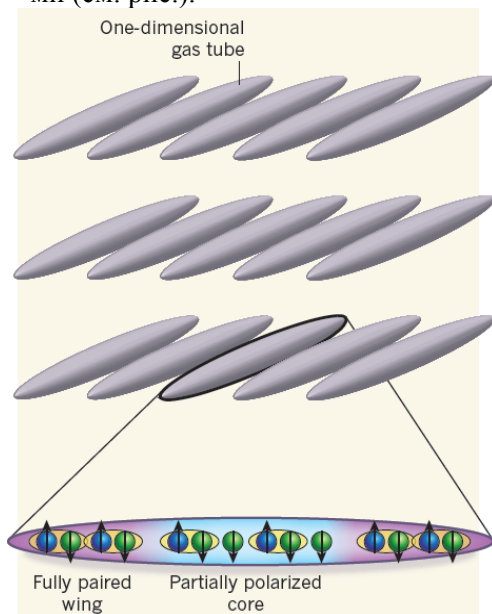


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Спаривание в одномерии

В обычных сверхпроводниках куперовские пары образуются из электронов с противоположными импульсами и спинами. Полный импульс таких пар равен нулю. Также спариваются и нейтральные ферми-атомы при нанокельвинных температурах. А что произойдет, если число частиц с одной и другой проекцией спина будет различным (например, в магнитном поле)? Казалось бы, в этом случае сверхпроводящие (или сверхтекучие) корреляции должны ослабнуть – из-за уменьшения числа пар, а при полной поляризации (ферромагнетизм) – исчезнуть вообще. Однако более 40 лет тому назад Фулде, Феррель, Ларкин и Овчинников теоретически показали, что сверхпроводимость может сохраняться и в условиях спинового разбаланса, если куперовские пары имеют конечный импульс. Такое состояние (состояние FFLO) можно представить себе как чередование сверхпроводящих и нормальных (спин-поляризованных) областей. В 3D системах однозначно обнаружить его пока не удалось (как полагают, из-за того, что оно существует в очень узком диапазоне параметров). Считается, что гораздо больше шансов найти это состояние в одномерии, где гораздо более существенны эффекты нестинга поверхности Ферми. Одна из таких систем – двухкомпонентный газ ферми-атомов в оптической ловушке – и была изучена в работе [1] на предмет наличия в ней FFLO-состояния. Эксперимент проводили при $T = 175$ нК. Оказалось, что ближе к центру одномерной “оптической трубки” имеет место частичная поляризация спинов, а ее края остаются неполяризованными (см. рис.).



Спаривание фермиевских атомов в одномерных “трубках”, образованных за счет интерференции двух стоячих световых волн.

Это наблюдение полностью согласуется с предсказаниями теории для состояния FFLO в 1D [2]. Что осталось недоказанным в [1] – так это наличие сверхтекучести в поляризованной центральной части трубки. В ближайшем будущем авторы [1] собираются непосредственно измерить импульс пар и убедиться, что он не равен (или все же равен?) нулю.

Л.Опенков

И далее ...

- 2 Сверхпроводники и квантовые точки

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Электронный транспорт в поликристаллическом графене

- 2 Графеновые наноленты без литографии

- 3 Графен на нитриде бора
Синтез графена из спирта

СПИНТРОНИКА

- 4 Гигантский магнитоэлектрический эффект при комнатной температуре

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Радиотерапия с помощью углеродных нанотрубок
- 6 Новый катализатор для синтеза углеродных нанотрубок
- 7 Прозрачные гибкие проводящие пленки на основе углеродных нанотрубок

Адгезия углеродной нанотрубки к металлической поверхности

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 First Euro-Mediterranean Meeting on Functionalized Materials (EMM-FM 2011), March 17-21, 2011, Sousse, Tunisia

International Magnetism Conference (INTERMAG 2011), April 25-29, 2011, Taipei, Taiwan

1. Y.Liao et al., *Nature* **467**, 567 (2010).

2. G.Orso, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 070402 (2007).

Сверхпроводники и квантовые точки

В журнале *Nature Nanotechnology* опубликована обзорная статья [1], посвященная гибридным устройствам, в которых сверхпроводящие электроды соединены с несверхпроводящими наноструктурами, такими, как квантовые точки. Уникальные свойства этих устройств обусловлены комбинацией макроскопического квантового явления – сверхпроводимости – с возможностью контроля отдельных электронов посредством полупроводниковых квантовых точек. В [1] обсуждается современное состояние исследований их транспортных характеристик. Указаны также возможные применения: транзисторы, в которых сверхток изменяет свое направление при добавлении в квантовую точку одного единственного электрона; детекторы для нанорезонаторов; источники частиц в запутанных состояниях и пр...

I. S. De Franceschi et al., Nature Nanotech. 5, 703 (2010).

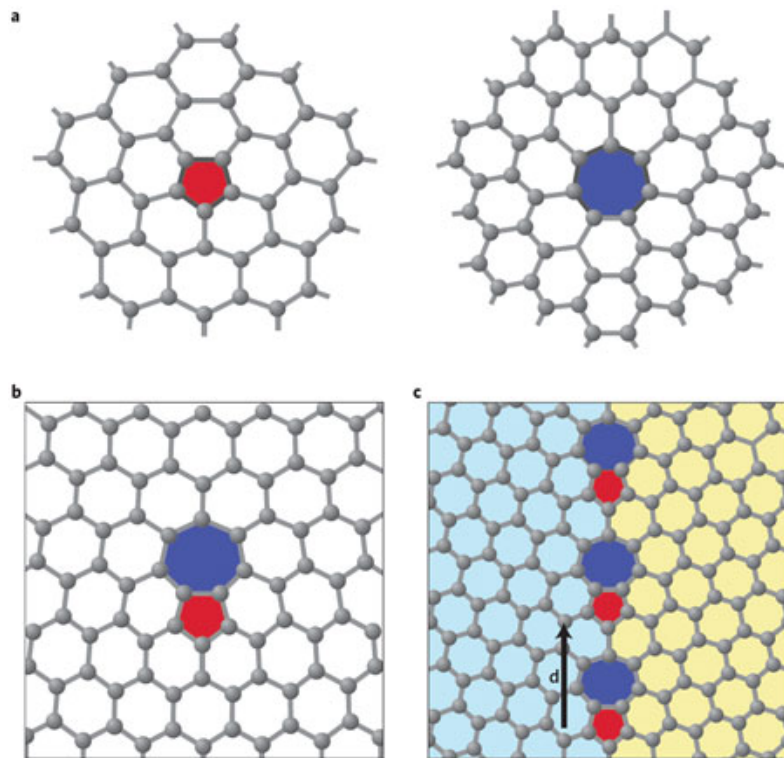


Рис. 1. Топологический беспорядок в графене: *a* - слева – 5-угольник (положительно заряженная дисклинация), справа – 7-угольник (отрицательно заряженная дисклинация); *b* - краевая дислокация; *c* - межзеренная граница, образованная периодически расположенными дислокациями.

Но образование таких дефектов энергетически невыгодно, поскольку требует довольно сильного искажения гексагональной структуры. Гораздо более вероятна их комбинация, в результате чего формируется краевая дислокация (рис. 1b). А периодическое повторение “дефектов 5-7” приводит к образованию межзеренной границы (рис. 1c). В [1] показано (аналитически и численными расчетами), что эта граница может быть как проводящей, так и непроводящей – в зависимости от ее ориентации относительно решетки графена. Таким образом, имеется принципиальная возможность регулировать проводимость поликристаллического графена пу-

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Электронный транспорт в поликристаллическом графене

Большинство макроскопических твердых тел являются поликристаллами. И квазидвумерный графен здесь не исключение: он представляет собой совокупность монокристаллических областей (зерен) с различной ориентацией кристаллографических осей. Эти области отделены друг от друга границами – протяженными топологическими дефектами. Транспорт электронов через межзеренные границы определяет электрические свойства графена и, следовательно, пути его практического использования. Теоретическому исследованию этого вопроса посвящена статья [1].

Простейшими дефектами, нарушающими трансляционную симметрию графена, являются изолированные 5- и 7-угольники (рис. 1a).

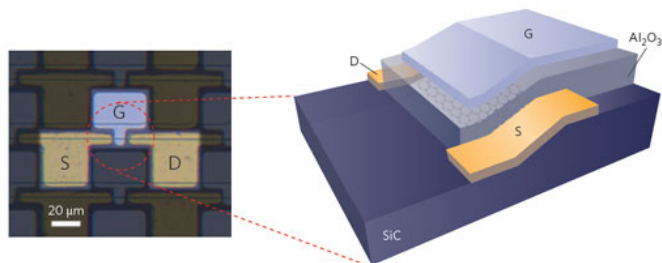
тем контроля его микроструктуры. Как это реализовать на практике – отдельный вопрос.

I. O.V.Yazyev, S.G.Louie, Nature Mater. 9, 806 (2010).

Графеновые наноленты без литографии

Известные на сегодняшний день способы изготовления графеновых нанолент не позволяют получать наноленты высокого качества в количестве, достаточном для их широкого практического использования. Новая методика предложена в работе [1]: наноленты с ровными краями и с заданной шириной выращивают на поверхности SiC с предвари-

тельно вытравленными на ней узкими “канавками”, покрывая грани этих канавок. Существенно, что возможен рост нанолент сразу в “приборной конфигурации”. Таким образом, за один присест авторы [1] изготовили около 10000 транзисторов (см. рис.). Пока ширина нанолент (≈ 40 нм) больше, чем хотелось бы, что не лучшим образом сказывается на характеристиках транзисторов. Ее уменьшение требует некоторой модификации методики, что и предполагается сделать в скором времени.



Транзистор из графеновой наноленты *S* – источник, *D* – сток, *G* – управляющий электрод.

Л.Опенков

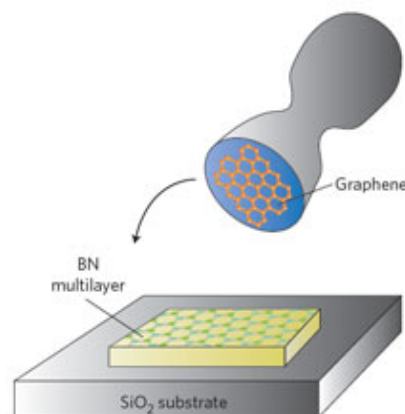
1. M.Sprinkle et al., *Nature Nanotech.* **5**, 727 (2010).

Графен на нитриде бора

Уникальные электронные свойства графена обусловлены совершенством его гексагональной кристаллической решетки, а также тем, что графен представляет собой монослой: каждый атом углерода в нем является “поверхностным”. Но для практического использования графену нужна прочная опора (подложка). А взаимодействие с подложкой приводит к искажению структуры графена и появлению в нем зарядовых неоднородностей, которые рассеивают носители и уменьшают их подвижность. С момента открытия графена в 2004 г. [1] и до настоящего времени чаще всего используют подложки из SiO_2 . Для улучшения характеристик устройств на основе графен/ SiO_2 применяют отжиг (в газовой фазе или под воздействием сильного тока). Но полностью это проблему не решает. Можно, конечно, вообще избавиться от подложки (сравнить ее) и оставить графен подвешенным между двумя металлическими контактами. Именно так обычно поступают, например, при исследовании квантового эффекта Холла в графене. Однако для реальных устройств это не подходит из-за низкой структурной устойчивости подвешенного графена, что накладывает жесткие ограничения на прикладываемое к нему напряжение и концентрацию носителей в нем. Так что без подложки все же не обойтись.

В работе [2] предложено в качестве буферного слоя, отделяющего графен от SiO_2 , использовать пленку гексагонального нитрида бора (h-BN) толщиной ~ 10 нм (см. рис.). Периоды решетки графена и h-BN различаются всего лишь на 1.7%, так что структурное несоответствие очень незначительно, а поверхность h-BN является плоской с атомарной точностью и не содержит дефектов типа “болтающих-

ся” (ненасыщенных) связей или заряженных примесей. Все это приводит к резкому улучшению электрических характеристик. Так, например, подвижность носителей в графене на h-BN/ SiO_2 оказывается почти на порядок больше, чем в графене на SiO_2 . Можно попробовать использовать h-BN и в комбинации другими типами подложек, не только SiO_2 . Не исключено, что качество образцов при этом еще более возрастет. Кроме того, представляют интерес гетероструктуры из чередующихся слоев графена и h-BN.



Пленка h-BN – буфер между подложкой и графеном.

Л.Опенков

1. K.S.Novoselov et al., *Science* **306**, 666 (2004).

2. C.R.Dean et al., *Nature Nanotech.* **5**, 722 (2010).

Синтез графена из спирта

За немногим более шести лет, прошедших после открытия графена, развито столь много методов их получения, что приходится удивляться, почему графен не был обнаружен несколькими десятилетиями раньше. В качестве объяснения этого парадокса можно заметить, что основная проблема, возникающая при синтезе графена, связана не столько с процедурой синтеза, сколько с методикой идентификации этого материала. Для получения графена применимы такие широко распространенные методы, как микромеханическое расслоение кристаллического графита, молекулярная эпитаксия, электродуговой синтез, химическое осаждение паров (CVD) и др. При этом в качестве исходного материала для получения графена могут быть использованы, наряду с кристаллическим графитом, газообразные углеводороды. Недавно в результате экспериментов, выполненных в Toyota Technological Institute (Нагоя, Япония) [1], список исходных веществ, используемых для получения графена, пополнился этиловым спиртом.

Синтез проводили в кварцевой трубке диаметром 3 см и длиной 100 см при температуре 900°C . Во время синтеза через трубку пропускали аргон при атмосферном давлении со скоростью $300 \text{ см}^3/\text{с}$. При температуре 600°C в трубку вводили никелевую фольгу толщиной 5 мкм, которую использовали в

качестве подложки. При температуре 900°C в трубку вводили пары этанола, что достигалось пробуждением аргона через спирт. Введение паров прекращали после 5 мин синтеза. Синтезированные образцы графена переносили с никелевой подложки на подложку SiO₂/Si с помощью стандартного подхода, основанного на использовании азотной кислоты. Эти образцы исследовали с помощью спектрометра комбинационного рассеяния с высоким пространственным разрешением. Поперечный размер отдельных графеновых листов находится в диапазоне от 1 до 10 мкм.

Синтез графена весьма чувствителен к скорости охлаждения подложки. Так при закалке (быстром извлечении подложки из кварцевой трубки), когда температура в течение 10 с уменьшалась с 900° до 560°C, графен синтезировался, в то время как при медленном охлаждении (с 900° до 560°C за 20 мин) графен никогда не образуется.

А.Елецкий

1. Y.Miyata et al., *Appl. Phys. Lett.* **26**, 263105 (2010).

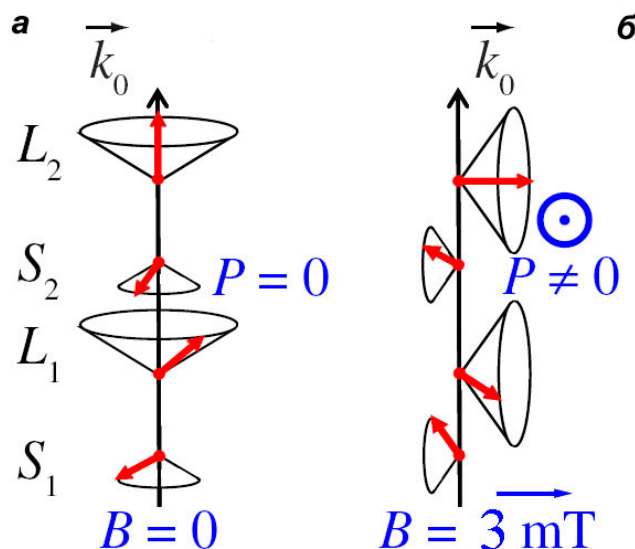
СПИНТРОНИКА

Гигантский магнитоэлектрический эффект при комнатной температуре

К магнитоэлектрическим эффектам относят эффекты возникновения в веществе электрической поляризации под действием постоянного магнитного поля и обратные эффекты индуцированной постоянным электрическим полем намагниченности. С самого открытия эффекта в 1960 г не прекращались поиски материалов, в которых бы проявлялись сильные магнитоэлектрические свойства при нормальных условиях, поскольку только в этом случае возможно их практическое использование в электронных устройствах. Магнитоэлектрики оказались на редкость строптивыми объектами: большие магнитоэлектрические эффекты наблюдались либо при низких температурах, либо в высоких магнитных полях. Гораздо лучше в этом плане смотрелись композиционные материалы, состоящие из двух фаз: магнитной и пьезоэлектрической, взаимодействующих посредством механических напряжений. Однако у них есть свои недостатки: сильная зависимость свойств от плохо контролируемых условий на границах раздела фаз, большая, чем у однофазных сред инерционность эффекта (поскольку вовлекались механические степени свободы) и др.

И вот, похоже, под натиском физиков и материаловедов магнитоэлектрическая крепость пала: в гексаферритах Z-типа Sr₃Co₂Fe₂₄O₄₁ обнаружен эффект, в 50 раз превосходящий таковой в эталонном магнитоэлектрике Cr₂O₃, причем проявляется он при комнатных температурах и в небольших магнитных полях порядка 30 Э [1]. Это открывает путь для использования магнитоэлектрических материалов в устройствах спиновой электроники и магнитной

памяти, характерной чертой которых должно стать низкое энергопотребление, поскольку вместо токов высокой плотности для управления магнитными свойствами будут использоваться статические электрические поля.



Механизм возникновения магнитоэлектрического эффекта: L , S – магнитные моменты различных магнитных под решеток, k – векторы модуляции спирали, B – внешнее магнитное поле, P – электрическая поляризация, красными стрелками показаны спины магнитных ионов [2].

Механизм магнитоэлектрического эффекта пояснен на рисунке, и он аналогичен описанному ранее в работе [2]. Первоначальная структура представляет собой ферромагнитный *геликоид* (рис. а), она характеризуется нескомпенсированным магнитным моментом вдоль вертикальной оси и нулевой электрической поляризацией. В небольшом магнитном поле структура искажается (рис. б). Ось вращения спинов становится перпендикулярной направлению модуляции, задаваемому вектором k . Спираль превращается в ферромагнитную *циклоиду*, которая характеризуется не только магнитным моментом, но и отличной от нуля электрической поляризацией, вследствие потери центра симметрии в материале (подробнее см. ПерсТ [3]).

В заключение стоит отметить, что поскольку магнитные доменные границы представляют собой не что иное, как фрагменты спиралей, то даже в обыкновенных магнитных диэлектриках, таких как ферриты со структурой граната, при комнатных температурах могут возникать магнитоэлектрические эффекты [4]. Однако они локализованы на доменных границах и при усреднении по объему образца оказываются незначительными. В гексаферритах магнитная спираль занимает весь объем кристалла, и эффект проявляется во всей своей силе.

А.Пятаков

1. Y.Kitagawa et al., *Nature Mater.* **9**, 797 (2010).
2. S.H.Chun et al., *Phys. Rev. Lett.* **104**, 037204 (2010).

3. [ПерсТ 16, вып 9, с. 3 \(2009\).](#)
4. A.S.Logginov et al., *Appl. Phys. Lett.* **93**, 182510 (2008).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Радиотерапия с помощью углеродных нанотрубок

В последние годы исследователи активно предлагают различные варианты использования углеродных нанотрубок (УНТ) и фуллеренов для диагностики и лечения раковых заболеваний (см., например, *ПерсТ* [1]). В недавней работе коллектива ученых из Великобритании и Испании сообщается о создании и испытании *in vivo* новой системы доставки лекарственных/диагностических средств на основе УНТ [2]. Авторы работы заполнили одностенные нанотрубки (ОСНТ) радиоактивным йодом (точнее, Na^{125}I), ввели полученные нанокapsулы в вены мышей и продемонстрировали аккумуляцию радионуклида в лёгких. Полученные результаты важны для расширения возможностей радиотерапии - по существу учёные создали нанорадиоэмиттеры, которые способны обеспечить очень точную дозу излучения, сконцентрированную именно в “больном” месте.

Заполнение ОСНТ проводили при температуре 900°C , используя капиллярные явления. После охлаждения до комнатной температуры концы нанотрубок закрылись, обеспечив надёжную упаковку йодида в нанокapsуле. Для отработки методики сначала использовали нерадиоактивный йод. Данные однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеновского спектрального анализа подтвердили наличие внутри нанотрубок одномерных кристаллов NaI . Вдохновленные успехом исследователи перешли к Na^{125}I . После заполнения ОСНТ была проведена мягкая ковалентная функционализация (без использования металлических катализаторов). Она не нарушила целостность оболочки капсулы, но добавила химические группы, к которым уже можно было присоединить биомолекулы для снижения цитотоксичности и улучшения дисперсности. Исследователи “посыпали” нанотрубки сахаром (использовали GlcNAc - природный моносахарид N-ацетилглюкозамин) и получили структуру, схематически изображённую на рис.1.

Эксперименты проводили *in vivo* на 3 группах мышей ($n = 4-6$). Животным в вену хвоста вводили нанокapsулы, содержащие для одной группы 50 мкг Na^{125}I , для другой – 250 мкг Na^{125}I , что соответствует радиоактивности 0.2 и 1.0 МБк. Животным контрольной группы вводили 1.8 МБк Na^{125}I (для свободного йодида это минимальная детектируемая доза). Поскольку период полураспада $^{125}\text{I} \sim 60$ дней, наблюдения можно было проводить в течение довольно длительного времени.

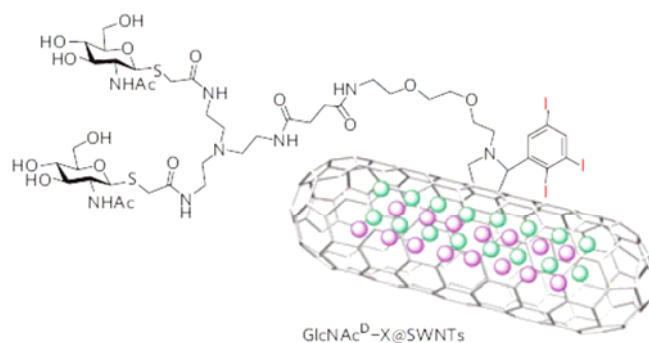


Рис. 1. Нанокapsула $\text{Na}^{125}\text{I}@\text{ОСНТ}$ после функционализации и модифицирования поверхности.

Как и ожидалось, свободный Na^{125}I быстро аккумулялировался в щитовидной железе (главной мишени для йода), в желудке и мочевом пузыре. А вот нанокapsул $\text{Na}^{125}\text{I}@\text{ОСНТ}$ в этих органах не оказалось совсем (рис.2)! В основном они были аккумулялированы в лёгких. Через 4 ч свободный Na^{125}I был обнаружен в щитовидной железе и в желудке, через 24 ч – только в щитовидной железе. Na^{125}I в нанокapsулах сохранился в лёгких не только через 4 и 24 ч, но даже и через неделю! (Сигнал в щитовидной железе от свободного Na^{125}I через 7 дней был уже очень слабым).

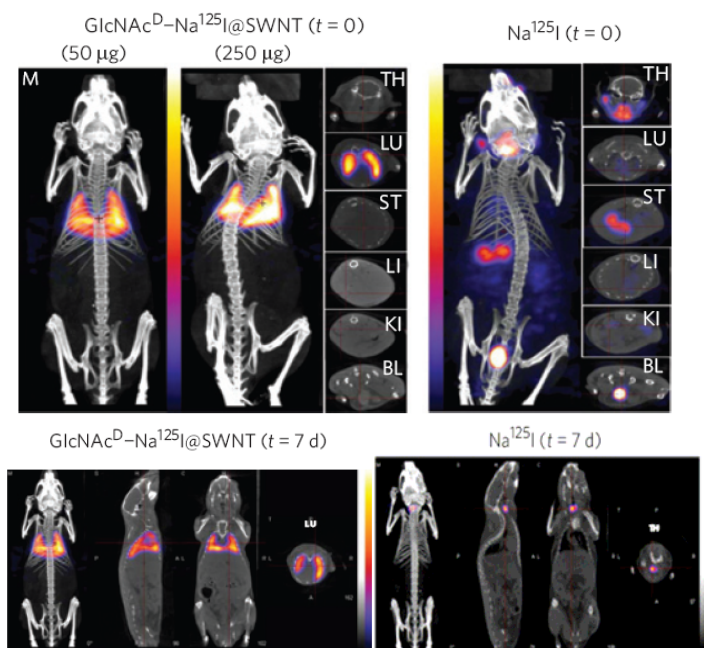


Рис. 2. Изображения, полученные с помощью компьютерной томографии: сверху - непосредственно после инъекции; внизу - через 7 дней. Слева – инъекции 50 и 250 мкг $\text{GlcNAc-Na}^{125}\text{I}@\text{ОСНТ}$, справа – инъекции 1.8 МБк Na^{125}I . Показаны также поперечные сечения органов (TH – щитовидная железа, LU – лёгкое, ST – желудок, LI – печень, KI – почки, BL – мочевой пузырь).

Самые важные выводы, полученные при сравнении экспериментальных данных, заключаются в следующем: во-первых, радионуклид надёжно заключен в ОСНТ; во-вторых, его распределение в тканях очень резко отличается от распределения свободного Na^{125}I . Авторы предполагают, что именно модификация ацетилглюкозамином “нацеливает” нано-

капсулы на лёгкое, т.к. белок, специфичный для этого органа, хорошо связывается с данным сахаром. Не означает ли это, что, используя для модификации поверхности ОСНТ подходящие биомолекулы, можно выбирать нужные мишени? Впрочем, исследователи пока не исключают и другие физиологические эффекты.

Когда речь идет о возможных медицинских применениях, чрезвычайно важным вопросом является токсичность. Авторы работы [2] провели гистологические исследования легких, печени, почек и селезенки. Результаты подтвердили аккумуляцию ОСНТ в легких; в других органах нанотрубок не было. Никаких изменений в легких, соответствующих некрозу или фиброзу, не было обнаружено даже через 30 дней после инъекций. В настоящее время учёные проводят более длительное изучение токсикологических и иммунологических откликов.

В своих комментариях к этой работе M.S. Strano [3] выразил надежду, что полученные результаты помогут развитию не только радиотерапии, но и радиохирургии* на наноуровне. Аккумуляция радионуклида в определенном органе в сочетании с высокой стабильностью *in vivo* обеспечивает беспрецедентную плотность дозы излучения; можно сказать, что создан своего рода наноож, который в отличие от применяемых в радиохирургии “гамма-ножей” не “загрязняет” радиоактивными ионами здоровые ткани.

* Радиохирургия, или стереотактическая (греч.-движущийся в пространстве) хирургия, совмещает принципы стереотаксии (трехмерной локализации цели) с генерацией от многих источников потока излучения, сфокусированного точно на эту цель. При этом окружающие здоровые ткани получают более низкие дозы. В отличие от радиотерапии использует **однократное** облучение при больших дозах. Уникальная медицинская методика, изобретенная шведским нейрохирургом Лекселлом, уже более 40 лет успешно применяется в клиниках Японии, США и Европы. За точность была названа “гамма-ножом”. Первая в России установка появилась в НИИ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко пять лет назад, в ней используется 201 источник Co-60.

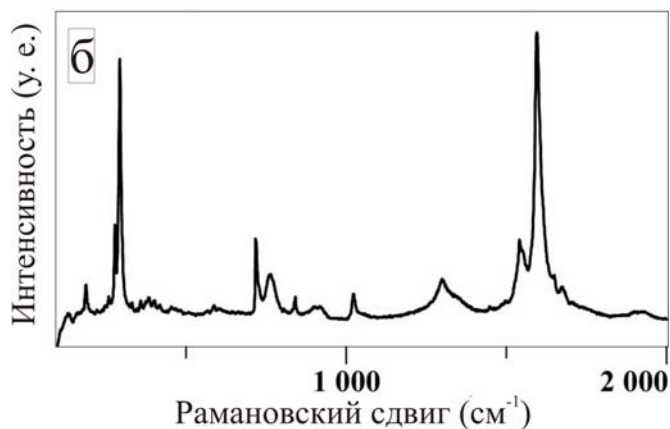
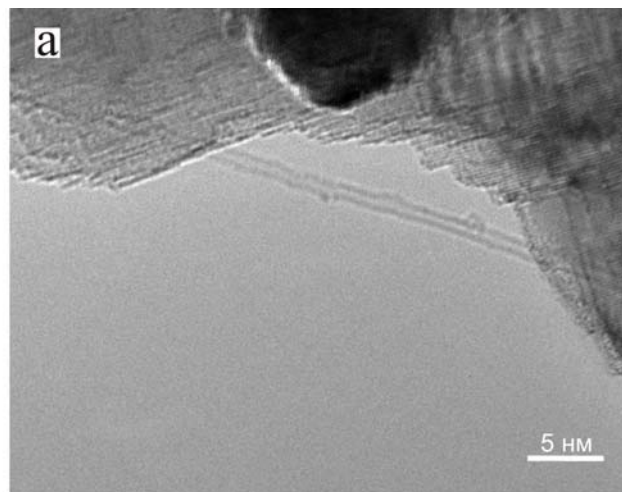
О.Алексеева

1. [ПерсТ 17, вып. 13/14, с. 6 \(2010\).](#)
2. S.Y.Hong et al., *Nature Mater.* **9**, 485 (2010).
3. M.S.Strano, *Nature Mater.* **9**, 467 (2010).

Новый катализатор для синтеза углеродных нанотрубок

Российско-финским исследовательским коллективом предложен оригинальный катализатор на основе железа, меди и оксида магния (FeCu/MgO), способствующий процессам селективного роста одностенных углеродных нанотрубок (ОСНТ) преиму-

щественно с индексами хиральности (6,5) из оксида углерода [1]. Оксид магния использовался в качестве подложки, на которую осаждали железо и медь. Роль медного активатора заключалась в усилении восстановительной способности железа и препятствовании агрегации Fe-кластеров. В результате рост ОСНТ был возможен уже при температуре 600°C, а выход нанотрубок был значительно выше, чем при использовании, например, только традиционного катализатора железа. Успешный синтез подтверждался просвечивающей электронной микроскопией совместно с рамановской спектроскопией (см. рис.), УФ-видимой-ИК спектроскопией поглощения и фотолюминесцентной спектроскопией.



Изображение углеродных нанотрубок, выращенных на FeCu/MgO при 600°C, полученное с помощью просвечивающей электронной микроскопии (а) и их рамановский спектр (б).

Авторы отмечают, что после завершения процессов роста, как подложка MgO, так и медный активатор могут быть с легкостью удалены, а дополнительная “настройка” соотношения железа и меди в предложенном катализаторе позволит значительно повысить качество и чистоту получаемых углеродных нанотрубок.

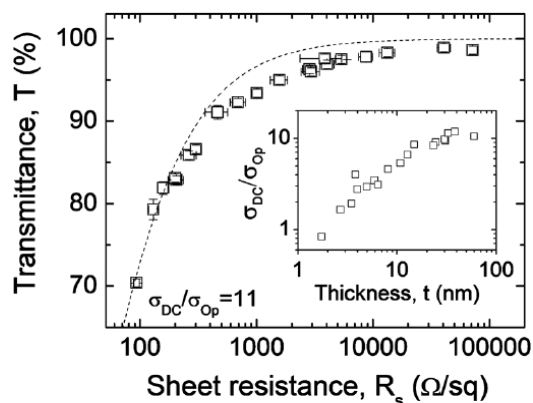
М.Маслов

1. M.He et al., *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 13994 (2010).

Прозрачные гибкие проводящие пленки на основе углеродных нанотрубок

Важными компонентами новых электронных устройств, таких как дисплеи, органические светодиоды, солнечные элементы и т.п., являются прозрачные проводящие пленки. В настоящее время наиболее распространенным материалом для изготовления таких пленок является оксид индия-олова (ITO). К недостаткам этого материала относятся хрупкость, исключающая возможность использования в гибких дисплеях, а также его быстро растущая стоимость, вызванная ростом потребности со стороны промышленности. В качестве альтернативных материалов рассматривают пленки на основе наноуглеродных материалов. Так недавно была описана методика изготовления и приведены результаты испытаний подобных пленок на основе графена [1].

Наряду с этим, ведутся активные исследования, направленные на разработку таких пленок на основе углеродных нанотрубок (УНТ). Одна из подобных работ выполнена группой исследователей из Univ. of Dublin (Ирландия) [2]. В качестве исходного материала для получения пленки авторы использовали имеющиеся в продаже образцы однослойных УНТ. Образцы подвергали длительной ультразвуковой обработке в поверхностно-активной жидкости (додецилсульфат натрия), что приводило к диспергированию объединенных в жгуты нанотрубок. Полученную суспензию помещали на 90 мин в центрифугу, работающую при скорости вращения 5500 об/мин. После обработки суспензию разбавляли до концентрации 0.1–0.2 мг/мл и наносили с помощью распылителя на подложку из полиэтилентерефталата (PET). Полученные пленки промывали водой с целью удаления остатков растворителя, после чего некоторые образцы в течение 10 мин подвергали обработке 12M раствором азотной кислоты и термообработке при температуре 100°C в течение 2 ч для устранения возможных эффектов допирования, вызванных кислотной обработкой. Толщину и прозрачность полученных пленок регулировали, варьируя концентрацию УНТ в суспензии, а также число проходов распылителя.



В соответствии с представлениями современной электродинамики, прозрачность проводящей пленки

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 20

зависит от ее проводимости. Это качественно согласуется с результатами измерений прозрачности пленок для излучения с длиной волны 550 нм, представленными на рисунке.

Наиболее высокой прозрачностью (99 %) обладает пленка толщиной 2 нм, имеющая поверхностное сопротивление 40 кОм/квадрат. Измерения указывают на монотонное возрастание статической проводимости пленок по мере увеличения их толщины. Эта зависимость выходит на насыщение при толщине пленки около 20 нм, когда проводимость пленки достигает 2×10^5 См/м. Зависимость проводимости пленки σ от толщины t выражается стандартным соотношением $\sigma = \sigma_0(t - t_0)^\alpha$, описывающим поведение проводимости в окрестности перколяционного перехода. Здесь подгоночные параметры $\sigma_0 = 2.5 \times 10^4$ См/м, $\alpha = 0.62$ и $t_0 = 1.3$ нм. Тем самым можно заключить, что синтезированные пленки сочетают в себе высокую прозрачность, хорошую электропроводность и механическую гибкость, а это допускает возможность их использования в современной электронике.

А.Елецкий

1. A.Yu et al., *Appl. Phys. Lett.* **96**, 253105 (2010).
2. V.Scardaci et al., *Appl. Phys. Lett.* **97**, 023114 (2010).

Адгезия углеродной нанотрубки к металлической поверхности

Наилучшими адгезионными свойствами обладают конечности “цепкопалого” геккона - ящерицы, которая способна передвигаться не только по вертикальной стенке, но даже по потолку. Многочисленные попытки создать липкую ленту, адгезионные свойства которой приближаются к характеристикам лапок геккона, пока не увенчались полным успехом, хотя в решение этой проблемы внесли свой существенный вклад новые Нобелевские лауреаты А.Гейм и К.Новоселов [1]. Недавно внимание исследователей, занимающихся разработкой такой ленты, привлекли углеродные нанотрубки (УНТ), обладающие, согласно измерениям, повышенной адгезионной способностью. С целью детального изучения этого свойства УНТ ученые из Osaka Univ. (Япония) предприняли ряд экспериментов, направленных на количественное определение силы адгезии закрытого конца отдельной УНТ к поверхностям золота и оксида кремния [2].

Эксперименты проводили в камере просвечивающего электронного микроскопа. Кремниевое острие, покрытое слоем Au или SiO₂, с помощью пьезоманипулятора приводили в контакт с концом УНТ, после чего измеряли силу адгезии. Использовали нанотрубки, имеющие поперечное сечение в диапазоне от 2 до 35 нм². Результаты измерений указывают на линейную зависимость сил адгезии от поперечного сечения нанотрубки, что соответствует известному соотношению $F = H_{12}R^2/6d^3$, описыва-

вающему вандерваальсовское взаимодействие поверхностей. Здесь F – сила адгезии; R – радиус поверхности контакта, которая по предположению имеет форму круга; d – радиус действия межмолекулярных сил; $H_{12} = (H_1 H_2)^{1/2}$ – коэффициент Хамейкера для рассматриваемой пары материалов; H_1, H_2 – соответствующие коэффициенты Хамейкера для каждого из материалов. При этом коэффициент пропорциональности в измеренных зависимостях силы адгезии от площади поперечного сечения нанотрубки для Au примерно вдвое превышает соответствующую величину для SiO₂. Такой результат хорошо соответствует приведенной закономерности, поскольку табличные значения коэффициента Хамейкера для Au и SiO₂ составляют $H_{Au} = 45.5 \times 10^{-20}$ Дж и $H_{SiO_2} = 6.5 \times 10^{-20}$ Дж, так что согласно этой закономерности отношение коэффициентов пропорциональности должно составлять 2.3.

Обработка результатов измерений позволила оценить коэффициент Хамейкера для УНТ = $(4.3-8.9) \times 10^{-20}$ Дж. Это означает, что величина удельной адгезии массива УНТ, размещенных на подложке с плотностью около 5×10^{10} см⁻², достигает величин порядка 900 Н/см², что примерно в 200 раз превышает соответствующую величину для лапок геккона.

А.Елецкий

1. A.K. Geim et al., *Nature Mater.* **2**, 461 (2003).
2. Y. Maeno et al., *Appl. Phys. Express* **3**, 065102 (2010).

КОНФЕРЕНЦИИ

First Euro-Mediterranean Meeting on Functionalized Materials EMM-FM 2011, March 17-21, 2011, Sousse, Tunisia

This first conference of a new cycle of conferences involving Solid State Physics, Material Science and Chemistry including applications at all scales and named “Euro-Mediterranean Meeting on Functionalized Materials” or “EMM-FM” should offer a forum where the scientists of all the Mediterranean countries or regions and over the world will have the opportunity to renew old friendships and network with new contacts, have friendly discussions and get to know each other better.

The topics of the conference cover several aspects of functionalized materials (magnetism, superconductors, dielectric materials, ferroelectricity, multiferroic materials, biomaterials, materials for energy, characterization methods)

Deadline for abstract submission: **November 18, 2010**

E-mail: emmfm2011@tu-mrs.org

Web: <http://www.tu-mrs.org/emm-fm2011>



International Magnetism Conference, (INTERMAG 2011), April 25-29, 2011, Taipei, Taiwan

All members of the international scientific communities interested in new developments in magnetism and associated technologies are invited to attend and submit their latest findings to INTERMAG 2011.

Manuscripts submission deadline: **February 18, 2011**

Web: <http://www.intermagconference.com/intermag2011/>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РНЦ «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.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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