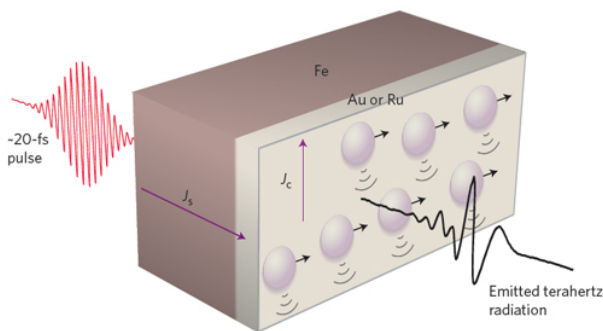


В этом выпуске:

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Магнитные гетероструктуры, спиновые токи и терагерцовое излучение

Одна из задач, стоящих перед разработчиками спинтронных устройств, заключается в создании методик генерации и контроля быстро осциллирующих спиновых токов. В работе [1] шведские и немецкие ученые предложили использовать для этой цели слоистые гетероструктуры Fe/немагнитный металл (см. рис.).



Гетероструктура из слоев Fe (10 нм) и Au или Ru (2 нм)  
 $J_s$  – спиновый ток,  
 $J_c$  – зарядовый ток.

При воздействии лазерного импульса с длиной волны 800 нм (энергия фотонов 1.55 эВ) и длительностью 20 фс распределение электронов в гетероструктуре становится неравновесным. Причем из-за спин-зависимости зонной структуры Fe поляризованные по спину электроны возбуждаются в зону с высокой подвижностью носителей, а электроны с противоположным направлением спина – в зону с низкой подвижностью, и в результате такой асимметрии возникает диффузионный спиновый ток. Спин-орбитальное взаимодействие приводит к искривлению траекторий движения электронов и возникновению поперечного зарядового тока за счет обратного спинового эффекта Холла. Зарядовый ток усиливается в присутствии немагнитного металла и является источником терагерцового излучения. Для практического использования этого излучения нужно существенно увеличить амплитуду сигнала.

*По материалам заметки R.D. Averitt, "Getting current pulses under control", Nature Nanotech. 8, 232 (2013)*

*I. T. Kampfrath et al., Nature Nanotech. 8, 256 (2013).*

## ГРАФЕН

### Искривление поверхности: графен и нитрид бора

В работе [1] представлены результаты компьютерного моделирования нанолент графена и нитрида бора с дефектами. Авторы провели расчеты для образцов, содержащих порядка сотни атомов и допированных по краям водородом ( $C_{89}H_{28}$ ,  $C_{113}H_{30}$ ,  $B_{45}N_{44}H_{28}$ ,  $B_{47}N_{46}H_{26}$ ), которые имели границы типа "зигзаг" и "кресло". Роль дефектов играли одиночные вакансии (отсутствие одного атома углерода или азота), а также атомы фтора, которые исследователи присоединяли к расположенным в центре графеновых нанолент атомам углерода. Все расчеты авторы проводили в рамках теории

И далее ...

- 2 Теплопроводность функционализированного графена

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 3 Суперпарамагнетизм под напряжением

## МАГНИТЫ

- 3 Странное влияние магнитного поля на кристаллы

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Новый метод определения токсичности углеродных нанотрубок

- 7 Водопровод из углеродных нанотрубок

Проводящая губка из композита полимер-нанотрубки

## ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 8 Кремниевая квантовая электроника

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Семинар Научного совета РАН по физике конденсированных сред, 23 мая 2013г.

- 9 XIX Международная конференция по постоянным магнитам (МКПМ-2013), 23 - 27 сентября 2013 г., г. Суздаль, Россия

функционала плотности с помощью программного пакета GAUSSIAN на мощном вычислительном кластере. В процессе структурной релаксации (методика заключается в том, что соответствующая исходная конфигурация под действием только внутрискластерных сил релаксирует в состояние, отвечающее минимуму энергии) оказалось, что наноленты с минимальной энергией уже не являются плоскими и сильно искажаются (см. рис. 1 и 2).

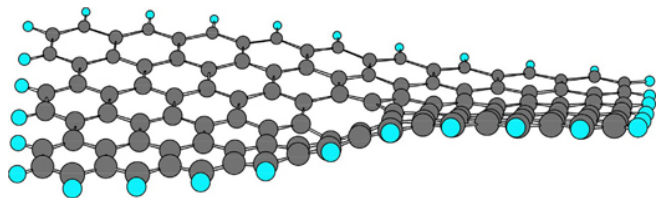


Рис. 1. Графеновая нанолента с поперечными границами типа “кресло”, содержащая углеродную вакансию (структура с минимальной энергией)

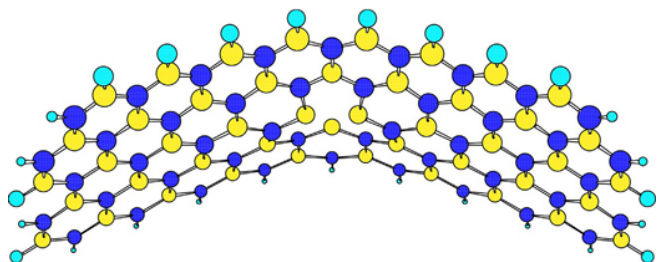


Рис. 2. Нанолента нитрида бора с поперечными границами типа “кресло”, содержащая азотную вакансию (структура с минимальной энергией)

Таким образом, дефекты и точечное допирование значительно влияют не только на электронные свойства (например, на ширину запрещенной зоны), но и на морфологию образца, что, по мнению авторов, необходимо дополнительно учитывать при конструировании различных нанoeлектронных устройств.

*М.Маслов*

1. M. Miller et al., *Chem. Phys. Lett.* (2013),  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cplett.2013.03.051>.

### Теплопроводность функционализированного графена

Как известно, графен обладает уникальными электронными характеристиками (высокая подвижность носителей в сочетании с нулевой шириной запрещенной зоны). Наряду с этим, графен представляет интерес как материал с хорошими термоэлектрическими характеристиками, при этом величина и знак коэффициента Зеебека могут контролироваться за счет приложенного напряжения смещения. Возможность использования того или иного материала в качестве основы термоэлектрического устройства характеризуется термоэлектрической эффективностью  $ZT = S^2 \sigma T / \kappa$ , где  $S$  – коэффициент Зеебека,  $\sigma$  – электропроводность, а  $\kappa$  – теплопроводность. Отсюда видно, что хотя коэффициент Зеебека для чистого графена достаточно велик ( $S \sim 100$  мкВ/К), эффективность этого материала, обладающего рекордной теплопроводностью, не может быть высо-

кой. Существенно более низкой теплопроводностью обладают производные графена, т.е. материалы, полученные в результате его функционализации. Поскольку функционализация графена обычно сопровождается также падением электропроводности, вопрос о влиянии функционализации на термоэлектрическую эффективность материала требует детального исследования. Такое исследование было выполнено группой специалистов [1] (США, Южная Корея). В качестве объекта исследования были выбраны фрагменты графена со структурой, показанной на рис. 1. Типичный размер ячейки составлял 5 нм.

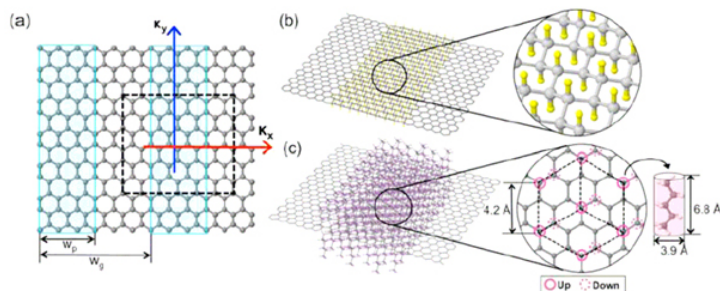


Рис. 1. *a* – Структура фрагмента функционализированного графена, рассмотренного в расчетах (синим цветом показана область, подвергнутая функционализации, черным квадратом отмечена единичная ячейка, принятая в расчетах методом молекулярной динамики); *b* – образец графена, функционализированный водородом с двух сторон; *c* – образец графена, функционализированный с двух сторон цепочками пентана ( $C_5H_{12}$ ).

Зависимость теплопроводности от степени функционализации фрагментов графена вычисляли методом молекулярной динамики (МД), реализованного в одной из коммерческих программ. Степень функционализации определяли как долю площади функционализированного участка  $W_p$  от полной ширины фрагмента  $W_g$ . Результаты расчетов показаны на рис. 2.

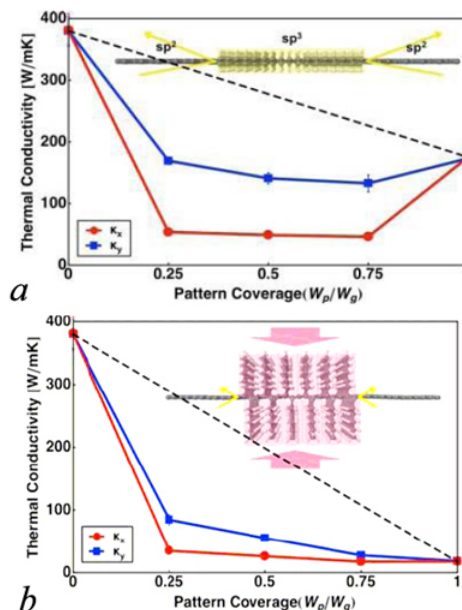


Рис. 2.

Как видно, функционализация графена приводит к существенному снижению теплопроводности этого материала. Это обусловлено тем, что функционализированные атомы углерода представляют центры рассеяния для акустических фононов, определяющих теплопроводность материала. В случае полной функционализации образец вновь оказывается однородным, что объясняет наличие возрастающего участка вычисленной зависимости для случая функционализации водородом. Такой участок, однако, отсутствует при функционализации цепочками пентана, поскольку в этом случае основной вклад в теплопроводность вносят эффекты, связанные с изменением массы атомов. Этот вывод подтверждается результатами модельных расчетов, в которых для функционализации использовали фиктивные атомы водорода с массой, равной массе цепочки пентана.

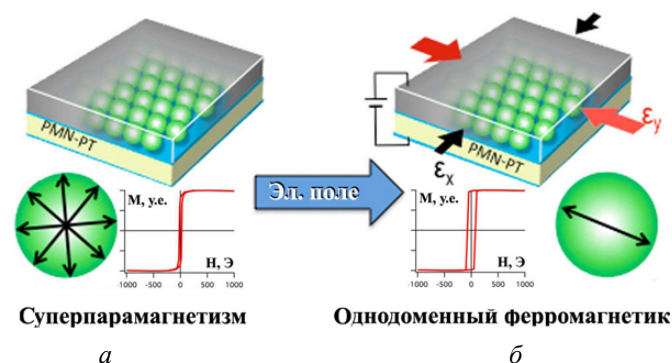
*А.Елецкий*

*1. J.Y. Kim et. al., ACS Nano 6, 9050 (2012).*

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

### Суперпарамагнетизм под напряжением

Суперпарамагнетизм – магнитное состояние вещества, наблюдающееся в ферромагнитных и ферри-магнитных наночастицах, при котором магнитный момент частицы случайным образом меняет направление под влиянием тепловых флуктуаций. В этом отношении магнитная наночастица подобна атому в парамагнетике, но с гигантским магнитным моментом, что объясняет название явления. Суперпарамагнетизм является одним из основных факторов, препятствующих увеличению плотности записи магнитной информации, и технологи используют различные ухищрения, чтобы отодвинуть температурную границу суперпарамагнитного состояния в область температур намного выше комнатных. Ученым из Univ. of California, Los Angeles (США) удалось приручить это явление, управляя им с помощью электрического напряжения [1].



Переход системы наночастиц Ni на пьезоэлектрической подложке из суперпарамагнитного состояния в ферромагнитное: а – слабоферромагнитное состояние с коэрцитивной силой меньше 20 Э в отсутствие электрического и механического напряжений; б – переход в ферромагнитное состояние с коэрцитивной силой 80 Э.

Частицы никеля размером 16 нм осаждали на пьезоэлектрическую подложку (твердый раствор  $[\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3]_{(1-x)}-[\text{PbTiO}_3]_x$ ) и покрывали сверху слоем платины. Под действием электрического напряжения (напряженность поля при этом достигала 4 кВ/см) подложка из пьезоэлектрика деформировалась, вызывая механические напряжения в наночастицах, и приводя к изменению их эффективной магнитной анизотропии. В результате частицы переходили из суперпарамагнитного состояния в ферромагнитное с осью легкого намагничивания вдоль направления, задаваемого деформацией  $\epsilon_y$  (см. рис.). При этом температура блокировки  $T_B$ , находящаяся для частиц данного размера вблизи комнатной, сдвигалась на 40 градусов выше (при  $T_B$  время релаксации намагниченности становится меньше характерного времени измерений, которое обычно полагается равным 100 с). Таким образом, авторами [1] была продемонстрирована возможность электрического “включения” и “выключения” ферромагнетизма, что может найти применение всюду, где требуется магнитоэлектрическое преобразование. Например, в магнитных устройствах записи информации возможность управления положением температуры блокировки может, с одной стороны увеличить время хранения информации, делая материал магнито жестким, с другой – облегчить запись информации, “размягчая” его в заданный момент.

*А.Пятаков*

*1. H.K.D. Kim et. al., Nano Lett. 13, 884 (2013).*

## МАГНИТЫ

### Странное влияние магнитного поля на кристаллы

За последние 20 лет вышло более 200 статей о влиянии магнитного поля с индукцией 0.1–30 Тл (как импульсного, так и постоянного) на различные свойства целого ряда материалов (полимеров, диэлектриков, полупроводников, металлов и др.). В некоторых случаях авторы считают механизмы влияния поля на некоторые свойства более или менее ясными. Например, группы В.И. Альшица (ИК РАН) [1] и Ю.И. Головина (ТГУ) [2], исследовавшие магнитопластичность ионных кристаллов, придерживаются единой точки зрения о том, что магнитное поле в них влияет на спин-зависимые реакции между парамагнитными дефектами. Похожие идеи обсуждаются и в работах с участием В.В. Кведера (ИФТТ РАН) [3] и А.Л. Бучаченко (ИПХФ РАН) [4], где авторы пытаются распространить “спиновые” представления на полупроводниковые кристаллы.

Однако в литературе имеется множество примеров, когда необходимые условия возникновения спин-зависимых реакций заведомо не выполняются. Например, магнитное поле влияет на свойства металлов (микротвердость алюминия, бронзы, висмута и

др., в которых короткие времена спиновой релаксации полностью исключают влияние магнитного поля на спин-зависимые реакции), а также на свойства полимеров (не содержащих радикалов или частиц со спинами). Другой пример – влияние магнитного поля на “состаренные” кристаллы, в которых не протекают никакие процессы и реакции, а потому магнитному полю не на что влиять.

Трудно поверить, что спин-зависимые реакции, столь “капризные” и нуждающиеся в выполнении целого ряда специальных условий и приводящие в химии обычно к эффектам на уровне нескольких процентов, могли бы реализовываться с такой легкостью во всех типах материалов, где о них упоминают как об основном механизме, объясняющем магнитные эффекты. Несмотря на это обстоятельство, многие авторы автоматически присваивают наблюдаемым эффектам “спин-зависимое происхождение”, зачастую затрудняясь назвать даже тип частиц, обладающих спином.

Нужно признать, что среди работ разных авторов имеется обширный массив спекулятивных, некачественно выполненных исследований, которые иногда трудно распознать из-за вполне наукообразной формы подачи материала. Примером таких работ могут служить статьи [5], [6], [7], в которых сообщается о влиянии магнитного поля электромагнита

на микротвердость кальциевых солей [5, 6] и спектры отражения полупроводника [7].

Странным обстоятельством, объединяющим все упомянутые исследования, является то, что магнитное поле с индукцией  $\sim 1$  Тл изменяет на 10-100% механические, оптические и другие свойства кристаллов, вопреки тому, что энергия, передаваемая электронным спинам (если они есть) на два порядка величины меньше энергии термических флуктуаций  $\sim kT$  при комнатной температуре, при которой и было выполнено большинство экспериментов. Сама постановка опытов, как правило, одинакова. Сначала измеряют какое-либо свойство кристалла (микротвердость, оптический спектр и т.п.), затем помещают его в магнитное поле (чаще всего  $\sim 0.1-1$  Тл, в силу доступности такого поля), выдерживают длительное время (обычно счет идет на часы и даже дни), а затем снова измеряют свойства кристалла. Обычно находят различие в опытах “до” и “после” поля для самых разнообразных твердых тел и полимеров.

Например в [7] сообщается об изменении спектров отражения кристаллов GaAs (рис. 1). Удивительным и трудно объяснимым кажется то, что изменения, доступные наблюдению, наступают на 60-ый! день после выдержки кристалла в магнитном поле (рис.1).

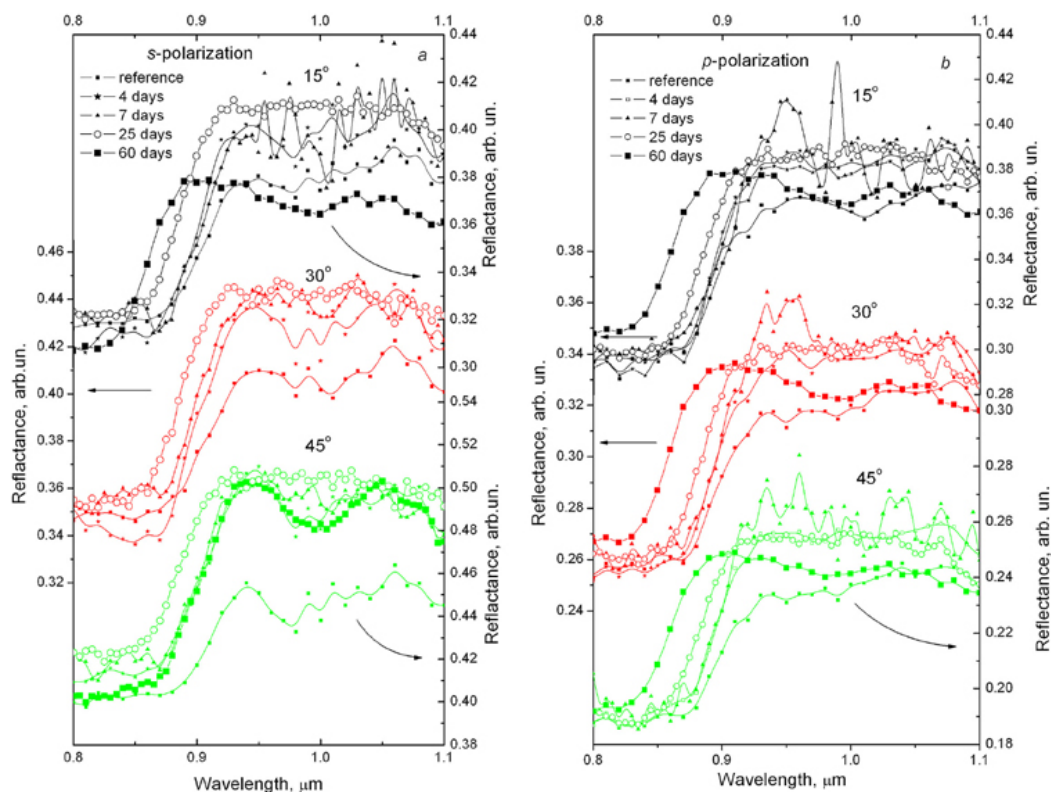


Рис. 1. Изменение спектров отражения кристаллов GaAs под действием магнитного поля при двух различных поляризациях падающего света и нескольких значений угла падения. Время, прошедшее после приложения магнитного поля, указано в левом верхнем углу [7].

Кроме того, были исследованы свойства поверхности с помощью электронного микроскопа (рис. 2). При этом не приводятся снимки, сколь либо обзорной картинке, или одного и того же участка кристалла, а показаны лишь “типичные” участки, т.е. выбранные по желанию автора. Это, конечно, снижает доверие к результатам. Ведь в статье ничего

не говорится о том, что кристаллы были как-то подготовлены к эксперименту, что в них шла какая-либо реакция, на которую может повлиять магнитное поле. Значит, это были состаренные кристаллы, в которых магнитному полю влиять решительно не на что...

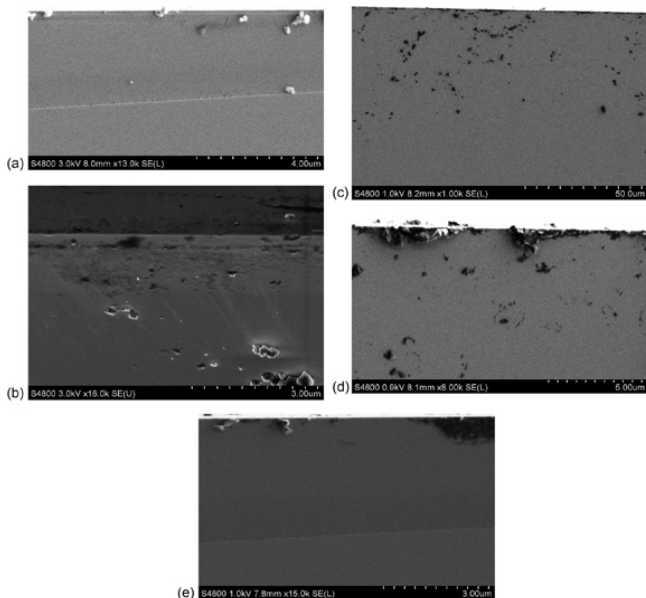


Рис. 2. Электронно-микроскопические фото поверхности GaAs до (a) и после (b, c, d, e) воздействия магнитного поля на кристалл. “Типичные” фрагменты [7].

Еще более загадочными представляются работы [5, 6]. В них магнитное поле прикладывалось еще на стадии роста кристаллов кальциевых солей ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CaCO}_3$ ). Помещение ростового раствора между полюсами магнита приводило к тому, что вырастающий кристалл менял свою микротвердость по сравнению с контрольным образцом, выросшим без магнитного поля (рис. 3).

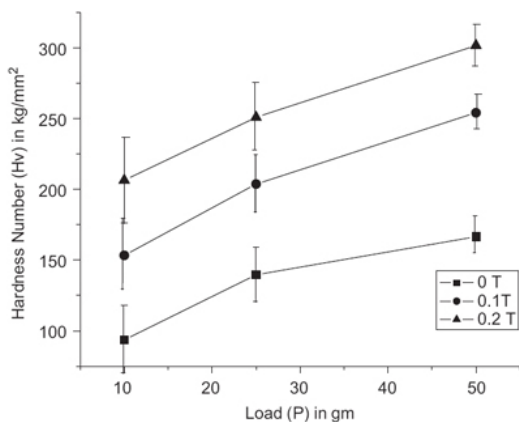


Рис. 3. Зависимость микротвердости образца  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , выращенного в магнитном поле различной величины (индукция указана на рисунке) от нагрузки при микроиндентировании [5].

Авторы [5] полагают, что под действием магнитного поля изменяется “передача протонов между кислотным остатком и водной молекулой из-за изменения ориентации ядерных спинов”. Очевидно, что в такой интерпретации, энергия, сообщаемая ядерному спину, составляет  $10^{-5}$  от средней энергии термических флуктуаций. Это делает гипотезу авторов нереалистичной, а сам эффект – сомнительным. Удивительным представляется и то, что погрешность экспериментов оказалась менее 10 %, хотя фотография отпечатка индентирования явно указывает на интенсивное трещинообразование,

расслаивание материала и другие процессы, являющиеся, как правило, причиной большого разброса при измерении микротвердости (рис. 4).

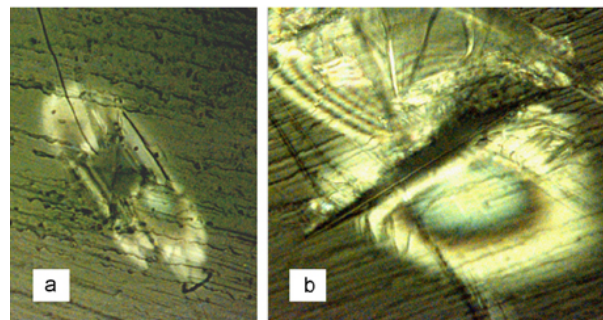


Рис. 4. Фото поверхности образца  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , выращенного в магнитном поле, после микроиндентирования [5].

Таким образом, существует большое количество работ о влиянии магнитного поля на свойства твердых тел. Однако, некоторые из них не вызывают доверия и тем самым бросают тень на те исследования, которые выполнены на высоком профессиональном уровне. Тут явно требуется отделить зёрна от плевел.

*О.Коплак*

1. V.I.Alshits et al., *Dislocations in Solids* **14**, 333 (2008).
2. Ю.И.Головин, *Изв. РАН. Серия физическая* **67**, 769 (2003).
3. М.В.Бадылевич и др., *ЖЭТФ* **124**, 664 (2003).
4. A.L.Buchachenko, *J. Phys. Chem. B* **117**, 2231 (2013).
5. A. Ruban Kumarn, *J. Phys. Chem. Solids* **71**, 1411 (2010).
6. C.I.Y.Tai et al., *Chem. Eng. Sci.* **63**, 5606 (2008).
7. R.Red'ko, *J. Appl. Phys.* **112**, 073513 (2012).

## ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

### *Новый метод определения токсичности углеродных нанотрубок*

Ученые из Trinity College Dublin (Ирландия) при участии коллег из Univ. Paris 11 (Франция) предложили новый метод определения токсичности наноматериалов на ранних стадиях [1]. Пока речь идет об одностенных углеродных нанотрубках (ОСНТ). Их воздействию на живые организмы посвящено много исследований, об основных из которых сообщалось в ПерсТе [2]. Как правило, считается, что главными причинами вредных эффектов являются окислительный стресс (обусловленный самим наноматериалом или примесями переходных металлов) и воспалительный отклик. Новый подход к определению токсичности ОСНТ, предложенный в [1], основан на процессе цитруллинирования (то есть формировании белков, содержащих цитруллин\*). Ранее авторы [1] продемонстрировали, что некоторые наноматериалы (в том числе ОСНТ) вызывают цитруллинирование белков, а это может привести к возникновению аутоиммунных заболеваний, например, ревматоидного артрита [3]. В новой работе исследователи изучили воздействие ОСНТ на макрофаги (THP-1) и легочные эпители-

альные клетки (A549). ТНР-1 часто используют в исследованиях *in vitro* как модель фагоцитов\*\*, удаляющих патогены и инородные частицы из легких, а А549 – как модель легочных клеток, не свя-

занных с воспалительными откликами. Эксперименты проводили с исходными нанотрубками и нанотрубками после очистки и функционализаций, типичных для биомедицинских целей (рис. 1).

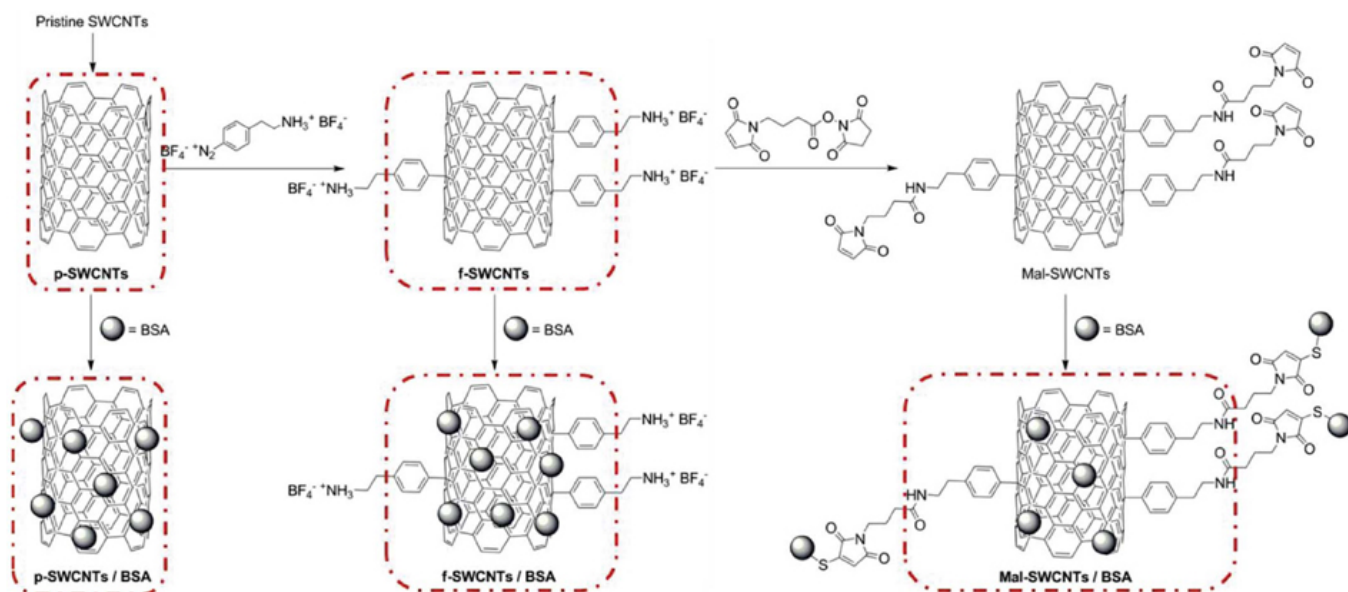


Рис. 1. Схема очистки и функционализации ОСНТ. В рамках показаны нанотрубки, которые использовали в экспериментах [1]. BSA – бычий сывороточный альбумин

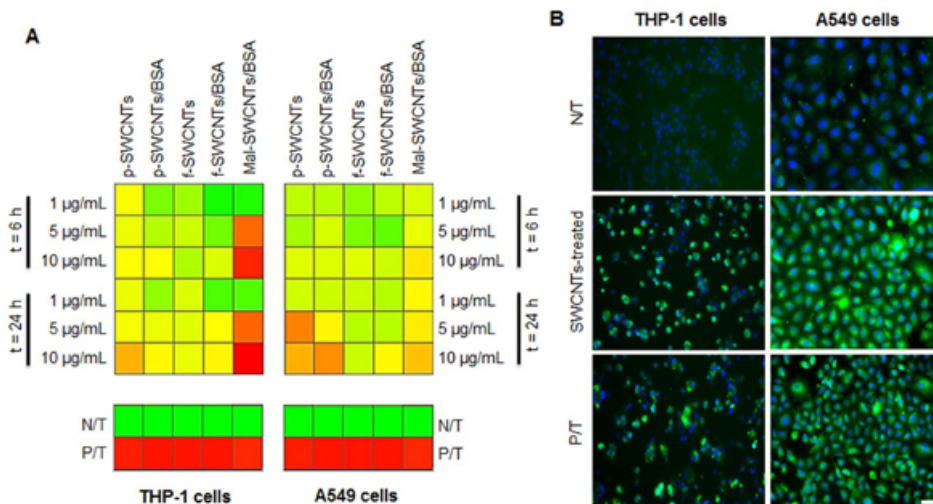


Рис. 2. А – Уровни цитруллинирования в клетках ТНР-1 и А549 после воздействия исходных и модифицированных ОСНТ в течение 6 и 24 ч. Ярко-зеленый цвет соответствует уровню <15% максимальной величины, светло-зеленый – 30%, желтый – 50%, светло-оранжевый – 60%, ярко-оранжевый – 75%, красный – >75%. В – Флуоресцентные изображения клеток после 24 ч воздействия p-SWCNT. Шкала 40 мкм. (Цитруллин – зеленый цвет, ядра – голубой). N/T – клетки без воздействия, P/T – после воздействия фермента PAD (пептидил-аргинин деминазы).

При воздействии углеродных нанотрубок на клетки появляются признаки цитруллинирования, которые усиливаются при увеличении времени воздействия и дозы (рис.2). По мере усложнения функционализации ОСНТ количество белков, содержащих цитруллин, снижается (исключение – Mal-SWCNT/BSA). На рис. 2. показаны также уровни цитруллинирования в клетках, не подвергшихся никакому воздействию (N/T) и в клетках после воздействия фермента пептидил-аргинин деминазы (P/T), вызывающего образование цитруллина в белках.

Обычно белки, содержащие цитруллин, обнаруживают при воспалительных процессах. Авторами [1] впервые получен важный результат – ОСНТ вызывают цитруллинирование в легочных клетках до появления каких-либо детектируемых воспалительных эффектов. Таким образом, цитотоксичность нанотрубок в отношении эпителиальных клеток легкого обусловлена активированием клеточного механизма, не связанного с воспалениями. Основной вывод исследований – цитруллинирование может быть использовано для выявления токсичности наноматериалов на очень ранних стадиях.

\*Цитруллин (от лат. *citrullus*, родового наименования арбуза, из которого он был выделен впервые) –  $\alpha$ -аминокислота. Цитруллин не может быть инкорпорирован в белок в процессе его синтеза, а образуется в результате воздействия группы ферментов пептидил-аргинин деиминаз (PAD) на аминокислотные остатки аргинина (основной аминокислоты) некоторых белков. Цитруллинирование белков хорошо известно ревматологам. В крови больных ревматоидным артритом были выявлены антитела к белкам, содержащим цитруллин. Это позволило разработать новый эффективный метод диагностики на очень ранних стадиях.

\*\*Фагоциты – (от греч. *Phágos* – пожиратель) – клетки иммунной системы, которые защищают организм путём поглощения (фагоцитоза) вредных чужеродных частиц, бактерий. Роль фагоцитов впервые была определена И.И. Мечниковым в 1882 г.

О.Алексеева

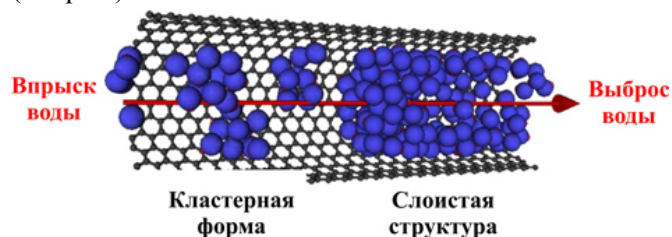
1. В.М.Мохамед et al., *Sci. Rep.* **3**, 1124 (2013).

2. *ПерсТ* **18**, вып. 10, с. 5 (2011).

3. В.М.Мохамед et al., *Nanomedicine* **7**(8), 1181 (2012).

### Водопровод из углеродных нанотрубок

Бесспорно, появление водопровода значительно улучшило качество жизни людей. Известно, что история первой системы водоснабжения (или акведука) уходит корнями в Древний Рим. Однако новый век диктует внедрение в устоявшийся быт высокотехнологичных решений, поэтому в недалеком будущем привычные металлические или полимерные трубы, скорее всего, заменят вездесущие наноматериалы. Может быть, это будут углеродные нанотрубки? Ведь исследования их взаимодействия с водой уже активно ведутся. Так, научный коллектив из Японии рассмотрел механизм транспорта молекул воды в полости одностенной углеродной нанотрубки [1]. С помощью компьютерного моделирования методом Монте-Карло и рентгеновской дифракции авторам удалось определить структуру и оценить устойчивость молекулярных комплексов  $H_2O$  при вводе воды в нанотрубку и на выходе из нанотрубки (см. рис.).



Схематическое изображение транспорта молекул воды внутри одностенной углеродной нанотрубки.

Оказалось, что при загрузке воды происходит формирование плотных кластеров, в то время как на выходе из канала авторы наблюдали слоистую структуру: первый, второй и третий слои воды позицио-

нировались на расстоянии 0.65, 0.4 и 0.1 нм от центра нанотрубки, соответственно. При этом кластеры обладали большей стабильностью, то есть водородные связи между молекулами оказываются сильнее при внедрении воды в нанотрубку, чем при ее выводе. По мнению авторов, такое изменение устойчивости у различных водных “форм” позволит с легкостью транспортировать воду по углеродным нанотрубкам, что приведет к возможному созданию наноразмерных насосов или гидравлических механизмов.

М.Маслов

1. T.Ohba et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **4**, 1211 (2013).

### Проводящая губка из композита полимер-нанотрубки

Как известно, композиты на основе полимерного материала с небольшой (на уровне 1%) присадкой углеродных нанотрубок (УНТ) сочетают в себе свойства полимеров, такие как упругость и гибкость, с такими свойствами нанотрубок, как электропроводность и способность поглощать электромагнитное излучение. В настоящее время разработано и исследовано множество подобных композитов, которые отличаются друг от друга электрическими, механическими и оптическими характеристиками, в зависимости от типа полимерной матрицы, параметров нанотрубок и условий получения. Обычно композитные материалы такого рода представляют собой плотную структуру, однако недавно группе исследователей [1] (США) удалось создать высокопористый проводящий материал со структурой губки. В качестве полимерной основы авторы использовали полидиметилсилоксан (ПДМС), обладающий высокой пористостью.

Для получения полимерной матрицы использовали консервирующую присадку (10%), а в качестве каркаса – кусок сахара размером  $1 \times 1 \times 1 \text{ см}^3$ . Благодаря действию капиллярных сил смесь ПДМС с консервирующей присадкой полностью впитывалась в сахар в течение 10 мин. Затем образец в течение 2 ч выдерживали в горячей воде и обрабатывали ультразвуком, что приводило к растворению сахара. На полученный таким образом высокопористый образец, подвергаемый механическому сжатию, наносили каплю раствора однослойных УНТ, функционализированных радикалом –  $COOH$ , в ПДМС. После снятия нагрузки раствор, содержащий нанотрубки, проникал в поры образца, который затем просушивали в вакуумной камере. Все это приводило к формированию упругой гибкой проводящей губки с порами размером от 200 до 800 мкм. Механические испытания образца такой губки показали, что ее сжимаемость в широком диапазоне изменения нагрузки достигает 90%. Измеренная зависимость относительного сжатия от нагрузки показана на рис. 1. Изменение характера этой зависимости при превышении степени сжатия 0.7 связано с изменением структуры образца, который при таких сжатиях

проявляет тенденцию к сморщиванию поверхности “в гармошку”.

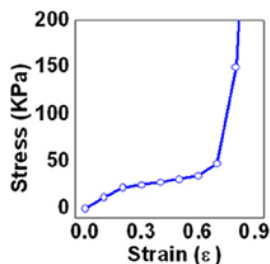


Рис. 1. Зависимость относительного сжатия образца композита от нагрузки.

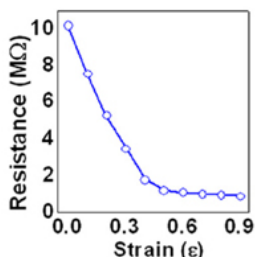


Рис. 2. Зависимость сопротивления образца от относительного сжатия

При сжатии образца находящиеся в нем нанотрубки приходят в соприкосновение, что вызывает появление проводимости (рис. 2). Отсутствие гистерезиса на этой зависимости и ее монотонный характер указывают на возможность использования рассматриваемого композитного материала в качестве датчика сжатия. Кроме того, данный материал может быть использован в электромеханических системах, преобразующих зависящее от времени механическое напряжение в электрический сигнал. На рис. 3 показаны вольт-амперные характеристики образца, измеренные при отсутствии сжатия ( $\epsilon = 0$ ) и при  $\epsilon = 0.6$ . Линейный вид этих зависимостей указывает на металлический либо квазиметаллический характер проводимости синтезированного материала. Приведенные на рис. 2 и 3 зависимости имеют обратимый характер и не проявляют признаков деградации материала при многократном использовании.

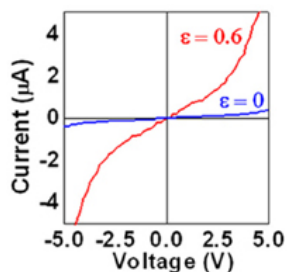


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики образца, измеренные при отсутствии сжатия ( $\epsilon = 0$ ) и при  $\epsilon = 0.6$

Исследования показывают, что синтезированный композитный материал обладает свойством гидрофобности по отношению к полярным жидкостям, которое в случае воды характеризуется углом контакта  $141^\circ$ , превышающим соответствующую величину для ПДМС ( $127^\circ$ ). Наряду с этим, материал демонстрирует способность к отталкиванию льда, для которого угол контакта в точке замерзания составляет  $134^\circ$ . С другой стороны, материал хорошо смачивается неполярными органическими растворителями. Тем самым материал плавает в воде, но тонет в органических маслах и растворителях.

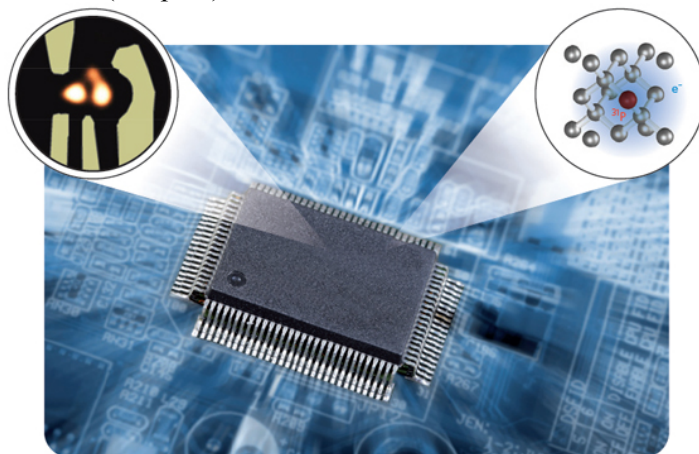
А.Елецкий

1. J.-W.Han, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 051903 (2013).

## ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

### Кремниевая квантовая электроника

Очередная, уже девятая по счету конференция “Silicon Quantum Electronics” состоялась 7-8 февраля 2013 г. во Франции. На ней обсуждался широкий круг вопросов, связанных с перспективами использования хорошо развитой кремниевой технологии для создания принципиально новых электронных и вычислительных устройств на основе квантовых систем (см. рис.).



Квантовые точки (слева) и примесные атомы (справа) в кремнии – основа квантовых электронных устройств нового поколения.

Этому в немалой степени способствует доступность кристаллов кремния чрезвычайно высокой чистоты (менее 50 изотопов  $^{29}\text{Si}$  на миллион атомов  $^{28}\text{Si}$ ), что позволяет сохранять когерентность электронных и ядерных состояний в течение очень длительного времени. Много докладов было посвящено различным вариантам спиновых и зарядовых кубитов, включая их приготовление, операции с ними (в том числе перепутывание) и измерение. Пожалуй, самым неожиданным и многообещающим представляется сообщение группы из Simon Fraser Univ. (Канада) о том, что время декогерентизации ядерных спинов доноров  $^{31}\text{P}$  в изотопически чистом кремнии может достигать одного часа (!) даже при комнатной температуре.

## КОНФЕРЕНЦИИ

### Семинар Научного совета РАН по физике конденсированных сред, 23 мая 2013г.

(14-00, Ленинский проспект 64а, 2й этаж, конференц-зал)

Программа:

А.М.Глезер (ФГУП ЦНИИчермет им. И.П.Бардина) - “Физика больших пластических деформаций”



**XIX Международная конференция по постоянным магнитам (МКПМ-2013), 23 - 27 сентября 2013 г., г. Суздаль, Россия**



**Тематика:**

- Физика магнитных явлений, процессы перемагничивания и структура магнитотвердых сплавов.
- Физические основы технологии изготовления постоянных магнитов.
- Магнитные измерения: физика, техника, метрология, сертификация.
- Расчёт и моделирование магнитных систем. Применение постоянных магнитов.
- Физические и физико-химические основы получения высокочистых материалов для постоянных магнитов. Переработка отходов производства постоянных магнитов.

**Контрольные даты:**

Предоставление тезисов – до **10 июня 2013 г.**

E-mail: [info@permanentmag.ru](mailto:info@permanentmag.ru)

Web: <http://www.permanentmag.ru>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издаётся совместной информационной группой  
ИФТТ РАН и НИЦ «Курчатовский институт»

Главный 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, О.Коплак,  
М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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