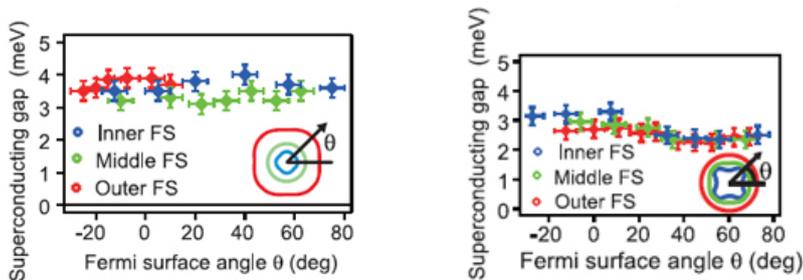


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

В пниктидах сверхпроводящая щель одинаковая на разных листах поверхности Ферми

В безмедных ВТСП близость сверхпроводящей фазы к антиферромагнитной служит основанием для гипотезы о нефононном механизме спаривания за счет обмена спиновыми флуктуациями. При этом сверхпроводящая щель Δ должна, согласно теории, быть различной на разных листах поверхности Ферми (в пниктидах их несколько из-за многозонности электронной структуры). Однако исследования фотоэмиссионных спектров $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.65}\text{P}_{0.35})_2$ и $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$ показали [1], что $\Delta \approx \text{const}$ на каждом листе (см. рис.).



Сверхпроводящая щель на трех листах дырочной поверхности Ферми в ферропниктидах $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.65}\text{P}_{0.35})_2$ (слева) и $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$ (справа).

Вообще говоря, это может быть признаком обычного фононного механизма спаривания. Авторы [1] (Япония, Китай), тем не менее, полагают, что от нефононной экзотики отказываться пока рано и предлагают заменить (или дополнить) спиновые флуктуации орбитальными, мотивируя свою точку зрения близостью структурного перехода тетра-орто. В любом случае будущая теория должна быть в состоянии объяснить результаты эксперимента [1].

Л. Опенов

1. T.Shimajima et al., Science 332, 564 (2011).

Куда приходят дырки?

В большинстве купратов высокотемпературная сверхпроводимость возникает при дырочном допировании исходного антиферромагнитного диэлектрика. При некотором оптимальном уровне допирования температура сверхпроводящего перехода достигает максимума, а затем, когда дырок становится “слишком много”, вновь уменьшается, и сверхпроводимость пропадает. Для понимания эволюции электронных и сверхпроводящих характеристик ВТСП по мере допирования нужно знать, как дырки распределены в координатном и импульсном пространстве, то есть – какие атомные орбитали они занимают и какие энергетические зоны формируют. Анализ спектров комптоновского рассеяния рентгеновских лучей на монокристаллах $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ с $x = 0, 0.08, 0.15$ и 0.3 показал [1], что в недодопированных образцах дырки располагаются преимущественно на кислородных $p_{x,y}$ -орбиталях, причем вес $O2p$ -состояний значительно больше, чем предсказывает зонная теория. В передопированных образцах картина совершенно иная: дырки находятся

И далее ...

2 Орбитальные токи в CuO

ГРАФЕН

2 Новые измерения теплопроводности графена

3 Летучие продукты восстановления графена из оксида

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

4 Дираковские фермионы в квантовых ямах HgTe

Одноатомная квантовая память

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Короткие нанотрубки тоже могут быть опасными

6 Углеродные нанотрубки на курьерской службе

НАНОЭЛЕКТРОНИКА

7 Дебют перовскитов в фотонике

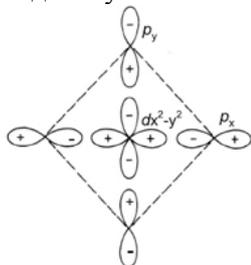
ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

8 И вновь о сверхпроводимости

КОНФЕРЕНЦИИ

8 Первый Междисциплинарный международный симпозиум “Физика межфазных границ и фазовые переходы” (МГФП-1), 19-23 сентября 2011 г, пос. Лоо, Краснодарский край, Россия

на орбиталях атомов меди (d_{x-y}^2 , d_z^2). При оптимальном допировании частично заняты и те, и другие. Распределение дырок между атомами кислорода и меди определяется конкуренцией двух факторов: перекрытием атомных волновых функций (см. рис.) и кулоновским отталкиванием электронов на медных узлах.



Гибридизация кислородных (p_x, p_y) орбиталей с медными (d_{x-y}^2, d_z^2).

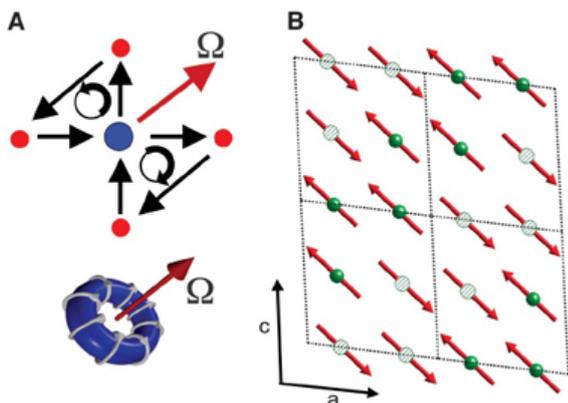
Преимущество использованной в [1] методики заключается в отсутствии жестких требований к качеству образцов и условиям проведения эксперимента: комptonовские спектры слабо чувствительны к дефектам и примесям, сверхвысокого вакуума не требуется, а температуры достаточно и комнатной.

Л. Опенов

I. Y.Sakurai et al., Science 332, 698 (2011).

Орбитальные токи в CuO

Некоторые модели нормального состояния купратных ВТСП предсказывают, что в псевдощелевой фазе имеются орбитальные токи, нарушающие симметрию относительно обращения времени. В качестве параметра порядка при этом можно использовать полярный магнитный вектор, известный в теории элементарных частиц как анаполь или тороидальный момент.



А - Иллюстрация взаимосвязи орбитальных токов (черные изогнутые стрелки) и тороидального момента (красная стрелка) в оксиде меди. Синие кружки – атомы Cu, красные кружки – атомы O.

В - Антиферромагнитное упорядочение тороидальных моментов (красные стрелки) в плоскости a - c оксида меди. Сплошные и заштрихованные зеленые кружки отвечают атомам меди с ориентацией их локальных магнитных моментов, параллельно и антипараллельно кристаллографической оси b , соответственно.

В работе [1] швейцарских и английских физиков сообщается об обнаружении орбитальных токов в оксиде меди CuO методом резонансной дифракции рентгеновских лучей. Тороидальные моменты лежат в плоскости a - c и образуют такой же антиферромагнитный узор, как и перпендикулярные им магнитные моменты атомов меди (см. рис.). Авторы [1] отмечают, что орбитальные токи могут существовать и в отсутствие дальнего магнитного порядка. Но их наличие в ВТСП еще предстоит доказать (или опровергнуть).

I. V.Scagnoli et al., Science 332, 696 (2011).

ГРАФЕН

Новые измерения теплопроводности графена

Графен обладает уникальными свойствами, к которым относится весьма высокий коэффициент теплопроводности. В сочетании с хорошими электрическими и механическими характеристиками, а также с химической и термической стабильностью это делает графен перспективным материалом для будущих нанoeлектронных устройств высокой информационной емкости и скорости обработки информации, для которых одно из основных ограничений связано с необходимостью эффективного теплоотвода. Согласно результатам некоторых экспериментов и модельных расчетов, теплопроводность графена при комнатной температуре достигает ~ 5000 Вт/м·К – рекордной для всех известных материалов величины.

Однако технические трудности, возникающие при измерении теплопроводности объекта атомной толщины, каким является графен, приводят к значительной неопределенности измеряемых величин коэффициента теплопроводности. Результаты измерений, выполненных различными авторами, варьируются в диапазоне от 500 до 5300 Вт/м·К. Наряду с естественными источниками такой неопределенности, обусловленными возможными структурными дефектами графена и присоединенными функциональными группами, имеется фактор, присущий объектам толщины порядка атомного размера. Дело в том, что при обработке результатов измерения теплового потока с целью определения коэффициента теплопроводности необходимо знать толщину объекта, которая в случае объекта атомных поперечных размеров строго не определена. Произвол в определении этого параметра отражается на точности результатов измерений. Поэтому вопрос о теплопроводности отнюдь нельзя считать закрытым, и каждое новое измерение этого параметра представляет самостоятельную ценность. Одно из подобных измерений выполнено недавно группой исследователей из Sogang Univ. и Konkuk Univ. (Корея) [1], которые измеряли теплопроводность графена, подвешенного над отверстием в подложке.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Лист графена размером 36×60 мкм², полученный стандартным

методом расслоения многослойных графитовых хлопьев, накладывали на Si/SiO₂ подложку (толщина оксидной пленки 300 нм) так, чтобы накрыть отверстия в подложке глубиной 1.7 мкм и диаметром 2.6, 3.6, 4.6 или 6.6 мкм. С целью получения спектра комбинационного рассеяния (КР) луч Ar лазера ($\lambda = 514.5$ нм) с помощью линзы фокусировали на образец в пятно диаметром 0.29 мкм.

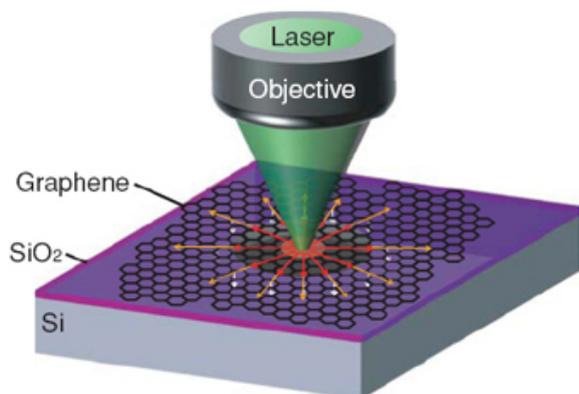


Рис. 1. Схема эксперимента по измерению теплопроводности графена

При этом сигнал КР использовался не только для идентификации однослойного графена, но также для определения локальной температуры образца, исходя из известной температурной зависимости сдвига 2D пика КР. Измеренные с помощью КР спектроскопии зависимости температуры центральной части подвешенного над отверстием участка от интенсивности лазерного облучения сравнивали с соответствующим решением уравнения теплопроводности, параметром которого служила величина коэффициента теплопроводности. Это позволило определить температурную зависимость коэффициента теплопроводности графена, показанную на рис. 2.

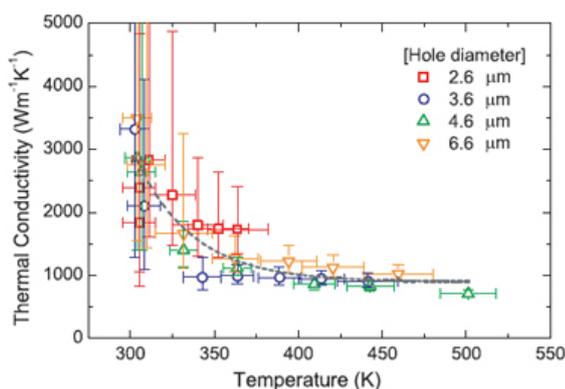


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности графена, подвешенного над отверстиями различного диаметра.

Коэффициент теплопроводности графена при 325 К оказался равным примерно 1800 Вт/м·К. Интересно, что авторы не обнаружили существенной зависимости теплопроводности графена от диаметра отверстия, хотя теория предсказывает ее возрастающий характер. Таким образом, данная работа, как и предшествующие публикации, отнюдь не закрывает *Перст*, 2011, том 18, выпуск 10

вопрос о теплопроводности графена и ее зависимости от параметров системы.

А.Елецкий

1. J.U.Lee et al., Phys. Rev. B 83, 081419 (2011).

Летучие продукты восстановления графена из оксида

Для реализации многочисленных перспектив использования графена необходимо разработать надежные относительно недорогие способы получения возможно более чистых образцов с минимальным количеством структурных дефектов. Один из наиболее широко используемых способов получения графена основан на процедуре восстановления графена из оксида, который получается в результате окисления кристаллического графита. Процедура восстановления оксида графена до графена включает в себя либо термическую, либо химическую обработки, либо ультрафиолетовое облучение. При таком подходе, однако, не достигается полного восстановления графеновых листов, часть площади которых остается покрытой радикалами кислорода и другими функциональными группами. Попытки повысить степень восстановления графеновых листов сопровождаются образованием структурных дефектов, затрудняющих использование графеновых листов в нанoeлектронике. В целях оптимизации процедуры восстановления графена необходимо провести детальное исследование кинетики процесса восстановления. Подобное исследование выполнено недавно сотрудниками Института проблем химической физики РАН (Черноголовка) [1], которые сосредоточили свое внимание на летучих продуктах термического и фотохимического восстановления графена из оксида.

Образцы оксида графена (ОГ) получали по стандартному методу Хаммерса. Химический состав образцов отвечал формуле $C_8O_{4.6}H_{1.8}(H_2O)_{0.58}$, а расстояние между слоями в пленке ОГ составляло, согласно результатам рентгеноструктурного анализа, 0.81 нм. Для определения химического состава газов, выделяемых при термическом восстановлении графена в вакууме, использовали масс-спектрометр. Образец ОГ массой 100 мг помещали в кварцевую ампулу, соединенную с вакуумным насосом. С целью удаления адсорбентов и слабо связанных функциональных групп ампулу в течение 24 ч непрерывно откачивали при остаточном давлении 2×10^{-7} Торр. Затем ампулу отсоединяли от насоса и подсоединяли к масс-спектрометру. Измерения масс-спектров выделяемых газов проводили при различных температурах. Наряду с термическим восстановлением графена, использовали фотохимическую процедуру, согласно которой пленку ОГ в течение 2 или 4 ч подвергали воздействию излучения ртутной лампы высокого давления. Измерения показали, что основными газами, выделяющимися при термическом восстановлении графена в диапа-

зоне температур от 23 до 150°C, являются оксиды углерода. При этом полная потеря массы образца в указанном температурном диапазоне не превышает 1%, а количество CO, выделяемого в этом диапазоне, составляет примерно 40% от количества CO₂. Наряду с этим, наблюдается незначительное количество паров воды. В диапазоне температур между 150 и 230°C основным газообразным продуктом восстановления графена по-прежнему остается CO₂. В этом случае наряду с парами воды, в масс-спектре присутствует некоторое количество формальдегида и муравьиной кислоты. Аналогичная картина наблюдается также при термическом восстановлении графена в диапазонах температур 230–300°C и 300–460°C.

При фотохимическом восстановлении графена основным газообразным продуктом является CO, которому соответствует пик в масс-спектре с интенсивностью, примерно втрое превышающей пик H₂O и вчетверо – пик CO₂. Наряду с этим, наблюдается также небольшое количество (на уровне 10%) молекулярного кислорода и следовые количества молекул углеводородов. Выполненные исследования указывают на сложный характер процесса восстановления графена из оксида, включающего в себя последовательность химических реакций.

А.Елецкий

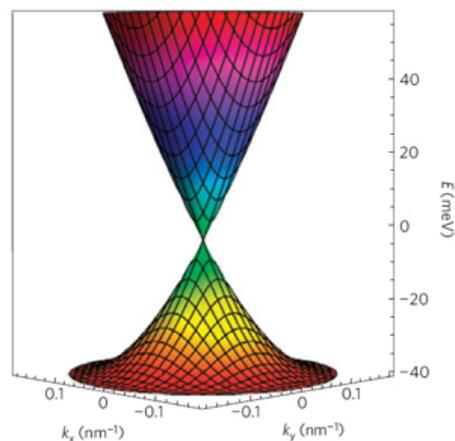
1. Y.M.Shulga et al., *Chem. Phys. Lett.* **498**, 287 (2010).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Дираковские фермионы в квантовых ямах HgTe

Спектр низкоэнергетических электронов и дырок в графене описывается двумя дираковскими конусами, расположенными в неэквивалентных долинах. При этом имеет место сильное междолинное рассеяние носителей заряда. Между тем многие теоретические предсказания сделаны для дираковских фермионов в одной-единственной вырожденной по спине долине (или, по крайней мере, для случая слабого междолинного рассеяния). Как их проверить? Графен здесь, увы, не годится. В работе [1] (Германия, США) изготовлены квазидвумерные полупроводниковые наноструктуры, в которых есть только одна дираковская долина. Они представляют собой квантовые ямы HgTe/Hg_{0.3}Cd_{0.7}Te с “критической” шириной $d = d_c \approx 6.3$ нм, при которой энергия потолка валентной зоны сравнивается с энергией дна зоны проводимости, и диэлектрическая щель обращается в нуль (см. рис.). В магнитных полях с $H > 1$ Тл наблюдались осцилляции Шубникова – де Гааза и квантовый эффект Холла (плато на зависимости поперечной проводимости от напряжения смещения имеют место при величинах проводимости в два раза меньших, чем в графене). При $H = 0$ минимальная продольная проводимость составила $0.36e^2/h$. Такой “полуграфен” предполагается ис-

пользовать для изучения квантовой интерференции дираковских фермионов и их баллистического транспорта.



Дираковский конус в квантовой яме HgTe/Hg_{0.3}Cd_{0.7}Te шириной $d=d_c$.

1. V. Buttner et al., *Nature Phys.* **6**, 418 (2011).

Одноатомная квантовая память

Для организации квантовых сетей, распределенных квантовых вычислений и квантовой связи между удаленными пунктами требуется надежная “квантовая память”, позволяющая достаточно долго хранить информацию о фотонном кубите и выдавать ее при необходимости. Уже реализованы “ансамблевые” твердотельные варианты такой памяти, когда квантовая информация хранится в коллективных возбуждениях (например, магнонах).

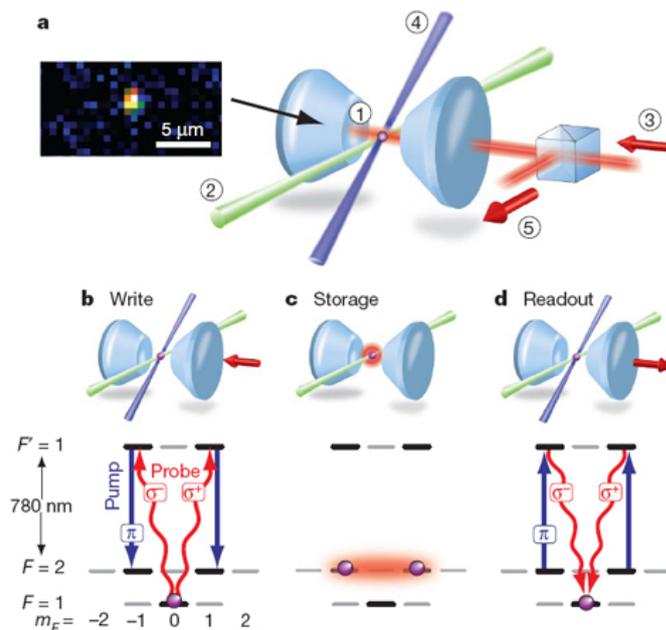


Иллюстрация работы одноатомной квантовой памяти: 1 – атом ⁸⁷Rb, захваченный в оптической ловушке, которая формируется двумя коническими зеркалами; 2 – дипольная ловушка; 3 – поглощаемый фотон; 4 – π-поляризованный лазерный луч; 5 – испущенный фотон.

Исследователи из Max-Planck-Institut für Quantenoptik (Германия) показали [1], что для записи, хранения

ния и последующего считывания информации, закодированной в поляризованном состоянии фотона, можно использовать один-единственный атом, захваченный в оптической полости (см. рис.).

При этом информация сначала “переписывается” с поглощенного фотона в когерентную суперпозицию атомных состояний, а затем передается другому фотону при его испускании. Попав в атом, “летающий кубит” сохраняет когерентность в течение ≈ 2 мс. Одноатомную память можно использовать, в частности, для перепутывания удаленных друг от друга атомных кубитов, а также в квантовых репиторах.

1. H.P. Specht et al., *Nature* 473, 190 (2011).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Короткие нанотрубки тоже могут быть опасными

Данные по токсикологии углеродных нанотрубок (УНТ) по-прежнему противоречивы. Некоторые исследователи считают, что вредное воздействие обусловлено недостаточной очисткой наноматериала от катализаторов, другие утверждают, что токсичность определяется “химией поверхности”. Единого мнения нет даже относительно безопасной длины нанотрубок. В различных экспериментах на мышах были продемонстрированы патологические изменения под действием нанотрубок длиной более 20 мкм; 1-20 мкм и даже 100-300 нм [1].

Таблица 1. Характеристики исследованных одностенных углеродных нанотрубок (ОСНТ)

	Необработанные нанотрубки (н-ОСНТ)	Очищенные нанотрубки (о-ОСНТ)	Ультракороткие нанотрубки (ук-ОСНТ)
Источник	Carbon Nanotech, Inc.	Получены из исходных с помощью некислотной очистки	Получены из исходных с помощью фторирования и пиролиза
Диаметр	~ 1.0 нм	~ 1.0 нм	~ 1.0 нм
Длина	$> 1-2$ мкм	$\sim 1-2$ мкм	$\sim 20-80$ нм
Содержание катализатора (Fe)	~ 25 вес. %	$\sim < 4$ вес. %	$\sim < 1.5$ вес. %

С другой стороны, недавно был обнаружен механизм почечной фильтрации, эффективный для длинных (100-500 нм) УНТ [2]. Чтобы прояснить эти вопросы, учёные Франции и США [3] провели сравнительное изучение воздействия длинных необработанных, длинных очищенных и ультракоротких нанотрубок (см. табл. 1). Эксперименты проводили на мышах Swiss линии *in vivo*. Результаты показали, что даже очень короткие и чистые нанотрубки, перспективные для биомедицинских применений, могут оказаться токсичными.

Различные дозы ОСНТ (от 50 до 1000 мг на кг веса тела) вводили орально и внутривентриально. Мезотелий брюшины мыши идентичен мезотелию плевры, поэтому эксперименты с инъекцией в брюшную полость используются для быстрой проверки воздействия при вдыхании. Доза 1000 мг/кг веса тела значительно превышает дозу, применяемую в биомедицине; исследователи [3] выбрали её для проверки острой токсичности. При оральном введении суспензии нанотрубок даже эта самая большая доза не вызвала патологических изменений. После внутривентриального введения наблюдалось образование гранулём. Доза 50 мг/кг н-ОСНТ и о-ОСНТ вызвала очень небольшое количество мелких гранулём, после дозы 300-500 мг/кг их количество и размеры были больше, однако практически все они были

расположены на поверхности органа (например, печени). При введении любой дозы ук-ОСНТ гранулём образовались как на поверхности, так и внутри органов (с ростом дозы их количество и размеры увеличивались). Доза 1000 мг/кг ук-ОСНТ вызвала тяжёлый гранулёматоз как на поверхности, так и внутри органов; такая же доза длинных ОСНТ привела к образованию гранулём только на поверхности (рис. 1).

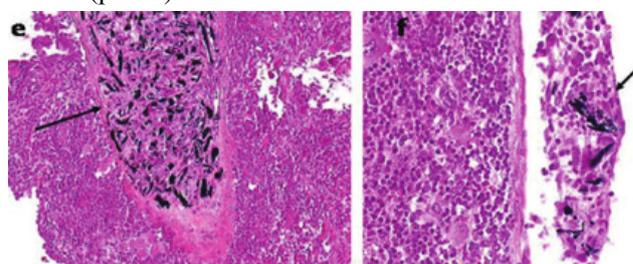


Рис. 1. Слева – гранулёма с агрегатами ук-ОСНТ внутри селезенки, справа - гранулёма с агрегатами ОСНТ образована на поверхности селезенки.

Результаты исследования суспензий нанотрубок с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) показали, что н-ОСНТ и о-ОСНТ в основном образовали спутанные гибкие пучки (рис. 2а,б). В отличие от них ук-ОСНТ сформировали компактные агрегаты (рис. 2с), которые не удалось разделить с помощью специальной предваритель-

ной обработки. Возможно, это обусловлено усилением взаимодействия ультракоротких нанотрубок, на концах которых находится много гидроксильных и/или карбоксильных групп.

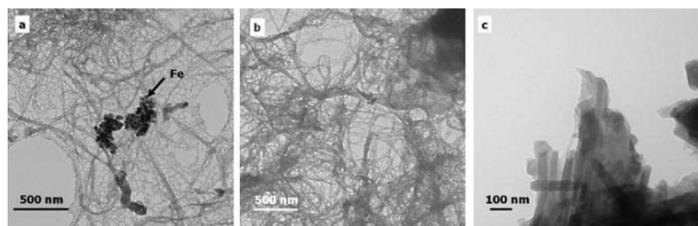


Рис.2. TEM изображения суспензий нанотрубок: а - n-ОСНТ вместе с Fe-катализатором, б - o-ОСНТ, в - агрегаты ук-ОСНТ

Эти компактные агрегаты, в отличие от пучков длинных ОСНТ, проникают внутрь органов, вызывая в них образование гранулём. Как видно на микрофотографии среза внутреннего органа мыши (рис. 3), ук-ОСНТ сформировали в нем своеобразные волокна, размеры которых превышают 10 мкм, несмотря на очень малую длину исходных нанотрубок.

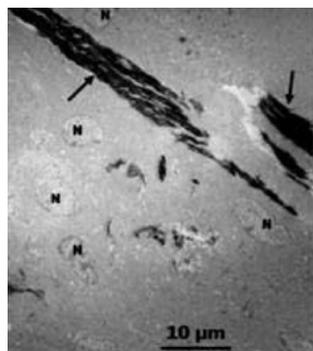


Рис. 3. Длинные (> 10 мкм) волокна, которые образовались во внутренних органах из агрегатов коротких нанотрубок.

Внутри клеток были обнаружены и агрегаты нанотрубок размером менее 5 мкм, однако они не вызвали образования гранулём даже через 5 месяцев, так как были поглощены специализированными защитными клетками - фагоцитами. Тем не менее, необходимо проверить, не приведет ли повторное (хроническое) воздействие к росту размеров агрегатов. Кроме того, авторы планируют провести наблюдение за мышами с гранулёмами в течение всей жизни мышей, чтобы выяснить, могут ли эти гранулёмы привести к образованию опухоли.

Индивидуальные нанотрубки длиной до 300 нм выводятся из организма через почки и желчные протоки. Это подтвердили, в частности, исследования мочи с помощью электронной микроскопии и спектроскопии в ближней ИК-области, ук-ОСНТ выводятся в меньшей степени.

Полученные авторами [3] результаты впервые показали, что большие дозы даже ультракоротких нанотрубок могут привести к серьезным патологическим изменениям. Такие нанотрубки в организме образуют скопления, подобные жестким длинным волокнам, с которыми не справляются фагоциты.

О.Алексеева

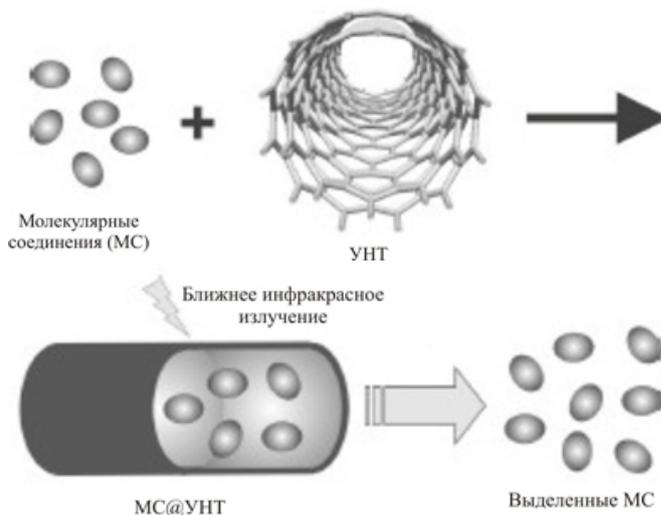
1. [ПерсТ 15, вып. 21, с.3 \(2008\)](#); [ПерсТ 16, вып. 23, с.3 \(2009\)](#).

2. [ПерсТ 18, вып. 6, с.6 \(2011\)](#).

3. [J. Kolosnjaj-Tabi et al., ACS NANO 4, 1481 \(2010\)](#).

Углеродные нанотрубки на курьерской службе

В работе [1] канадские исследователи провели очередную успешную демонстрацию того, что углеродные нанотрубки (УНТ) являются эффективным инструментом для транспортировки молекул в биотехнологических и биомедицинских приложениях. На этот раз в качестве функционального соединения-гостя авторы выбрали молекулы индола, который повсеместно используется в парфюмерной и фармацевтической промышленности. В частности, индол обладает способностью разрушать клеточную мембрану и сдерживать рост клетки при достаточной концентрации, а его производные широко используются при выделении противораковых препаратов. Итак, разместив индол в полости УНТ и связав получившийся эндоэдральный комплекс с соответствующими лигандами, исследователям удалось синтезировать препарат, способный эффективно уничтожить целевые клетки, не вызывая локального перегрева. Деструкция происходит после выделения индола на поверхность клетки под действием ближнего инфракрасного излучения (см. рис.).



Схематическая иллюстрация внедрения малых химических соединений в “двустенную” углеродную нанотрубку и освобождения молекул гостя под действием инфракрасного излучения.

При этом сам процесс освобождения молекул гостя из углеродной нанотрубки полностью управляем. Исследователи отмечают, что УНТ является надежным контейнером для малых химических соединений, стабилизируя и защищая их при транспортировке. К слову, авторы использовали не ставшие уже, в некоторой степени, привычными одностенные УНТ, а их “двустенные” аналоги, представляющие собой две одностенные нанотрубки различного диаметра, вложенные одна в другую по принципу русской матрешки. Оказывается, что бла-

годаря своей коаксиальной структуре, именно такие УНТ обладают необходимыми физико-химическими свойствами. В конечном итоге, авторам удалось получить превосходную систему доставки лекарственных средств. Возможность внедрения в УНТ и других химических соединений, отличных от индола или его производных, также остается, что позволит создавать новые перспективные функциональные наноматериалы.

М. Маслов

1. *Z.Su et al., J. Am. Chem. Soc. 133, 6874 (2011).*

НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Дебют перовскитов в фотонике

Феррит висмута BiFeO_3 – многофункциональный материал, принадлежащий классу перовскитов с общей формулой ABO_3 , становится все более известным за пределами узкого круга специалистов по мультиферроикам, удивляя многообразием наблюдаемых в нем эффектов: сегнетоэлектрических и пьезоэлектрических, магнитных и магнитоупругих, магнитоэлектрических. Так, благодаря рекордной электрической поляризации, он уже вытесняет традиционные пьезоэлектрики, содержащие токсичный свинец. Большие надежды возлагают на использование феррита висмута в устройствах спинтроники, а последние публикации [1, 2] позволяют говорить о приложениях его и других перовскитов в фотонике – в качестве основы для создания фотогальванических элементов, а также как материалов для изготовления суперлинз с разрешением, превышающим дифракционный предел.

Фотогальванический эффект в феррите висмута, обнаруженный несколько лет назад, интересен тем, что, благодаря иному механизму разделения зарядов (за счет внутреннего электрического поля в сегнетоэлектрике), величина фотоЭДС пропорциональна расстоянию между контактами, в то время как в полупроводниках она ограничена шириной запрещенной зоны. Впрочем, до сего момента феррит висмута не рассматривался как реальная альтернатива полупроводниковым фотогальваническим материалам, поскольку эффективность преобразования световой энергии в нем оценивалась как 10^{-4} . Однако измерения фотогальванического эффекта с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии, проведенные в [1], заставили пересмотреть эти оценки. Фототок измеряли в двух режимах: локальном, при котором сбор фотоэлектронов осуществлялся с помощью проводящего зонда, расположенного в освещаемой области (рис. 1а), а также в интегральном – с помощью электродов на гранях кристалла. К удивлению исследователей фототок через нанозонд, был сравним с интегральным током со всего образца, а в некоторых случаях даже превосходил фототок при макроскопических измерениях, т.е. его плотность в первом случае была больше в миллиард раз и составляла 100 А/см^2 . Это,

с одной стороны, означает, что игла весьма эффективно выполняет функцию коллектора фотоэлектронов, а с другой стороны, указывает на высокий (близкий к единице) квантовый выход фотоэффекта. Таким образом, на микромасштабах феррит висмута не уступает по своей квантовой эффективности полупроводникам, используемым в фотонике, и только высокая скорость рекомбинации неравновесных носителей в объеме кристалла не позволяла обнаружить это ранее. При правильном дизайне электродов фотоэлементы на основе феррита висмута могут составить конкуренцию традиционным полупроводниковым. Так, например, авторами [1] показано, что использование нескольких зондов позволяет пропорционально их числу увеличить величину собираемого фототока.

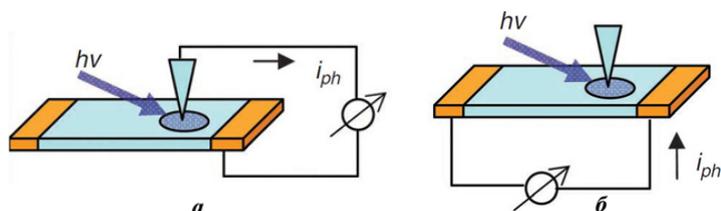


Рис. 1. Измерения фототока в феррите висмута: а - с помощью проводящей иглы сканирующего зондового микроскопа; б - с помощью электродов на гранях образца [1].

В другой работе используются малое поглощение феррита висмута в среднем инфракрасном диапазоне ($\lambda \sim 10 \text{ мкм}$) и его совместимость с другими перовскитами, такими как титанат стронция (SrTiO_3) и титанат рутения (SrRuO_3) для создания суперлинзы [2]. Суперлинза, предложенная Джоном Пендри [3], представляет собой плоскопараллельную пластинку с отрицательной диэлектрической проницаемостью, окруженную обыкновенной средой. Такая пластинка должна формировать изображение с деталями на несколько порядков меньше длины волны используемого излучения, т.е. далеко за пределами, очерченными законами дифракции для оптических приборов. Здесь правда, стоит оговориться, что изображение получается не на удаленном экране – от предмета его отделяет расстояние не больше полмикрона. Тем не менее, результат удивительный, поскольку электромагнитное поле, несущее информацию о наноразмерных деталях поверхности должно спадать на расстояниях уже на порядки меньших. Кроме того, можно создать эшелон из таких линз и транслировать изображение на дальние расстояния (насколько, впрочем, позволит оптическое поглощение в материале).

Суперлинза создана на основе гетероструктуры из слоев феррита висмута, окружающих слой титаната стронция (рис. 2а). Изображение снимается в режиме ближнего поля с помощью зонда сканирующего микроскопа, однако, в отличие от случая фотогальванического эффекта (рис. 1), его наличие не принципиально – изображение может отпечатываться и

на фоточувствительном слое, если его нанести сверху. Длина волны излучения (около 14 мкм) была подобрана таким образом, чтобы феррит висмута имел диэлектрическую проницаемость около единицы, а слой титаната стронция - минус единицу (неподалеку, на длине волны 18 мкм находится фоновый резонанс). В результате инфракрасное излучение, рассеянное на наноструктуре из металлического SrRuO₃, создает в феррите висмута быстро убывающее с расстоянием поле (т.н. эванесцентное поле, показано на рис. 2а красным цветом). Однако расположенный на расстоянии 100 нм слой титаната стронция SrTiO₃ за счет возникновения поверхностных плазмон-поляритонов приводит к перераспределению энергии в электромагнитном поле, усиливая высокочастотные пространственные гармоники. В результате по другую сторону от слоя титаната стронция на расстоянии сотен нанометров удается получить изображение с таким разрешением, как если бы оно было снято в контактном режиме.

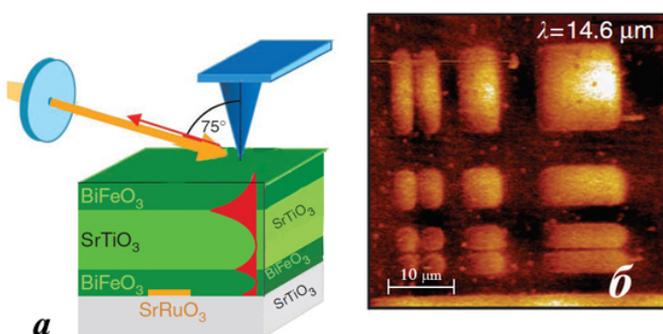


Рис. 2. Суперлинза из перовскитов: *а* - схема эксперимента; *б* - ближнепольное изображение, полученное на верхней поверхности феррита висмута BiFeO₃ [2].

А. Пятаков

1. M.Alexe, D.Hesse, *Nat. Commun.* **2**, 256 (2011).
2. S.C.Kehr et al., *Nat. Commun.* **2**, 249 (2011).
3. J.B.Pendry, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3966 (2000).

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

И вновь о сверхпроводимости

4-8 апреля 2011 года в г. Лейдене (Нидерланды) состоялся International Workshop “100th Anniversary of Superconductivity: Hot Topics and Future Directions”. В центре дискуссий был вопрос о роли квантовых критических флуктуаций в механизме высокотемпературной сверхпроводимости, а также о том, насколько далеко нужно отойти от модели БКШ, чтобы описать ВТСП и другие “необычные” сверхпроводники. Некоторые из предложенных нововведений довольно оригинальны, вплоть до заимствований из теории струн. С экспериментальной стороны отмечено резкое улучшение качества образцов и существенное усовершенствование (а также разработка новых) методик. Сейчас максимальная T_c составляет около половины от комнатной температуры по шкале Кельвина. Хорошо бы ей вырасти ещё, как минимум, в два раза, не дожидаясь 200-летнего юбилея сверхпроводимости.

КОНФЕРЕНЦИИ

Симпозиум “Физические процессы в наноразмерных объектах: проблемы синтеза и исследований” (ФПНО-1) будет проводиться параллельно с симпозиумом “Физика межфазных границ и фазовые переходы” (МГФП-1).

В связи с этим изменены условия проведения симпозиума (сроки регистрации, оплата оргвзноса), а так же сформирована новая научная программа симпозиума (МГФП-1), учитывающая темы докладов, заявленных на обе конференции.

Первый междисциплинарный международный симпозиум “Физика межфазных границ и фазовые переходы” (МГФП-1), 19-23 сентября 2011г, пос. Лоо, Краснодарский край, Россия

Сроки и даты

Регистрация и представление текстов докладов: **до 10 июня 2011 г.**

Web: <http://ip.sfedu.ru/>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, А.Елецкий, М.Маслов, Л.Опенов, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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