в базе данных *ISI Web of Science*, независимо от срока их публикации. Потому так много ученых обращаются в Интернет зал БЕНа, в котором эта база доступна, с вопросом о том, сколько было литературных ссылок на их публикации 1940 года. Высокий индекс тешит конкретного ученого, но

никак не отражает сегодняшнюю ситуацию в научных исследованиях.

А вот самые животрепещущие темы в физике согласно новой классификации научных областей по популярности:

1. Углеродные нанотрубки
2. Нанопроволоки
3. Квантовые точки
4. Фуллерены
5. Гигантское магнитосопротивление
6. Суперструны (М-теория)

7. Квантовые компьютеры.

Новую классификацию предложил Михель Банкс (Michael Banks), аспирант Института физики твердого тела им. Макса Планка в Штутгарте (Германия) [1,2]. Он считает, что новый показатель поможет быстрым и простым способом установить самые важные разделы в физике и даже помочь молодым ученым выбрать наиболее актуальную область исследований.

В основу нового индекса взят **h**-индекс, придуманный в прошлом году Йоргом Хиршем (Jorge Hirsch) из Калифорнийского университета (Сан-Диего)[3], как способ количественной оценки вклада в науку (performance) каждого ученого. **h**-индекс выводится из числа цитирований статей ученого: ученый с **h**-индексом 10 опубликует десять статей, каждая из которых получит, по крайней мере, десять цитирований. «Лучший» ученый должен, таким образом, получить наивысшие **h**-индексы.

Банкс расценивает свой метод, как следующий шаг после Хирша – применение модифицированного метода Хирша к отдельным темам или химическим соединениям, упомянутым в резюме к статье, а не к авторам. Тема исследований или материал с **h-b** индексом (**h-b** – Hirsch-Banks), равным 10, означает, что, по крайней мере, есть десять статей по данной теме, каждая из которых, по крайней мере, десятикратно цитируется. Так как некоторые темы и соединения оказываются более «долгоживущими», Банкс делит **h-b** на число лет, в течение которых статьи по теме или соединению публиковались. Это нормирует результат для получения числа **m**, которое показывает насколько важен предмет публикации сейчас, т.е. как много исследователей активно над ним работают.

Как и исходный **h**-индекс, **h-b** индекс вычисляется при просмотре базы данных *ISI Web of Science*, что занимает всего несколько минут. Он включает поиск по теме и сортировку результатов по срокам цитирования. «Это - единственный доступный метод, где вы можете сравнить различные соединения, исследуемые в физике твердого тела, или даже целые разделы в физике, как целое», объясняет Банкс.

Банкс приводит две таблицы для различных химических соединений и тем согласно тому, сколь велики их **m** и **h-b**. C_{60} идет первой строкой в таблице химических соединений, имея **m** = 5.2, вслед за ним – нитрид галлия с **m** = 2.12. В переч-

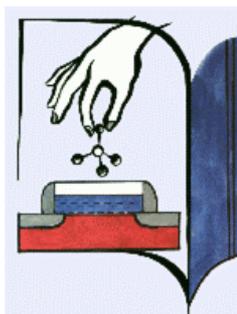
не «ходовых» тем, углеродные нанотрубки главенствуют с **m** = 12.85. За ними следуют нанопроволоки (**m** - 8.75), квантовые точки (7.84), фуллерены (7.78), гигантское магнитосопротивление (6.82), М-теория (6.58) и квантовые вычисления (5.21).

Банкс говорит, что **m** > 3 означает, что тема – «горячая». Кроме того, большая величина **m** вместе с большим **h-b** (более 100) представляет объект, который был популярен в прошлом, но «не остыл» и сейчас. Примеры таких тем – пористый кремний и спиновые стекла. Наконец, малое **m**, но большое **h-b** отражает более «старую» тему, бывшую популярной в течение многих лет, но сейчас уже таковой не являющаяся. Например, перовскиты и аморфный кремний.

Новая классификация могла бы предоставить полезный критерий для сравнения различных областей при распределении грантов. Однако Банкс предостерегает, что его индекс не должен быть единственным в оценке важности того или иного предмета.

1. <http://arxiv.org/abs/physics/0604216>
2. <http://physicsweb.org/articles/news/10/5/4/1>
3. <http://arxiv.org/abs/physics/0508025>; *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2005, **102**, 16569

КОНФЕРЕНЦИИ



March 12-16, 2007. Phoenix, Arizona, USA. Nano and Giga Challenges in Electronics and Photonics.
Co-chairmen:
Herbert Goronkin, Stephen Goodnick, Anatoli Korkin

Registration starts on **March 15, 2006.**

Abstract submission opens **June 1, 2006.**

The *deadline* for abstracts is **October 1, 2006.**

Organizers will accept papers for publication in the conference proceedings starting January 12, 2007. The deadline for submission of papers is March 16, 2007 (last day of the meeting).

<http://www.AtomicScaleDesign.Net/ngc2007>
<http://ngc2007.asu.edu>

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

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

Научный консультант: К.Кугель, e-mail: kugel@orc.ru

В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, В.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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