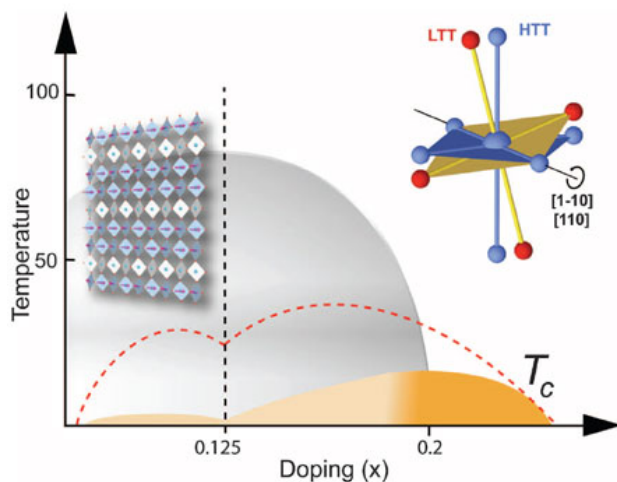


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Индукция сверхпроводимости страйповой фазы светом

В  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$  и некоторых других купратах при  $x=1/8$  имеет место резкое уменьшение температуры сверхпроводящего перехода (или даже полная потеря сверхпроводимости) из-за формирования полос-страйпов, проявляющихся в виде одномерной модуляции спиновой и зарядовой плотности в слоях  $CuO_2$  (см. рис.). В работе [1] (Германия, Великобритания, Япония) обнаружено, что воздействие фемтосекундных ИК-импульсов на несверхпроводящее соединение  $La_{1.675}Eu_{0.2}Sr_{0.125}CuO_4$  со страйпами индуцирует в нем сверхпроводимость при  $T_c \approx 20$  К, о чем свидетельствует появление джозефсоновского плазменного резонанса на оптических спектрах. Формирование сверхпроводящей фазы происходит очень быстро, за время  $\sim 1$  пс. По мнению авторов [1] обнаруженный ими эффект заключается в том, что “информация о сверхпроводящем состоянии уже имеется в системе до ее возбуждения”, а облучение приводит к установлению фазовой когерентности между слоями. Не ясно только, что при этом происходит со страйпами в каждом слое: “плавятся” ли они или же сосуществуют со сверхпроводимостью. Для ответа на этот вопрос требуются новые эксперименты.



Схематическая фазовая диаграмма  $La_{2-x}Eu_{0.2}Sr_xCuO_4$ . Страйповый порядок (левая вставка) связан с искажением структуры из-за поворота кислородных октаэдров. Красная пунктирная линия отвечает фазовой диаграмме для  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ .

Л. Опенов

1. D.Fausti et al., Science 330, 189 (2011).

## СНОВА К ОСНОВАМ

### Локальный порядок в металлических стеклах

В аморфных твердых телах дальний порядок в расположении атомов отсутствует, поэтому стандартные методики, разработанные для кристаллов, дают лишь усредненную информацию об их структуре. Хотя теоретические модели и предсказывают наличие в таких материалах ближнего атомного порядка, экспериментально этот

И далее ...

## ГРАФЕН

- 2 Наноленты для графеновой электроники

Пленки фторированного графена

## СПИНТРОНИКА

- 3 Органическая спинтроника

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 4 Трое в трубке, не считая экситона

Селективное диспергирование полупроводниковых одностенных углеродных нанотрубок

- 5 Функциональная пряжа на основе углеродных нанотрубок

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

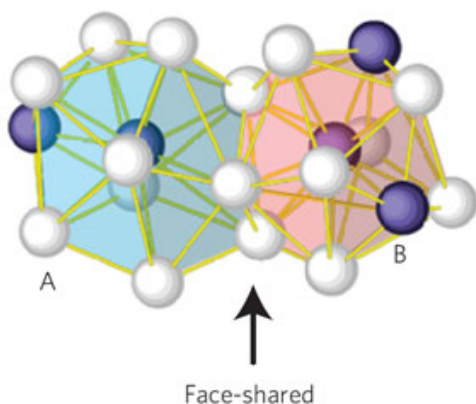
- 7 Вода орто- и пара-

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Юбилейные мероприятия, посвященные 80-летию со дня рождения академика Ю.А.Осипьяна, 14-16 февраля 2011 г.

Научная сессия ОФН РАН “Электромагнитные и акустические волны в метаматериалах и структурах”, 24 февраля 2011 г.

вопрос пока мало изучен. В работе [1] для определения локальной атомной конфигурации в металлическом стекле  $Zr_{66.7}Ni_{33.3}$  японские и французские физики использовали когерентный электронный “нанопучок” диаметром всего лишь  $\sim 0.3$  нм. Сопоставив дифракционные спектры с расчетами из первых принципов, они пришли к выводу о наличии в  $Zr_{66.7}Ni_{33.3}$  ближнего (или даже почти дальнего) порядка: атомы Zr и Ni группируются в кластеры-многогранники, некоторые из которых смыкаются друг с другом своими гранями (см. рис.), формируя небольшие упорядоченные области. Конечно, характер локального упорядочения не является универсальным для всех некристаллических веществ, а зависит от химического состава и ряда других факторов. Теперь же появляется дополнительный инструмент для его исследования.



Два атомных многогранника с общей гранью. Белые и лиловые сферы – атомы Zr и Ni, соответственно.

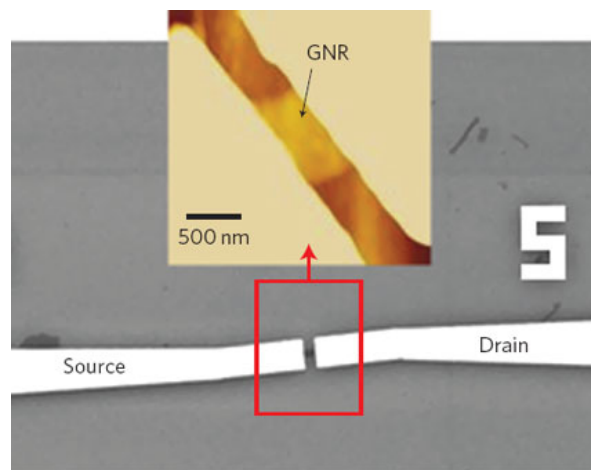
1. A.Hirata et al., *Nature Mater.* **10**, 28 (2011).

## ГРАФЕН

### Наноленты для графеновой электроники

Один из способов “индуцировать” диэлектрическую щель в графене (бесщелевом полупроводнике) заключается в том, чтобы разрезать его на узкие полоски – графеновые наноленты (graphene nanoribbons, GNR). Однако наноленты, изготовленные электронно-лучевой литографией, травлением в кислородной плазме и различными химическими методами, содержат много дефектов (адсорбентов, заряженных примесей, нерегулярностей границ). Это приводит к невоспроизводимости результатов и значительному уменьшению “транспортной щели” (интервала напряжений  $\Delta V$ , в котором ток через транзистор равен нулю). В работе [1] (Япония, США) практически бездефектные (по данным просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения и рамановской спектроскопии) наноленты с ровными краями получены путем “раскрытия” углеродных нанотрубок при их окислении перманганатом калия (что, в общем-то, уже делалось ранее) и последующем отжиге с целью удаления кислорода. Основная заслуга авторов [1] состо-

ит в том, что им впервые удалось подобрать такой режим отжига, при котором дефекты почти отсутствуют, и наноленты получаются практически идеальными (первая стадия – отжиг при  $800^\circ\text{C}$ , вторая – при  $750^\circ\text{C}$  в  $\text{H}_2$  и заключительная – при  $300^\circ\text{C}$ ). Полевые транзисторы, сконструированные в [1] из нанолент шириной  $\sim 100$  нм (см. рис.), имеют отличные характеристики ( $\Delta V \approx 1$  В), гораздо лучше, чем у транзисторов из литографически полученных нанолент.



Полевой транзистор из графеновой наноленты (GNR) с электродами Au/Ti.

Результаты работы [1] весьма обнадеживающие для графеновой наноэлектроники.

Л. Оленов

1. T.Shimizu et al., *Nature Nanotech.* **6**, 45 (2011).

### Пленки фторированного графена

Открытие графенов подстегнуло активность исследователей, работающих над созданием новых углеродных материалов. В этом плане интересны работы, связанные с получением и исследованием фторированного графена, о чем мы уже писали в Персте [1,2]. Можно ожидать, что физико-химические свойства материалов на основе фторированного графена окажутся столь же привлекательными для приложений, как это имеет место в случае фторированного графита. Кроме того, фторированный графен представляет интерес как промежуточный продукт, используемый для функционализации графена различными функциональными группами. В связи с этим во многих лабораториях разрабатываются различные подходы к получению фторированного графена. Один из таких подходов, основанный на использовании в качестве фторсодержащего вещества дифторида ксенона ( $\text{XeF}_2$ ), разработан в Naval Research Lab. (США) [3].

Графеновые пленки были выращены на поверхности медной фольги и затем стандартным способом перенесены на подложку  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ . Затем полученные образцы с целью удаления примесей отжигали при  $400^\circ\text{C}$ . Содержание многослойных чешуек графена

в полученной пленке не превышало 5%. Фторирование графеновых пленок проводили в атмосфере  $\text{XeF}_2$  при температуре 30°C в течение 30-1200 с. Для восстановления графена фторированные пленки обрабатывали в парах гидразина при температуре между 100 и 200°C. В результате взаимодействия графеновой пленки с парами  $\text{XeF}_2$  происходят существенные изменения ее оптических и электронных свойств. Наиболее заметным из этих изменений является исчезновение контраста пленки однослойного графена на оптическом изображении подложки, которое связано с резким снижением проводимости пленки в результате ее фторирования. В отличие от однослойных участков, двухслойные и многослойные участки сохраняют проводящие свойства, поэтому такие участки хорошо различимы на микроизображениях пленки в видимом свете.

Для одностороннего фторирования использовали пленку графена, нанесенную на медную фольгу, а для получения графена, фторированного с двух сторон, использовали пленку на подложке  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ . Это стало возможным благодаря тому, что  $\text{XeF}_2$  способен травить поверхность  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , после чего начинается фторирование и тыльной поверхности графена. Измерения показывают, что степень фторирования графена на медной подложке линейно возрастает со временем в течение первых 90 с, после чего наблюдается насыщение, при котором степень фторирования составляет 20%. Это соответствует 25%-ному покрытию графена фтором или формуле полученного фторированного графена  $\text{C}_4\text{F}$ . Такой результат подтверждается данными численных расчетов, выполненных с помощью метода функционала плотности. В отличие от медной подложки, фторирование графена на подложке  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  (предварительно отожженной при 400°C) приводит к содержанию фтора около 50%, что соответствует формуле  $\text{CF}$ . Анализ рентгеновских фотоэлектронных спектров фторированных образцов показывает, что около 86% связанного фтора находится в состоянии C-F, 12% в состоянии C-F<sub>2</sub> и ~2% в состоянии C-F<sub>3</sub>. При этом образование связей C-F<sub>2</sub> и C-F<sub>3</sub> указывает на наличие дефектов или свободных связей на краях графеновых листов.

Степень восстановления фторированного графена определяли на основании анализа спектров КР. Этот анализ показал, что, с одной стороны, полное восстановление графена не достигается, а с другой стороны – процедура восстановления сопровождается частичным разрушением структуры графена с выделением летучих соединений фтора с углеродом.

Измерения электропроводности образцов графена указывают на резкий рост сопротивления пленок в процессе фторирования. Так, при содержании фтора в образце 20 ат.-% сопротивление графена возрастает на 6 порядков величины. При этом участки графена, защищенные от доступа фтора, сохраняют высокую проводимость и подвижность носителей.

Обработка фторированного образца гидразином в течение 18 ч приводит к восстановлению исходных электрических характеристик.

А. Елецкий

1. *ПерсТ 17, вып. 13/14, с. 2. (2010).*

2. *ПерсТ 17, вып. 23, с. 3. (2010).*

3. J.T. Robinson et al., *Nano Lett.* **10**, 3001 (2010).

## СПИНТРОНИКА

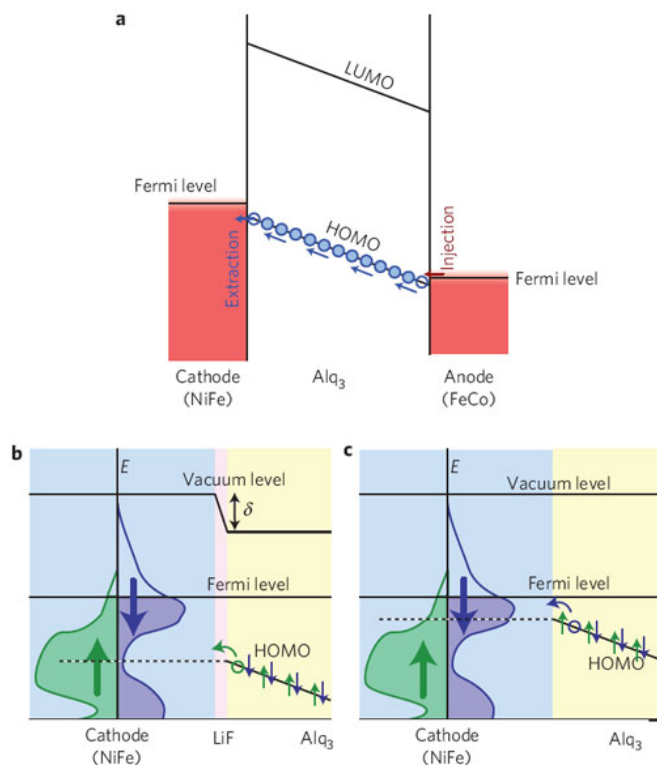
### Органическая спинтроника

Спинтроника на основе органических полупроводников (organic semiconductors, OSCs) – сравнительно новая, но быстро развивающаяся область исследований. Так как OSCs состоят из легких химических элементов (преимущественно – углерода и водорода), то спин-орбитальное взаимодействие в них очень слабое, и поэтому направление спинов носителей заряда сохраняется в течение достаточно длительного времени (сверхтонкое взаимодействие электронных и ядерных спинов в OSCs тоже невелико). Но слабость спин-орбитального взаимодействия, будучи благоприятной для применения OSCs в спинтронике, имеет и обратную сторону, не позволяя использовать оптические методики для определения поляризации спинов, как в GaAs и сходных материалах, где именно это взаимодействие приводит к таким правилам отбора для оптических переходов, которые дают возможность однозначно судить о спине рекомбинирующих электронов.

В работе швейцарских и английских ученых [1] предложен довольно сложный, но элегантный способ решения этой проблемы. Он основан на имплантации в OSC положительных мюонов и определении локальных магнитных полей по спектру испускаемых при их распаде позитронов. При этом профиль распределения мюонов по образцу контролируется путем изменения энергии имплантируемых частиц. Авторы назвали свой метод “low-energy muon spin rotation”, LE-μSR. Они использовали его для измерения поляризации спина носителей, инжектированных из ферромагнетика (NiFe) в OSC ( $\text{Alq}_3$ ). Интересный результат был получен при добавлении тонкой (1 нм) полярной прослойки LiF между NiFe и OSC: поляризация спинового тока изменилась на противоположную. Это связано с тем, что под действием поля электрических диполей в LiF энергия верхней незаполненной молекулярной орбитали в OSC сдвигается относительно уровня Ферми в ферромагнитном контакте (см. рис.), и поэтому изменяются относительные вероятности туннелирования электронов со спинами “вверх” и “вниз”. На макроскопическом уровне данный эффект проявляется в смене знака магнитосопротивления спинового вентильного  $\text{NiFe}/\text{OSC}/\text{FeCo}$  с минуса на плюс после добавления в него слоя LiF. Конечно, в реальных приложениях не будешь всякий раз разбирать устройство, чтобы напылить лишнюю прослойку и инвертировать спиновый ток. Важен сам принцип и его физическая суть. Теперь



появляется возможность для конструирования новых типов устройств для управления спиновыми токами. Например, помещая металлический слой между двумя слоями OSC, можно извлекать спины определенной ориентации из одного OSC и инжектировать противоположно ориентированные спины в другой OSC. Если же полярный слой изготовить из сегнетоэлектрика, то направление его дипольных моментов можно будет контролировать посредством электрического поля, и такое устройство будет работать как спиновый фильтр или переключатель. Использование нескольких полярных слоев соответствующей конфигурации позволит изучать интерференцию спиновых токов (“спиновый интерферометр”). У органической спинтроники широкие перспективы...



Схематическая иллюстрация транспорта дырок в спиновом вентиле (a) и изменения поляризации спинового тока при добавлении слоя LiF (b,c).

Л. Опенов

1. L.Schulz et al., *Nature Mater.* **10**, 39 (2011).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Трое в трубке, не считая экситона

С выходом на подмошку графена слава фуллеренов и нанотрубок несколько померкла. Нанотрубки теперь зовут не иначе как “свернутыми листами графена”. Однако не стоит забывать об их качественном различии с графеном, а именно, квазиодномерной геометрии, которая приводит к квантовому ограничению и высокой корреляции между носителями заряда. В результате, электрон и дырка образуют в нанотрубке экситон – долгоживущее образование, напоминающее атом водорода, или точнее, позитроний (связанную систему из позитрона и

электрона). В только что вышедшей статье японских авторов [1] говорится о получении в нанотрубке еще одной квазичастицы – “триона” – связанных между собой кулоновскими силами двух дырок и одного электрона.

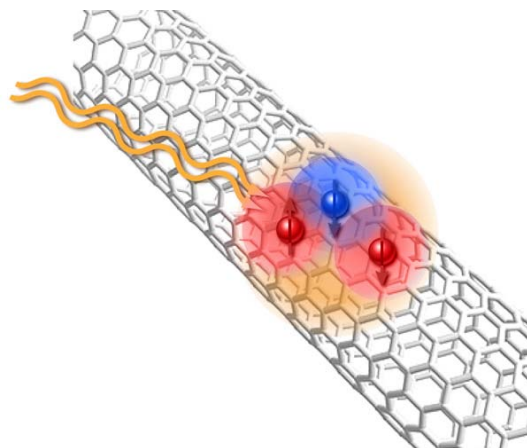


Рис. 1. Оптическое возбуждение квазичастицы триона (образования из двух дырок и электрона) в нанотрубке, легированной акцепторной примесью [2].

Трион обнаруживает себя в спектрах люминесценции и в спектрах поглощения в виде добавочного пика неподалеку от экситонного пика, в области меньших частот. Разница энергий между экситонными и новыми пиками зависит только от радиуса нанотрубки и не меняется при замене акцепторной примеси. Это значит, что дополнительные пики не связаны с дефектами, вызванными примесью, что доказывает существование триона. Интересно, что энергетический зазор между пиками оказался даже больше предсказанного (для нанотрубок диаметром 1 нм он составляет десятые доли эВ), что, как полагают авторы [1], связано с наличием не только дальнего, но и короткого взаимодействия между компонентами триона. Для обычных полупроводников, в которых наблюдаются трионы, роль обменного взаимодействия невелика, а в нанотрубках оно настолько значительно, что делает трион устойчивым даже при комнатных температурах.

В отличие от экситона, связанное состояние из трех частиц обладает нескомпенсированным зарядом и спином. Это позволяет управлять им с помощью электрического и магнитного полей, а также управлять оптическим излучением, что сулит множество новых физических эффектов.

А. Пятаков

1. R.Matsunaga et al., *Phys. Rev. Lett.* **106**, 037404 (2011).

2. U.Hohenester, G.Goldoni, *Physics* **4**, 5 (2011).

### Селективное диспергирование полупроводниковых одностенных углеродных нанотрубок

Германо-швейцарским коллективом исследователей предложена оригинальная физико-химическая методика выделения одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) с определенными индексами хи-

ПерсТ, 2011, том 18, выпуск 3

ральности ( $n, m$ ). В работе [1] авторы сообщают об интересных селективных свойствах поли(*N*-децил-2,7-карбазола) (рис. 1), благодаря которым удалось успешно диспергировать полупроводниковые ОУНТ с  $(n - m) \geq 2$  в толуоле. Данная особенность поликарбазола прекрасно дополняет диспергирующие функции поли(9,9-диалкил-2,7-флуорена) (рис. 1), который изолирует полупроводниковые нанотрубки с  $(n - m) \leq 2$ .

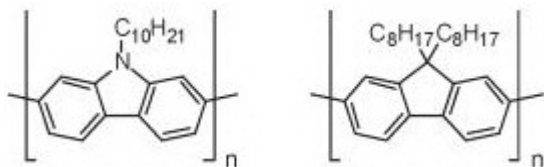


Рис. 1. Структуры поликарбазола (слева) и полифлуорена (справа).

Для анализа свойств поликарбазола и полифлуорена авторы в течение 2 ч с помощью титанового УЗ-волновода диспергировали 1 мг ОУНТ в смеси 15 мл толуола и 50 мг полимера. Диспергированные образцы затем очищали центрифугированием в градиенте плотности и исследовали методом спектроскопии фотолюминесцентного возбуждения. Диаметр диспергированных полупроводниковых нанотрубок составил от 0.8 до 1.2 нм. Авторы провели также численные расчеты соединений полимеров с (10,2) и (7,6) углеродными нанотрубками в рамках метода молекулярной динамики с классическим потенциалом Леннард-Джонса (рис. 2). Было непосредственно показано, что изменения в структуре полимеров приводят к избирательной сольватации различных типов нанотрубок. Авторы рассчитывают, что дальнейшие исследования природы взаимодействия полимеров и углеродных нанотрубок помогут отыскать простой и недорогой способ получения ОУНТ определенного диаметра и хиральности.

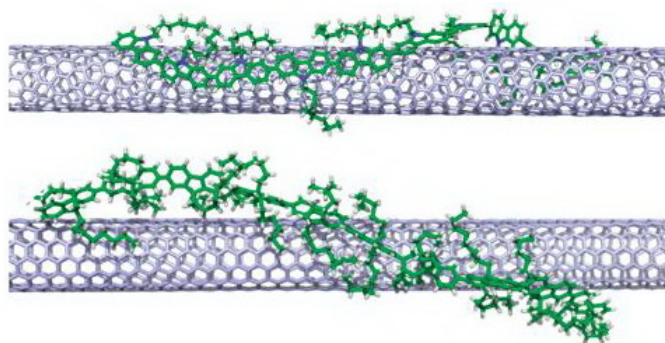


Рис. 2. Структура комплексов полимер/нанотрубка, рассчитанная в рамках метода молекулярной динамики: поликарбазол и (10,2) углеродная нанотрубка (сверху), полифлуорен и (7,6) углеродная нанотрубка (внизу).

М. Маслов

I. F.A.Lemasson et al., J. Am. Chem. Soc. **133**, 652 (2011).

## Функциональная пряжа на основе углеродных нанотрубок

Прядение - это процесс продольного складывания и спирального скручивания отдельных волокон, вытянутых из исходного материала, для получения длинной и прочной нити. Это общий принцип, как для грубых веревок каменного века, так и для современного текстильного производства.



Он же лежит в основе метода, который разработали исследователи из Univ. of Texas at Dallas (США) для получения разнообразной пряжи из многостенных углеродных нанотрубок (УНТ) [1]. Цель работы - создание многофункциональных пористых волокон организованных по принципу "гость - хозяин". Низкая концентрация прочного "хозяина" обеспечивает гибкость, износостойкость, возможность получения тканых материалов, а высокая концентрация "гостя" добавляет нужные функции. Особенностью такой пряжи является то, что в неё можно ввести до 95% другого вещества, даже в виде порошка или коротких нановолокон, которые не поддаются прядению непосредственно.

Для получения "хозяина" авторы [1] использовали метод, который вместе с коллегами из Австралии разработали раньше для получения чистых волокон и ткани из УНТ [2,3]. Исходный материал - плотный массив ("лес") многостенных нанотрубок (МСНТ), выращенный CVD методом. Типичная высота "леса" в [1] составляет 350 мкм, внешний диаметр МСНТ, имеющих 6 стенок, ~9 нм. Посредством вытягивания (кстати, начать его можно с помощью кусочка клейкой ленты) и скручивания получают пряжу (рис. 1). Без скручивания получают лёгкую, но прочную прозрачную "ткань" (до нескольких метров длиной). Вытягивать можно и вручную, но, конечно, авторы [1] некоторые стадии автоматизировали. Ткань - по сути аэрогель - имеет плотность всего ~1.5 мг/см<sup>3</sup>. Удельная прочность (отношение предела прочности к плотности) достигает 144 МПа·см<sup>3</sup>/г. Уплотняя ткань, можно уменьшить её толщину до 50 нм, при этом удельная прочность возрастает до 560 МПа·см<sup>3</sup>/г; плотность такой ткани 0.5 г/см<sup>3</sup> [3].

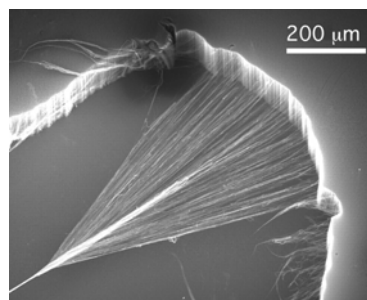


Рис.1. Получение пряжи из МСНТ [2].



“Гости” прибывают разными путями [1]. Сухие или диспергированные в жидкости наночастицы/нановолокна могут быть нанесены физическими и химическими методами (например, с использованием магнетронного распыления, электронно-лучевого испарения, электростатического распыления, метода струйной печати, фильтрации). Можно наносить непрерывно в процессе вытягивания на клин (рис. 2А) или позже, на отдельные полоски ткани. Завершающий этап – закручивание этого двухслойного полуфабриката “гость–хозяин” в спираль. Авторы так и назвали процесс – “biscrolling” (*scroll - свиток, спираль*). В зависимости от конкретных деталей (закручивание от центра клина или асимметричное, угол клина, закручивание стопки полосок ткани, разные варианты закрепления краёв полоски и др.) получают спираль Архимеда (обычную спираль), спираль Ферма и другие, более сложные (рис. 2, 3). Процесс скручивания можно посмотреть в [4].

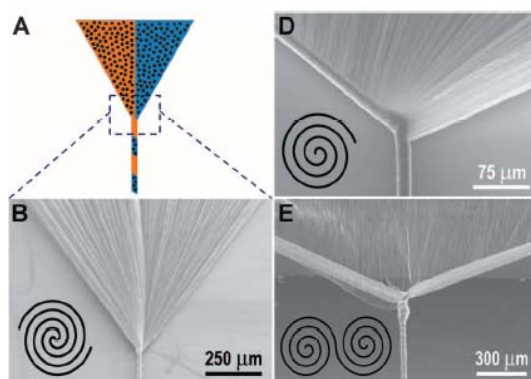


Рис.2. SEM-изображения различных волокон, полученных из “леса” МСНТ.

А – иллюстрация процесса “biscrolling”, чёрные точки – нанесённые частицы.

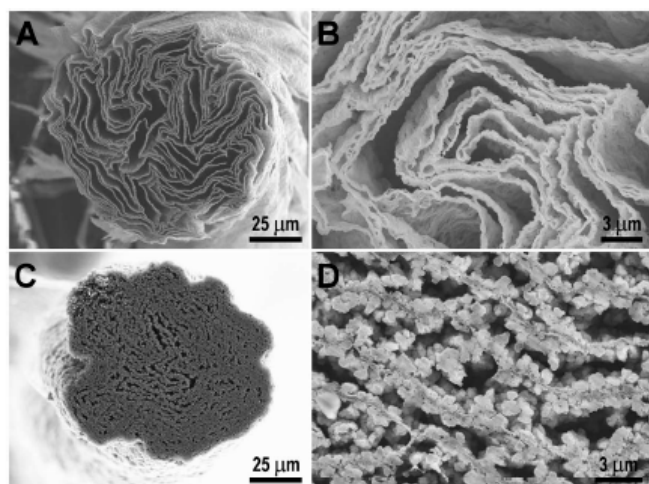


Рис.3. SEM-изображения сечений пряжи, скрученной из двухслойных полосок ткани.

А, В – 70%Ti@MCNT<sub>2,0</sub> (Ti (25 нм) нанесён методом электронно-лучевого испарения).

С, D – 93%TiO<sub>2</sub>@MCNT<sub>2,1</sub> (нанесение путём фильтрации).

Индекс при МСНТ означает число слоёв “хозяина” под и над слоем “гостя”, соответственно.

Изображения сечения пряжи, полученные на сканирующем электронном микроскопе (SEM изображения), см. рис. 3, отличаются от схем, приведённых на рис. 2. Это можно объяснить, во-первых, тем, что центральная часть спирали имеет низкую плотность, а уже затем пряжа уплотняется, слои изгибаются и деформируются. На начальном этапе скручивания плотно клина или предварительно полученные полоски ткани могут складываться – как оригами. Кроме того, к нерегулярности структуры приводит внедрение частиц разной формы и размеров.

Длинные галереи в структуре “хозяина” позволяют эффективно удерживать “гостей” даже при очень малом количестве МСНТ. Эксперименты показали, что пряжу можно завязывать узлом, использовать для шитья (рис. 4). Текстильные изделия с вшитыми волокнами 93%TiO<sub>2</sub>@MCNT стираются в обычной стиральной машине (рис. 5). Потеря “гостей” – не более 2 масс.% !

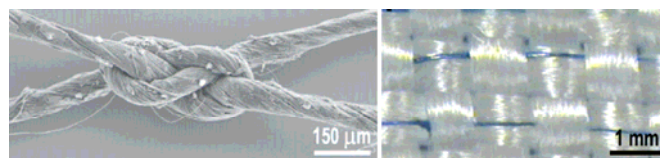


Рис. 4. SEM-изображение двух волокон 88%SiO<sub>2</sub>@MCNT<sub>3,0</sub>, связанных узлом, и фотография волокон 85%TiO<sub>2</sub>@MCNT<sub>3,0</sub>, вшитых в ткань из кевлара (Du Pont).

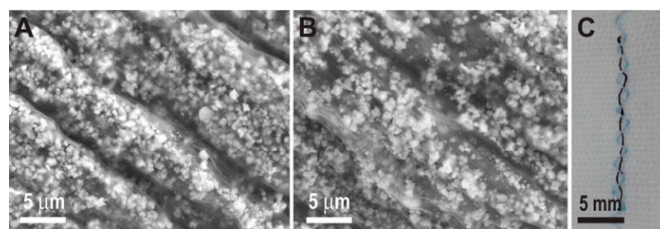


Рис. 5. А, В – SEM-изображение волокон 93%TiO<sub>2</sub>@MCNT до и после стирки. С – фотография этих волокон, вшитых в ткань с помощью швейной машинки.

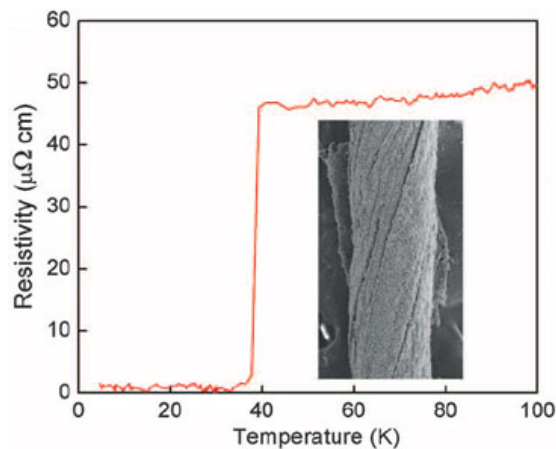


Рис. 6. Электросопротивление и SEM-изображение волокна MgB<sub>2</sub>@MCNT<sub>2,1</sub>. Диаметр волокна 170 мкм.

Выбор “гостей” определяет функциональность пряжи. Авторы синтезировали различные образцы и исследовали их свойства. Сверхпроводящее волок-

но получили, используя смесь порошков Mg и B (атомное отношение Mg:B=1:2.7). Всего 1% МСНТ удерживало 99% этих прекурсоров во время скручивания и жёсткой обработки, несмотря на большой размер частиц (~40 мкм) в сравнении с ~50 нм толщиной полоски МСНТ. Из прекурсоров при 750°C (30 мин, Ar) образовался диборид магния. Измерения показали, что скрученное волокно  $\text{MgB}_2@\text{МСНТ}_{2,1}$  является сверхпроводящим с критической температурой 39К, характерной для  $\text{MgB}_2$  (рис. 6).

Были также получены перспективные материалы для фотокатализа –  $\text{TiO}_2@\text{МСНТ}$ ; для гибких электродов литиевых аккумуляторов –  $95\%\text{LiFePO}_4@\text{МСНТ}$  для катодов и волокна из 2% МСНТ и 98% нанолент оксида графена (восстановлением из них получили графеновые наноленты) для анодов; для катализаторов топливных элементов –  $\text{N}_x\text{МСНТ}@\text{МСНТ}$  и др.

Эта прочная многофункциональная пряжа может быть использована и при создании так называемой “умной одежды” для медицины, армии, спорта, разработкой которой сейчас занимаются многие научные организации и фирмы.

И еще одна интересная особенность нового метода – “хозяев” можно менять! Исследователи [1] с помощью плазмохимического осаждения из газовой фазы (PECVD) нанесли на углеродные нанотрубки (в полосках неуплотненной ткани, вытянутой из “леса”) конформные покрытия 4-18 нм  $\text{SiO}_2$  или  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . В результате сформировались УНТ с керамическими покрытиями или – после удаления центральной части путем окисления – керамические нанотрубки. Эти новые полоски тоже можно скручивать в пряжу непосредственно (рис. 7) или после нанесения новых “гостей” методом “biscrolling”.

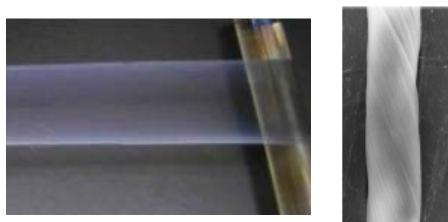


Рис. 7. Ткань (ширина ~ 1 см) и пряжа из  $\text{Si}_3\text{N}_4$  нанотрубок. Диаметр волокна 170 мкм.

О. Алексеева

1. M.D. Lima et al., *Science* **331**, 51 (2011).
2. M.Zhang et al., *Science* **306**, 1358 (2004).
3. M.Zhang et al., *Science* **309**, 1215 (2005).
4. [www.sciencemag.org/cgi/content/full/331/6013/51/DC1 movieSI](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/331/6013/51/DC1%20movieSI)

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Вода орто- и пара-

О существовании орто- и пара- водорода рассказывают в институтских курсах, поэтому сомнений в существовании двух сортов водорода у тех, кого

это иногда касается, как правило, не возникает. Другое дело вода. С раннего детства приходится слышать о живой и мертвой разновидностях. С расширением информационного охвата приходится читать, слышать да и видеть всякое - и про заряженную воду, и про всякую другую. Но на большинство людей этот информационный прессинг действует скорее в обратную сторону, и утверждение о существовании разновидностей воды субъективно как-то хочется отнести к подмножеству телевизионных чудес.

Тем не менее – признавая существование разновидностей водорода, необходимо признать аналогичные возможности у молекулы воды. Спины двух протонов могут быть ориентированы в одном направлении, а могут – навстречу друг другу. В 80-е годы исследованиями ядерных спиновых изомеров воды начали заниматься в ФИАНе [1,2]. Было показано, что эти изомеры можно отличать по инфракрасным спектрам и спектрам ЯМР. Также оказалось, что пара- молекулы, в отличие от своих орто-аналогов не обладающие моментом количества движения, гораздо активней адсорбируются на некоторых типах поверхностей. Это, в свою очередь, позволяет создавать образцы воды, обогащенные тем или иным изомером.

Что любопытно: оказалось, что благодаря очень слабому взаимодействию ядерных спинов с окружением процессы взаимопревращения орто- и парамолекул чрезвычайно медленные. Время орто-пара конверсии в жидкой воде составляет порядка часа, а во льду может достигать нескольких месяцев. Так что если бы сказочный Иван-царевич смог набрать орто- и пара- воду в два ведерка, то на своем Сером Волке он точно бы успел их довести почти без изменения в тридевятое царство. А вот откуда берется такое большое время – до сих пор не совсем понятно, потому что время протон-протонного обмена между молекулами на много порядков короче.

Но – сказка сказкой, а наука занимается своим делом. Чтобы что-то изучать, в первую очередь нужен обособленный объект исследования.

Группа исследователей из Israel Institute of Technology (Technion) в Хайфе выполнила эксперимент по разделению ядерных спиновых изомеров воды [3]. В отличие от ранее проводившихся опытов с адсорбцией, они использовали идею классического эксперимента, с помощью которого когда-то был открыт спин – идею широко известного т.н. “опыта Штерна-Герлаха”. Правда, магнитный момент ядер водорода (протонов) на три порядка слабее, чем магнитный момент электронов, так что о простом повторении классиков речь не шла. К тому же сама постановка задачи – получить некоторое количество отделенного изомера – требовала иной конфигурации эксперимента.

Так же, как ранее классики, исследователи из Израиля применили градиентное магнитное поле, но

сделали это поле цилиндрически симметричным, с малым градиентом в середине и большим по краям. Такое поле действовало на частицы с магнитным моментом подобно линзе и должно было собрать в “фокусе” молекулы с определенным магнитным моментом.

Правда, пришлось преодолеть еще одну трудность – молекулы слишком быстро пролетали магнитную линзу и поэтому слабо отклонялись полем. Эту проблему удалось решить, смешав в пучке молекулы воды с атомами ксенона. Ксенон – тяжелый газ, и в результате столкновений с его молекулами молекулы воды теряли скорость.

В итоге в “фокусе” градиентной магнитной линии, примерно в полутора метрах от нее, действительно собрались молекулы практически одного сорта. Пучок содержал 97% орто-изомера воды и всего 3% молекул в пара-состоянии.

Авторы указывают, что очевидным эффективным применением орто-воды должно быть ее использование в ЯМР экспериментах. Для наблюдения ЯМР необходимо создать преимущественную ориентацию ядерных спинов, для чего обычно приходится применять сильные магнитные поля и низкие температуры. Используя метод, близкий к тому, что описан в статье, можно получить спиново-обогащенные препараты, что позволит применять хорошо разработанные методы ЯМР-исследований там, где ранее это было недоступно.

*М. Компан*

1. A.A.Volkov et al., *Infrared Physics* **25**, 369 (1985).
2. V.I.Tikhonov, A.A.Volkov, *Science* **296**, 2363 (2002).
3. T.Kravchuk et al., *Science* **331**, 319 (2011).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Юбилейные мероприятия, посвященные 80-летию со дня рождения академика Ю.А.Осипьяна, 14 – 16 февраля 2011 г., Черноголовка**

### Программа

14 - 15 февраля

Конкурс молодых ученых на право получения стипендии имени академика Ю.А.Осипьяна

16 февраля

Торжественное заседание Ученого Совета ИФТТ РАН, посвященное 80-летию выдающегося ученого и организатора отечественной науки академика Ю.А.Осипьяна

Выездное заседание бюро ОФН РАН

Web: <http://issp3.issp.ac.ru/docs/programm80.doc>

### Научная сессия ОФН РАН

**“Электромагнитные и акустические волны в метаматериалах и структурах”**

**24 февраля 2011 г.,**

(10-00, ФИ им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский просп., 53, конференц-зал)

### Программа

В.Г. Веселаго (ИОФ РАН) - Волны в метаматериалах: их роль в современной физике

В.А. Буров, В.Б. Волошинов, К.В. Дмитриев, Н.В. Поликарпова (МГУ) - Акустические волны в метаматериалах, анизотропных кристаллах и структурах с аномальным преломлением

А.Б. Шварцбург (ИВТАН), Н.С. Ерохин (ИКИ РАН) - Резонансное туннелирование сверхкоротких электромагнитных импульсов в градиентных метаматериалах: парадоксы и перспективы

В.Г. Петников (ИОФ РАН), А.А. Стромков (ИПФ РАН) - Фокусировка низкочастотных звуковых полей на океанском шельфе

А.Г. Лучинин, А.И. Хилько (ИПФ РАН) - Маломодовая акустика мелкого моря

И.Б. Есипов (Научный Совет по акустике РАН) - Основные результаты 2010 г. в области акустики, представленные на Сессии Совета РАН

Web: <http://www.gpad.ac.ru/>

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

Ответственный редактор: И.Чугуева, e-mail: [irina@issp.ras.ru](mailto:irina@issp.ras.ru)

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>