

В этом выпуске:

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Еще раз про магнитный углерод

Один из последних номеров *Nature Physics* возвращает нас к проблеме ферромагнитного углерода [1]. Собственно, проблема проста – откуда берется магнетизм в материале с *s*- и *p*-орбиталями, тогда как магнитные материалы – это обычно материалы с *d*- и *f*-электронами.

Следует признать, что проблема уже слегка поостыла. Авторы сами приводят целый список углеродных объектов, в которых (помимо графита) магнетизм уже наблюдался – преимущественно различные формы облученного углерода, в том числе облученные нанодиамагнеты. Так что сомнений в существовании эффекта, по-видимому, не осталось. Остаются неясными детали, механизмы, и в том числе то, действительно ли это общее явление или в каждом случае удачно сработал какой-то частный фактор.

Кстати, хочется добавить к коллекционному списку авторов еще один объект – тоже элемент четвертой группы из верхней части таблицы Менделеева – кремний, точнее его пористую форму. Если кто-то еще помнит, пористый кремний – это некое множество материалов, которые получали по разным технологиям из кремния. Они не прямые родственники материалам, которые исследуются в обсуждаемой статье, но имеют много существенных общих черт: отсутствие *d*- и *f*-электронов и очень высокая плотность дефектов. Лет пятнадцать назад, в эпоху, когда на гребне интереса оказался пористый кремний, а слово *графен* воспринималось как орфографическая ошибка, были опубликованы две работы, достаточно надежно зафиксировавшие ферромагнитный сигнал от двух типов пористого кремния [2,3]. Исследование оптических поляризационных эффектов также заставляет предположить существование в пористом кремнии достаточно сложного упорядочения [4]. С одной стороны, принципиальная возможность возникновения магнетизма в системе дефектов высокой плотности была понятна еще тогда, но устойчиво получать магнитные образцы не научились, и направление развития не получило.

Однако вернемся к обсуждаемой работе. Поскольку априори было понятно, что магнетизм возникает на структурных дефектах, был применен целый арсенал современных микроскопических методик. Помимо хорошо известного AFM, в распоряжении авторов статьи были MFM (магнито-силовая микроскопия) и EFM (электростатическая силовая микроскопия). Плюс, разумеется, SQUID, все-таки проводились магнитные исследования.

В результате авторам удалось уверенно показать, что магнетизм сосредоточен в границах кристаллических зерен графита, являющихся концентратом дефектов. При этом, как казалось, далеко не всякие дефекты способны обеспечить магнитный порядок. В частности, было показано, что дефекты на ступенчатой поверхности не несут магнитного момента, а дефекты, скрытые внутри графитовых слоев, как раз обладают магнетизмом. Для этого и понадобилась

И далее ...

2 Нульмерные долгожители

Крестиком или гладью:
как иглой микроскопа домены
вышивают

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

4 Делитель куперовских пар

Магнитные монополи
в спиновых льдах

НАНОМАТЕРИАЛЫ

5 Нанопорки

6 О водороде и
клатратных гидратах

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

7 Волны в графене

Непрерывный синтез
углеродных нанотрубок

КОНФЕРЕНЦИИ

8 44-ая Школа по физике
конденсированного состояния
(ФКС 2010) ПИЯФ РАН
15-20 марта 2010 г.

Workshop “Terahertz Radiation
and Metamaterials” (TeraMat09),
15 - 22 December 2009,
Barcelona, Spain

1st International Student Workshop
on Condensed Matter and Materials
Physics (ISWCMMMP-09),
27-31 December, 2009,
Antalya, Turkey

комбинация атомно-силовой микроскопии, чувствительной к рельефу, и магнитно-силовой микроскопии, чувствительной к градиенту поля. Окончательно уточнить локализацию магнитного момента удалось, перемагничивая кантилевер магнитно-силового микроскопа. Сила, действующая на кантилевер от намагниченного объекта, меняла знак при изменении знака остаточной намагниченности кантилевера. За счет этого, при неизменном режиме работы MFM, кажущийся рельеф вблизи границы графитового кристаллита инвертировался, что и являлось надежным доказательством обнаружения локализованных магнитных моментов.

Авторы обещают, что полученный результат расширит функциональность будущей графеновой электроники и нанотехнологии вообще. Впрочем, речь идет о магнетизме примерно 10^{-5} доли атомов образца, что должно давать магнитный вклад, сравнимый по величине с диамагнетизмом. Но все равно приятно.

М.Компан

1. J.Červenka et al., *Nature Phys.* **10**, advance online publication 4 October 2009.
2. P.Laiho et al., *J. Luminescence* **57**, 197 (1993).
3. J.Hack et al., *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **452**, 147 (1997).
4. М.Е.Компан и др., *ЖЭТФ* **117**, 368 (2000).

Нульмерные долгожители

Процессы безызлучательной релаксации электронов приводят к резкому ухудшению характеристик квантовых каскадных лазеров, работа которых основана на оптических переходах электронов между подзонами размерного квантования слоистых полупроводниковых гетероструктур (рис.1).

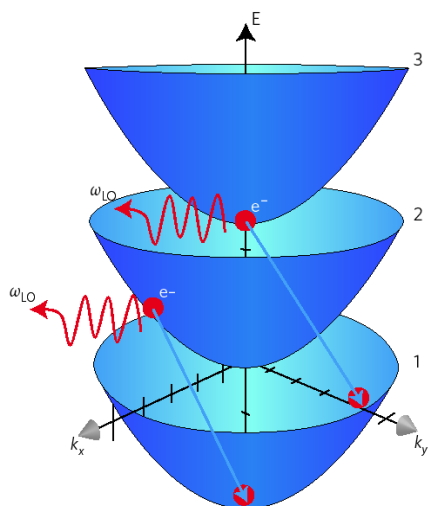


Рис.1. Релаксация электронов в двумерных полупроводниковых наноструктурах за счет переходов между подзонами размерного квантования при испускании продольного оптического фонона.

Характерные времена таких процессов, обусловленных испусканием или поглощением продольных оптических фононов, составляют $\tau \sim 1$ пс. Релакса-

ция мешает созданию инверсной заселенности и ведет к уменьшению минимального (порогового) тока накачки. Для решения этой проблемы в свое время было предложено вместо двумерных наноструктур (квантовых ям) использовать нульмерные (квантовые точки), в которых электронный спектр является строго дискретным (бездисперсионным). Если расстояние ΔE между энергетическими уровнями электрона в квантовой точке не совпадает с энергией оптического фонона ω_{LO} , то релаксация вообще невозможна. На практике все обстоит несколько сложнее: электроны и фононы формируют связанные состояния (поляроны), и величина τ оказывается конечной, хотя и существенно большей, чем в двумерии. В работе [1] экспериментально изучена зависимость τ от ΔE в системах самоорганизованных квантовых точек InGaAs с $\Delta E = (10 \div 30)$ мэВ, что отвечает терагерцовому диапазону лазерного излучения. Было обнаружено, что уменьшение ΔE от 30 мэВ до 15 мэВ (при увеличении размеров квантовых точек) ведет к резкому росту τ от ~ 1 пс до ~ 1 нс (рис.2). При дальнейшем понижении ΔE величина τ вновь уменьшается из-за изменения механизма релаксации. На пути к практической реализации терагерцовых лазеров на квантовых точках предстоит решить еще немало технологических вопросов. Но, по крайней мере, с точки зрения физики никаких препятствий здесь нет.

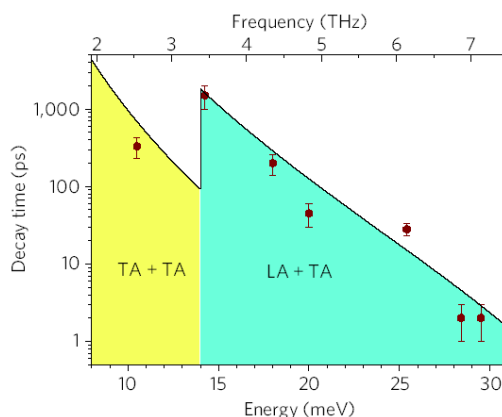


Рис. 2. Зависимость времени межподзонной релаксации электронов от расстояния между энергетическими уровнями квантовой точки. Разные цвета отвечают разным механизмам релаксации. Прямые линии – теория.

Л.Опенев

1. E.A.Zibik et al., *Nature Mater.* **8**, 803 (2009).

Крестиком или гладью: как иглой микроскопа домены вышивают

Мультиферроики – вещества, в которых сосуществует несколько видов упорядочения, скрывают в себе новые возможности для технологий записи информации, поскольку магнитные, сегнетоэлектрические и сегнетоэластические свойства в них взаимосвязаны. Однако научиться, скажем, управлять магнитным состоянием вещества при помощи электрического поля, да еще предсказуемым образом, не так просто.

Перст, 2009, том 16, выпуск 20

Дело в том, что из симметричных соображений, переключение электрической полярности не должно приводить к переключению магнитного параметра порядка, поскольку электрические и магнитные векторы имеют различные трансформационные свойства: первые меняют знак при операции пространственной инверсии, вторые – при инверсии времени.

Это фундаментальное ограничение можно преодолеть, если отказаться от понимания акта переключения как разворота магнитного или электрического вектора непременно на 180 градусов. При переориентации электрической поляризации на какой-то промежуточный угол ничто не запрещает магнитному вектору, в силу наличия магнитоэлектрической связи, повернуться следом за поляризацией, оставляя их взаимную ориентацию неизменной. Именно так еще в 2006 г. удалось продемонстрировать эффект электрического переключения магнитного состояния в пленках феррита висмута [1] (особо стоит отметить, что эффект наблюдался при комнатных температурах, что критично для приложений в электронике).

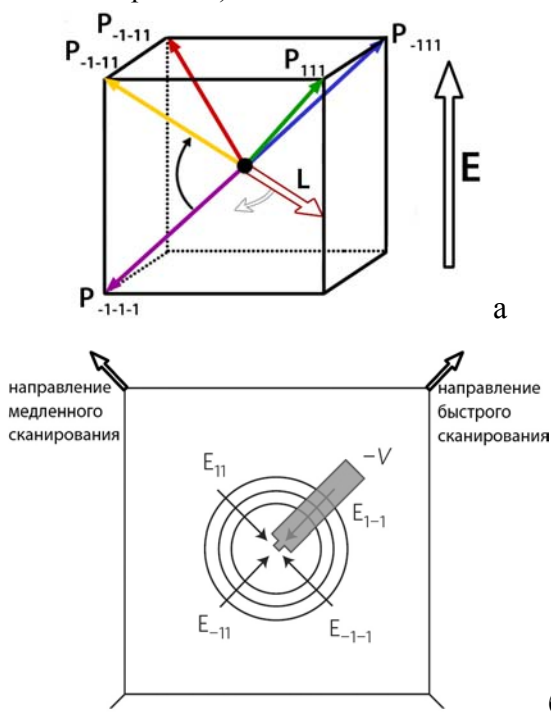


Рис. 1. *a* - Четыре возможных варианта переключения поляризации под действием электрического поля E в кубическом кристалле; *б* - выделение определенных направлений поляризации путем сканирования заряженным зондом с различной скоростью.

Однако проблема управляемого переключения была решена не полностью. Для практически важного случая планарного расположения электродов электрическое напряжение прикладывается перпендикулярно пленке (вертикальное направление на рис. 1а), в результате чего поляризация может переключиться в четыре равноценных по энергии положения. Среди этих четырех положений есть и такие, при которых магнитный вектор L , ориентирован-

ный перпендикулярно P , своего положения не изменит (например, поворот на 180 градусов от $[1-1-1]$ к $[-111]$). При этом выбрать нужное положение переключения в данной геометрии поля не представляется возможным. Такая неоднозначность, разумеется, препятствует дальнейшему развитию технологий записи в мультиферроиках.

В недавней публикации [2] американским ученым удалось преодолеть эту трудность с помощью использования в качестве электрода иглы зондового микроскопа (рис. 1б). Казалось бы, поле создаваемое острием, симметрично относительно вертикальной оси, и такое воздействие никак не может выделять какое-то одно направление из четырех представленных на рис. 1а. Однако сам процесс сканирования – построчного перемещения иглы над образцом – не изотропен, различаются прямой и обратный проход иглы (напряжение подается только при прямом проходе). Перемещение внутри одной строки и перемещение зонда между строками тоже может происходить по-разному, в частности с различной скоростью. При медленном проходе зонда за иглой образуется дорожка с ориентацией поляризации по полю $[-1,-1]$ (рис. 1б). При быстром проходе в перпендикулярном направлении образуются домены с направлением поляризации $[1,-1]$. Изменение направления сканирования или знака напряжения позволяет создавать самые различные доменные узоры (рис. 2, 3).

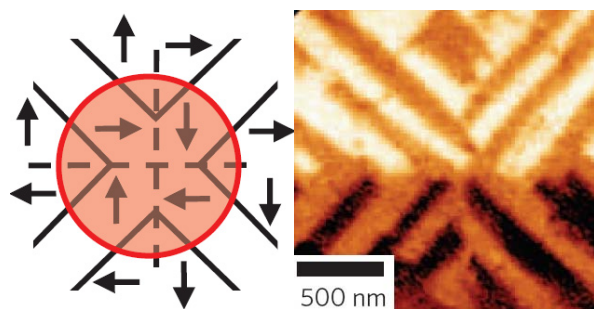


Рис. 2. Пример структуры сегнетоэлектрических доменов: *a* - схематическое изображение; *б* - изображение в пьезоэлектрическом силовом микроскопе (контраст соответствует горизонтальной компоненте вектора электрического поля)

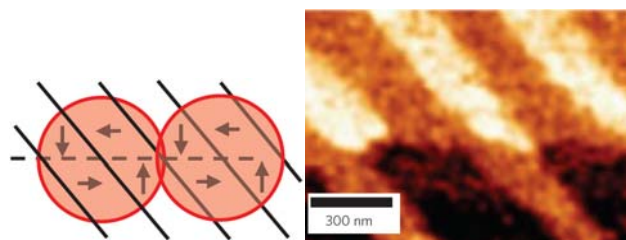


Рис. 3. Вихревое распределение вектора электрической поляризации: *a* - схематическое изображение; *б* - изображение сегнетоэлектрических доменов в пьезоэлектрическом силовом микроскопе (контраст соответствует горизонтальной компоненте вектора).

В частности, были получены структуры с вихревым распределением вектора электрической поляризации

(сейчас их все чаще называют тороидальными) (рис. 3). Достоинством этих структур является отсутствие полей рассеяния над образцом, что важно для технологий записи информации, поскольку влияние соседних записанных участков друг на друга является одним из основных факторов, ограничивающих повышение плотности записи информации.

А. Пятаков

1. T.Zhao et al., *Nature Mater.* 5, 823 (2006).

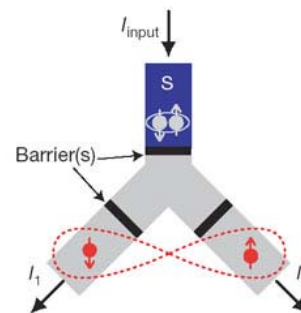
2. N.Balke et al., *Nature Nanotech.* 4, advance online publication 11 October 2009.

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Делитель куперовских пар

Нелокальность – фундаментальная особенность квантовой механики. Она проявляется в наличии неклассических корреляций между пространственно удаленными друг от друга частями одной квантовой системы. Для экспериментальной демонстрации нелокального характера этих корреляций обычно используют так называемые ЭПР-пары (Эйнштейн, Подольский, Розен) из двух частиц, находящихся в запутанном состоянии. Как правило, такие эксперименты проводят с фотонами. Между тем в любом твердом теле имеется огромное количество самых что ни на есть квантовых объектов – электронов, которые тоже могут образовывать перепутанные ЭПР-пары. Но все эти электроны находятся в макроскопическом основном состоянии (“фермиевском море”), из которого нельзя просто так выделить два электрона, запутанных только между собой. Однако есть исключение: любой сверхпроводник может служить источником ЭПР-пар электронов – куперовских пар в синглетном состоянии. Отдельные куперовские пары можно извлечь из сверхпроводника за счет их туннелирования через барьер, но для изучения квантовых корреляций нужно еще научиться расщеплять такие пары на отдельные электроны контролируемым образом. Для решения этой задачи в работе [1] был использован Y-образный контакт (см. рис.), каждое металлическое плечо которого включало квантовую точку с регулируемым энергетическим уровнем. Большие энергии зарядки квантовых точек (2÷4 мэВ) препятствовали туннелированию через них куперовской пары как целого, а процессы последовательного туннелирования обоих электронов пары через одну квантовую точку были подавлены за счет сравнительно толстых туннельных барьеров. О наличии нелокальных корреляций между двумя протуннелировавшими электронами в [1] судили на основании синхронного измерения туннельных проводимостей двух контактов. При $T > T_c$ эти корреляции отсутствовали. Эффективность такого “генератора” запутанных электронов составила около 2%, на много порядков больше, чем при генерации запутанных фотонов (10^{-12}). В принципе, “делитель куперовских пар” можно использовать в твердотельных квантовых вычислительных устройствах.

4



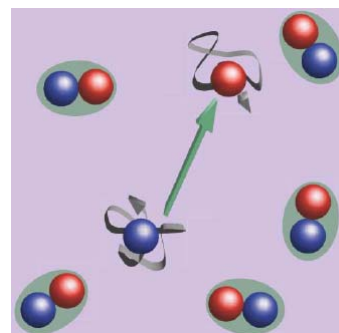
Проходя через Y-образный контакт, куперовская пара расщепляется на два пространственно разделенных (но остающихся в запутанном состоянии) электрона.

Л.Опенков

1. L.Hofstetter et al., *Nature* 461, 960 (2009).

Магнитные монополи в спиновых льдах

Магнитный монополи (монополи Дирака) – гипотетическая частица, обладающая не двумя (как обычные магниты), а всего одним магнитным полюсом и, соответственно, несущая на себе “магнитный заряд”. В изолированном виде такие частицы никогда не наблюдались. Однако теория предсказывает [1], что в так называемом “спиновом льде” (твердом веществе, у которого магнитные моменты остаются разориентированными вплоть до $T=0$) коллективные возбуждения над основным состоянием (квази-частицы) ведут себя подобно магнитным монополям. Это предсказание подтверждено в экспериментальной работе [2] ученых из Великобритании и Франции, изучавших спиновый лед $Dy_2Ti_2O_7$ методом мюонной спектроскопии. По аналогии с тем, как в сильном электрическом поле нейтральные молекулы диссоциируют на разноименно заряженные ионы, авторы [2] использовали магнитное поле, чтобы разорвать магнитные диполи на пары монополи/антимонополи (см. рис.).



Магнитные заряды (монополи) образуют связанные пары, которые могут диссоциировать. В магнитном поле высота активационного барьера для такой диссоциации уменьшается.

Им удалось определить величину магнитного заряда $Q = 5 \mu_B/\text{\AA}$ – в полном соответствии с теорией [1]. Было также показано, что эти заряды взаимодействуют друг с другом, как и электрические, по закону Кулона. При движении монополей возникает “магнитный ток”, что можно попытаться использовать для создания новых приборов и устройств. В

[2] даже вводится новый термин – “магнетричность” (magnetricity).

1. C.Castelnuovo et al., Nature 451, 42 (2008).

2. S.T.Bramwell et al., Nature 461, 956 (2009).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноарки

За последние годы исследователи разработали много методик синтеза углеродных нанотрубок (УНТ), которые позволяют получать как отдельные одно- и многостенные УНТ разных диаметров и длины, так и массивы вертикально ориентированных УНТ на подложках. Сообщений об успешном синтезе других (не углеродных) нанотрубок гораздо меньше. Кроме того, до сих пор все нанотрубки (как углеродные, так и неуглеродные), выращенные на поверхности подложки, были присоединены к ней одним концом, при этом второй конец оставался свободным, хотя для создания наноустройств и наноприборов важно получать ориентированные 1-D наноматериалы не только различного состава, но и определенной кривизны. Успешный пример синтеза “наноарок”, прикрепленных к подложке двумя концами, впервые продемонстрировали ученые из Сингапура [1]. С помощью простого и легко масштабируемого метода на кремниевой пластине они получили наноарки из углеродных и SnO₂-нанотрубок, а также из УНТ с инкапсулированными в них монокристаллическими Sn-нитями (Sn@CNT). Схема метода представлена на рис. 1.

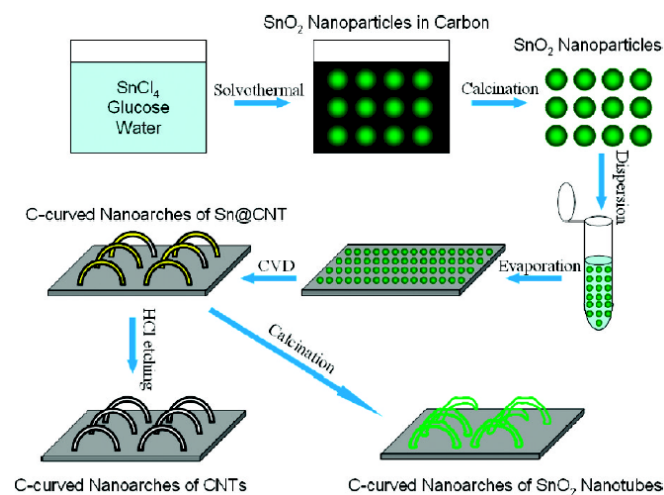


Рис.1. Схема эксперимента. Из прекурсора (раствор SnCl₄ и глюкозы в воде) после нагрева в замкнутой ампуле (24 ч, 180°C) получена дисперсия наночастиц SnO₂ в аморфном углероде. Прокаливание на воздухе приводит к декарбонизации и образованию наночастиц SnO₂. После нанесения дисперсии наночастиц в ацетоне на Si-подложку и испарения ацетона на них методом CVD (N₂ + 10% C₂H₂, 650°C) осаждали УНТ, получая тем самым Sn@CNT. Из них а) при обработке кислотой вытравливается Sn-стержень, образуются УНТ; б) при отжиге на воздухе при 550°C удаляется УНТ-оболочка, а из расплавленного Sn-стержня образуются SnO₂-нанотрубки.

Образцы были охарактеризованы с помощью электронной микроскопии (FESEM, TEM/SAED), XPS и Перст, 2009, том 16, выпуск 20

других методов. Это действительно нанотрубки соответствующего состава, концы которых жестко прикреплены к подложке. Высота и ширина типичных наноарок около 500 нм. Ниже представлены микрофотографии синтезированных наноструктур при разных увеличениях.

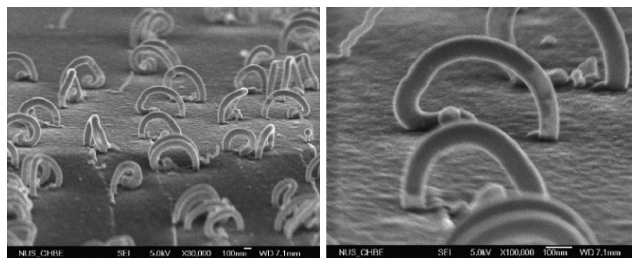


Рис.2. Наноарки из углеродных нанотрубок с Sn-наностержнями внутри.

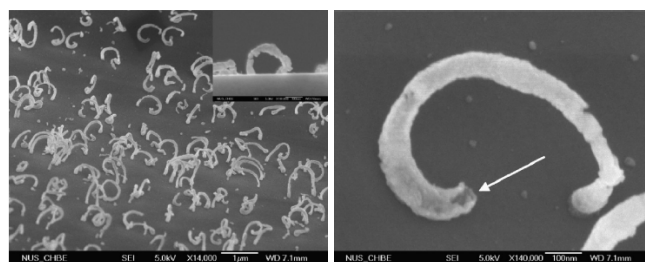


Рис.3. Наноарки из SnO₂-нанотрубок.

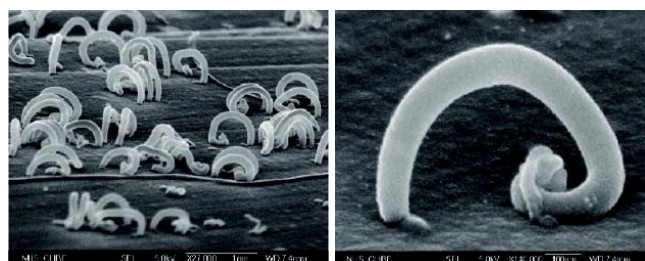


Рис.4. Наноарки из углеродных нанотрубок.

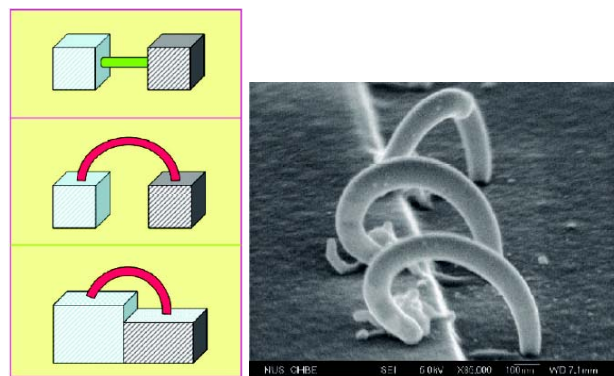


Рис.5. Схема, показывающая возможные соединения с помощью наноарок, и микрофотография арки Sn@CNT, переступившей через ступеньку на подложке.

Предложенный метод, в принципе, подходит и для синтеза наноарок другого состава. Новая архитектура позволит расширить применения наноматериалов, в том числе и для создания различных соединений, как показано на рис.5. Исследования, описанные в работе [1], показали, что эти структуры могут быть использованы и на макроуровне – например, для изменения смачиваемости поверхности

сти (в данном конкретном случае – поверхности кремниевой пластины).

О.Алексеева

1. D.Deng et al., ACS Nano 3, 1723 (2009).

О водороде и клатратных гидратах

Клатратные гидраты (от лат. *clathratus* – защищенный решеткой) – соединения внедрения, интересный и достаточно перспективный класс веществ. Их структура представляет собой каркас, образованный молекулами воды (решетка “хозяина”), внутри которого могут комфортно разместиться, например, молекулы газа (“гостя”), связанные с каркасом посредством слабого ван-дер-ваальсовского взаимодействия. И если роль молекулы-гостя выпадет водороду, то почему бы не использовать подобные соединения в качестве водородных хранилищ – потенциальных эффективных топливных элементов. Быть может, столь радужные перспективы и послужили одной из основных причин их интенсивного исследования. Ведь гидраты водорода способны не только запастись достаточное количество H_2 газа (емкость ~ 5 массовых процентов), но и являются экологически чистыми: при сжигании происходит простой распад на водород и воду [1]. Кристаллическая структура одного из таких соединений, определяется как клатратная фаза sII (рис. 1а), построенная из двух типов клеток: большая клетка (L), которая представляет собой гексакайдекаэдр ($5^{12}6^4$) с 28 H_2O (рис. 1б) и малая клетка (S), которая образована пятиугольным додекаэдром (5^{12}) с 20 H_2O (рис. 1в).

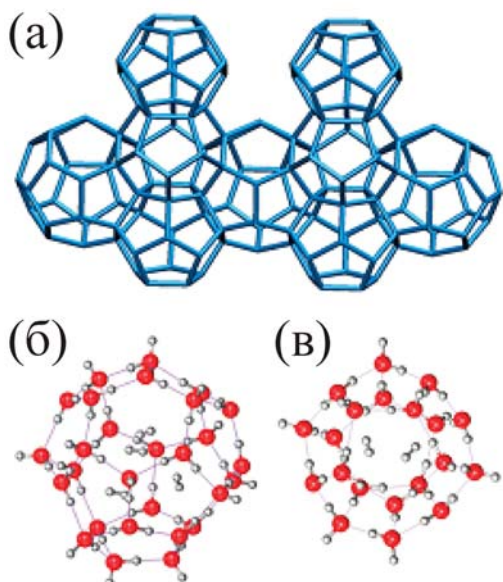


Рис. 1. Структура клатрата sII: а - полиэдральное представление больших и малых клеток; б - большая клетка с четырьмя внедренными молекулами водорода; в - малая клетка с двумя внедренными молекулами водорода. Красным цветом обозначены атомы кислорода, серым цветом – атомы водорода.

Однако емкость получившегося “материала” сильно зависит от заселенности клатратной клетки водородом. Максимум реализуется при внедрении четырех

молекул H_2 в большую клетку и двух молекул H_2 в малую клетку. И если результаты теоретических и экспериментальных исследований сходятся в том, что большие клетки однозначно способны запасти четыре молекулы водорода, то о малых клетках такого сказать нельзя. Экспериментальные данные противоречат друг другу, а теоретические результаты говорят о возможности как одно-, так и двукратного заселения малых каркасов молекулами водорода. По мнению авторов работы [2] ключом к пониманию поставленной задачи является детальный анализ рамановских спектров молекул водорода внутри клатратов. С помощью *ab initio* расчетов (теория функционала плотности – DFT), с использованием обменного функционала B3LYP в базисах 6-31++G(2d,2p) и 6-31+G(d,p), а также методов молекулярной динамики, в частности, таких программных пакетов как GROMACS и GAUSSIAN, им удалось достичь желаемых результатов. Рассчитанные усредненные спектры изображены на рис. 2 наряду с экспериментальными данными, полученными в более ранних работах.

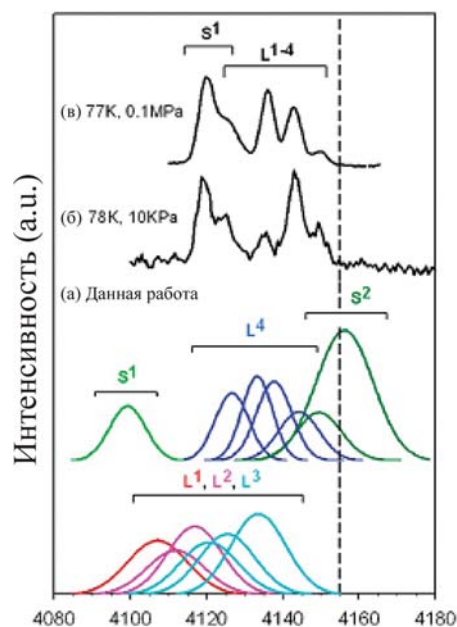


Рис. 2. Рамановские спектры молекулы водорода в водородном клатратном гидрате: а - рассчитанный в работе [2] спектр; б, в - экспериментальные спектры, полученные в более ранних исследованиях. S1 – однократно заселенная малая клетка; S2 – двукратно заселенная малая клетка; L1, L2, L3 и L4 – одно-, дву-, трех- и четырехкратно заселенные большие клетки соответственно. Вертикальный пунктир обозначает 4155 см^{-1} для свободного H_2 газа.

Итак, представленные в работе [2] результаты предсказывают рамановские пики двукратно заселенных малых клеток около или выше 4155 см^{-1} – частоты, характерной для свободного H_2 газа. Авторы надеются, что их прогнозы подстегнут экспериментальные исследования в направлении реализации синтеза клатратных гидратов водорода с высокой водородной заселенностью.

М. Маслов

1. W.L.Mao et al., *Science* **297**, 2247 (2002).
2. J.Wang et al., *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 14132 (2009).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Волны в графене

Графен (монослой из атомов углерода) в реальности не является абсолютно плоским. На нем имеется “рябь” [1] (рис.1). Сотрудники Univ. of California, Riverside (США) показали [2], что в графеновой мембране можно создавать периодические структуры из параллельных друг другу “волн” (рис.2) и контролируемым образом изменять как ориентацию этих волн, так и их амплитуду ($0.7 \div 30$ нм) и длину волны ($370 \div 5000$ нм).

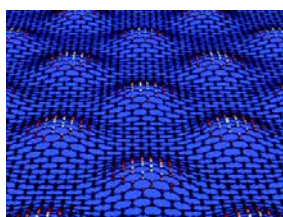


Рис.1 Рябь на графене.

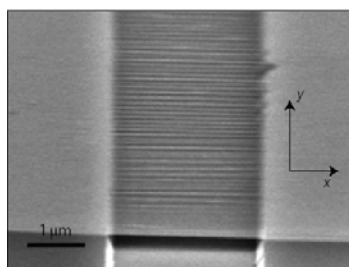


Рис. 2. Волны в графеновой мембране, покрывающей канавку в Si/SiO₂ (изображение получено методом сканирующей электронной микроскопии).

Волны появляются и исчезают при термоциклировании из-за различия коэффициентов линейного расширения графена (у которого он отрицательный, как у воды в некотором небольшом диапазоне температур) и кремниевой подложки, в которой проделана покрытая мембраной канавка. При охлаждении от температуры $T_0 \approx 700$ К подложка сжимается, а графен расширяется, что ведет к возникновению в нем сжимающих напряжений, которые и приводят к формированию периодической волнистой структуры. Параметры этой структуры определяются величиной T_0 . Интересно, что все полученные в [2] результаты находят количественное объяснение в рамках обычной классической теории упругости. Теория (теперь уже квантовая) предсказывает, что чередование в волнистой структуре растянутых и сжатых связей С-С должно приводить к появлению в электронном спектре графена (бесщелевого полупроводника) запрещенной энергетической зоны, что и требуется для изготовления из графена различных нанoeлектронных устройств – просто путем его деформации.

Л.Опенев

1. A.Fasolino et al., *Nature Mater.* **6**, 858 (2007).
3. W.Bao et al., *Nature Nanotech.* **4**, 562 (2009).

Непрерывный синтез углеродных нанотрубок

Разработка прикладных направлений, основанных на использовании углеродных нанотрубок (УНТ), зависит от степени развития методов получения УНТ в больших количествах. В связи с этой потребностью усилия многих лабораторий направлены на создание относительно недорогих и возможно более эффективных методов синтеза УНТ, которые могут стать основой современной технологии их производства. Определенных успехов в этом направлении добились недавно сотрудники Korea Institute of Industrial Technology, которым на основе метода химического осаждения из пара (CVD) удалось разработать процесс непрерывного производства УНТ, не требующий периодической замены отработанного катализатора.

В качестве подложки использовались кремниевые пластины, покрытые легирующим слоем SiO₂ толщиной 300 нм. Катализатором служил слой железа толщиной 20 нм, нанесенный на подложку методом электроразрядного напыления. С целью преобразования пленки Fe в наночастицы, способствующие синтезу УНТ, подложка в течение 2 мин подвергали плазменной термообработке. УНТ синтезировали методом CVD в разряде атмосферного давления. В качестве рабочего газа использовали смесь He + C₂H₂, которую активировали с помощью ВЧ напряжения на частоте 13.56 МГц при мощности 40 Вт и подавали в реакционную камеру через плазменное сопло. Температуру подложки в процессе синтеза УНТ поддерживали на уровне 780°C.

Исследования, выполненные с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM), атомного силового микроскопа (AFM) и просвечивающего электронного микроскопа (ТЕМ), показали, что скорость роста УНТ составляет 90 мкм/мин. Столь высокая скорость роста объясняется эффективной диссоциацией ацетилена в разряде атмосферного давления. Максимальная высота синтезированных УНТ составила 750 мкм. Плотность наночастиц катализатора на поверхности подложки равна, согласно наблюдениям, 6.6×10^{11} см⁻². Характерный размер частиц составил 20 нм, что примерно соответствует диаметру синтезируемых нанотрубок. По мере роста УНТ механически удаляли с подложки, после чего рост продолжался без замены катализатора. Однако, после каждого такого удаления поверхностная плотность частиц катализатора снижалась. Так, после первой стадии роста плотность частиц снизилась до 1.7×10^{10} см⁻², а скорость роста УНТ уменьшилась примерно на 25%. После второй стадии плотность частиц снизилась до 7×10^8 см⁻². Снижение плотности УНТ сопровождалось уменьшением их высоты. Так, высота нанотрубок, выращенных на третьей стадии роста при плотности частиц катализатора 7×10^8 см⁻², не достигает 30 мкм. Результаты выполненного исследования указывают на возможность непрерывного синтеза вер-

тикально ориентированных УНТ различной высоты без замены катализатора. При этом длительность использования катализатора зависит от первоначальной толщины слоя металла, и в случае использования более толстых пленок катализатора может быть существенно увеличена.

А.Елецкий

1. *S.S.Shin et al., Jap. J. Appl. Phys.* **48**, 06FF09 (2009).

КОНФЕРЕНЦИИ

44-ая Школа по физике конденсированного состояния (ФКС 2010) ПИЯФ РАН, 15-20 марта 2010 г., пос. Роцино Ленинградской обл.

Темы

- Современные проблемы магнетизма
- Физика и технология наночастиц
- Новые функциональные материалы
- Методы рассеяния синхротронного и нейтронного излучения

Важные даты

19.10.2009 - начало регистрации

19.01.2010 - конец регистрации

01.02.2010 - срок подачи тезисов

Контакты

Сайт школы: <http://lns.pnpi.spb.ru/fks/>

E-mail адрес: fks@lns.pnpi.spb.ru



Workshop "Terahertz Radiation and Metamaterials" (TeraMat09), 15 - 22 December 2009, Barcelona, Spain

The Conference aims to cover these developments; in particular, recent achievements in Josephson physics, terahertz radiation, metamaterials and other related phenomena. Topics will include: arrays of Josephson junctions, quantum dots and magnetic nanoparticles; metamaterials, superlattices and band gap materials; quantum computing and tunneling phenomena; THz radiation and associated phenomena; nanotubes and nanowires; Josephson vortex dynamics.

Application deadline is **November 15**

Web: <http://benasque.org/2009teramat/>

1st International Student Workshop on Condensed Matter and Materials Physics (ISWCMMP-09), 27-31 December, 2009, Antalya, Turkey

The workshop is open to all physics graduate students from all the countries. The purpose of the workshop is to provide a platform for graduate students studying at the areas identified in Condensed Matter and Materials Physics to publicize their ongoing research work through oral and poster presentations. The aim of the oral and poster presentation is to encourage the students to research and practice on giving presentations. In this way, the students will have the opportunity to interact with their peers and publicize and get feedback on their work, exchange experiences, make contacts, and learn what other students are doing in the Condensed Matter Physics and Material Sciences.

Abstract submission deadline: **4 December, 2009**

Web: <http://isw.cu.edu.tr>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, А.Елецкий,

М.Компан, М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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