Информационный бюллетень

Перспективные технологии наноструктуры сверхпроводники фуллерены

http://perst.issp.ras.ru

Том 17, выпуск 10 В этом выпуске: СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сверхпроводимость ферромагнитных нанопроводов

"Утечка" куперовских пар через границу раздела сверхпроводник/нормальный металл (N) индуцирует в последнем сверхпроводимость на расстоянии вплоть до $\xi_N \sim 1$ мкм от границы, что известно как эффект близости. Если же *s*-волновой сверхпроводник контактирует с ферромагнетиком (F), то размеры области наведенной сверхпроводимости $\xi_F \sim 1$ нм оказываются на несколько порядков меньше - из-за несовместимости сверхпроводящего (антипараллельные спины) и ферромагнитного (параллельные спины) типов порядка. В работе [1] сотрудники Pennsylvania State Univ. (США) обнаружили аномальный эффект близости в ферромагнитных нанопроводах Со с контактами из сверхпроводящего W (рис. 1). Вообще-то в чистом вольфраме температура сверхпроводящего перехода T_c очень низкая, около 10 мК. Но в [1] величина T_c электродов W составляла (4.4 ÷ 5.1) К (в зависимости от конкретных условий ионно-лучевого осаждения), что связано с наличием в них около 40 ат.% углерода и 20 ат.% галлия. При $T \le 3.5$ К авторы [1], используя стандартную четырехконтактную методику, зарегистрировали состояние с *R*=0 в нанопроводах длиной *L* = 600 нм (начало уменьшения *R* совпадает с *T*_c сверхпроводящих электродов), то есть $\xi_{\rm F} \approx 500$ нм – как в нормальном неферромагнитном металле. Увеличение магнитного поля приводит, как и положено сверхпроводнику, к уменьшению критического тока (рис. 1).



Рис.1. Слева – температурная зависимость сопротивления нанопровода Со длиной L = 600 нм и диаметром 40 нм. На вставке – СТМ-изображение нанопровода и четырех сверхпроводящих вольфрамовых электродов. Справа – ВАХ в перпендикулярном магнитном поле различной величины (T = 1.8 K).

При этом параллельное критическое поле примерно в два раза больше перпендикулярного. Интересные результаты были получены при исследовании более длинных нанопроводов с L = 1.5 мкм. Вопервых, при $T \approx 4$ К наблюдалось резкое, хотя и не до нуля, падение R, что указывает на переход части нанопровода в сверхпроводящее состояние. При этом в нанопроводах диаметром D = 40 нм и 80 нм величины $R(T \rightarrow 0)$ составили, соответственно, 11 % и 50 % от величины R в нормальном состоянии, то есть ξ_F увеличивается при уменьшении D. Во-вторых, при понижении температуры падению

31 мая 2010 г.

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

2 Синтез новых кремнийорганических наноструктур

СНОВА К ОСНОВАМ

- 3 Муары на службе микроскопии
- 4 Дисперсия глубокого 1*s*-уровня в графене

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

4 Манипуляция спинами отдельных атомов

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Простой способ изготовления графеновых нанолент
 - Углеродные нанотрубки на защите водных ресурсов
- 7 Получение графенов регулируемой толщины из аморфного углерода

конференции

 55th Magnetism and Magnetic Materials Conference
14 - 18 November, 2010, Atlanta, GA, USA.



сопротивления предшествует его резкий пик (рис. 2), сохраняющийся при термоциклировании.

Рис.2. R(T) нанопроводов Со длиной L = 1.5 мкм и диаметром 40 нм (а) и 80 нм (b) в различных магнитных полях.

С ростом магнитного поля высота этого пика уменьшается, а сам он смещается в область более низких температур. В немагнитных нанопроводах Аи с такими же вольфрамовыми электродами "критический пик" R(T) отсутствует, то есть он каким-то образом связан с ферромагнетизмом Со. Для никелевых нанопроводов в [1] были получены точно такие же результаты, как и для кобальтовых. Современные теоретические модели не позволяют объяснить всю совокупность экспериментальных данных. По-видимому, наблюдавшаяся в [1] сверхпроводимость обусловлена трансформацией синглетных куперовских пар в триплетные. Для проверки этой гипотезы требуется выполнить локальные измерения плотности состояний вдоль длины нанопровода. "Критический пик" R(T) – отдельный вопрос, требующий дальнейших исследований. И очень интересно было бы посмотреть, как ведут себя еще более тонкие ферромагнитные нанопровода в контакте со сверхпроводником.

Л.Опенов

1. J.Wang et al., Nature Phys. 6, 389 (2010).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Синтез новых кремнийорганических наноструктур

Кремнийорганическими называют такие соединения, в которых есть связь углерод-кремний непосредственно или через атомы других элементов (например, кислорода, азота или серы). В работе [1] авторами предлагается методика синтеза "графеноподобных" кремниевых нанослоев толщиной всего в один атом, не содержащих кислород и модифицированных водородом и фенильными группами (Ph) (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид кремнийорганического нанослоя [Si₆H₄Ph₂]: вид сбоку (а), вид сверху (б).

По мнению исследователей подобные кремниевые нанолисты с различными органическими группами на поверхности могут стать прекрасной основой для обширного класса наноэлектронных устройств. Авторами проведен подробный анализ полученных наноструктур. Детальные исследования синтезированных образцов [Si₆H₄Ph₂] с помощью инфракрасной спектроскопии, ядерного магнитного резонанса, XANES-спектроскопии (исследование ближней тонкой структуры рентгеновского поглощения) и атомно-силовой микроскопии подтвердили предполагаемую структуру кремнийорганических нанослоев, отсутствие связей кремний-кислород, наличие и периодическое расположение на поверхности кремния водорода и фенильных групп. Одним из наиболее интересных свойств синтезированных [Si₆H₄Ph₂] является возникновение в образце фототока под действием излучения ксеноновой лампы (рис. 2).



Рис. 2. Фототок в [Si₆H₄Ph₂] при наличии и в отсутствие света. Сплошная линия (Хе) соответствует фототоку в образце, вызванному прямым воздействием света ксеноновой лампы, пунктирная линия (42 L) соответствует фототоку, вызванному воздействием света с длиной волны более 420 нм (использовался специальный фильтр).

Однако авторы отмечают, что при использовании специального фильтра, пропускающего излучение только с длиной волны большей, чем 420 нм, фототок в образце не регистрировался. Таким образом, имеет место зависимость фототока от длины волны падающего света. Исследователи надеются, что предложенная ими методика и полученные с ее помощью образцы найдут широкое применение в производстве солнечных батарей.

М.Маслов

1. Y.Sugiyama et al., J. Am. Chem. Soc. 132, 5946 (2010).

СНОВА К ОСНОВАМ

Муары на службе микроскопии

С того времени, как лорд Рэлей сформулировал свой знаменитый критерий, определяющий разрешающую способность оптических систем, не прекращаются попытки обойти дифракционный предел и получить оптическое изображение сверхвысокого разрешения. Одним из таких приемов может служить структурированная подсветка с известным пространственным распределением интенсивности. Идея, лежащая в основе этого метода, основана на явлении, с которым мы довольно часто сталкиваемся в жизни – образование муаров. Они возникают при наложении друг на друга периодических структур с близким периодом (например, двух расчесок, рис. 1а) и представляют собой узоры, пространственные частоты которых являются разностью пространственных частот исходных периодических структур (рис.1б). Муары хорошо видны на складках тюлевых занавесок, а при съемке на цифровой фотоаппарат клетчатых или полосатых предметов они становится досадной помехой, создавая ложные узоры.

В то же время, в микроскопии муары могут оказаться даже полезными, об этом мы недавно уже писали в ПерсТе [1]. Действительно, освещая предмет излучением с периодическим распределением интенсивности в пространстве, можно получить муаровые структуры, которые, несмотря на то, что образованы мелкими деталями изображения (пространственная частота К больше предельной К_{пред}, рис. 1б), легко разрешимы с помощью обычного оптического микроскопа, поскольку характеризуются низкими пространственными частотами. Правда, нужно еще уметь отделить собственно изображение ($K < K_{nped}$) от муаров, но зная структуру подсветки, а также получив кадр при однородном освещении, с помощью вычислений можно получить изображение с пространственным разрешением, вдвое превосходящим оптический предел (рис. 1б). Однако такая методика не лишена недостатков: периодическую подсветку с высокой пространственной частотой нужно уметь еще получить (для этого можно использовать ультрафиолетовый свет, а наблюдать в оптический микроскоп люминесцен-

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 10

цию образца). Кроме того, для получения двойного разрешения не только вдоль какой-то выделенной оси, а по всем направлениям, нужно отснять огромное количество изображений с различной ориентацией волнового вектора структурированной подсветки, чтобы покрыть Фурье-пространство максимально изотропным образом.



Рис. 1. Способы повышения пространственного разрешения оптической микроскопии: *а* - муары, возникающие при наложении двух периодических структур; *б* разностные пространственные частоты, образующиеся при освещении структуры образца пространственно модулированной подсветкой с частотой $K_{подсветки}$; $K_{пред}$ предельная пространственная частота, разрешимая в микроскоп (определяется характерным размером Δ =0.6 λ /NA, где λ — длина волны излучения, NA — числовая апертура объектива микроскопа); *в* - нелинейный отклик люминесцирующей молекулы на синусоидальный профиль подсветки.

Авторы публикации [2] предлагают новую разновидность микроскопии со структурированной подсветкой, избавленную от этих недостатков. Они воспользовались тем фактом, что сфокусированный свет лазерной подсветки в конфокальном микроскопе уже содержит все необходимые пространст-

венные гармоники, позволяя получать разрешение на уровне 100 нм в видимом свете. Другим достоинством предложенного метода является то, что предложенная авторами схема (они назвали ее Image Scanning Microscope) может быть получена с помощью незначительной модификации стандартного конфокального микроскопа: на выходе устройства вместо регистрирующего фотоэлемента стоит ПЗС-матрица. Она позволяет получать более полную информацию об изображении, представляющем собой свертку структурированной подсветки и света, отраженного образцом. Зная пространственное распределение интенсивности подсветки, можно восстановить структуру образца с разрешением, вдвое превосходящим оптический предел. Конечно, объем вычислений при обработке изображений будет значителен, но кого это смущает в наш цифровой век?

В комментарии на статью [1], опубликованном в электронном бюллетене *Physics* [3], предлагаются дальнейшие усовершенствования методики. Например, использование нелинейного отклика фотолюминесцирующих молекул на излучение (рис. 1в). При увеличении интенсивности подсветки пространственное распределение интенсивности флуоресценции начинает отличаться от профиля подсветки (в данном случае синусоидального), оно становится более угловатым, а значит, в нем появляются высокие пространственные частоты, позволяя продвинуться еще дальше за дифракционный предел.

А.Пятаков

- 1. <u>ПерсТ 17, вып.7, с.2 (2010)</u>
- 2. C.B.Muller, J.Enderlein, Phys.Rev.Lett. 104, 198101 (2010).
- 3. H.Blom, J.Widengren, Physics 3, 40 (2010) (<u>http://physics.aps.org/articles/v3/40</u>).

Дисперсия глубокого 1s-уровня в графене

Принято считать, что в молекулах и твердых телах электроны глубоких атомных уровней сильно локализованы в окрестности ядер и не участвуют в образовании связей между атомами. Это предполагает отсутствие расщепления таких уровней. Исключениями являются некоторые молекулы (С₂H₄, С₂H₂, N₂) с очень малым межатомным расстоянием. В них зазор между связывающей и антисвязывающей молекулярными орбиталями, образованными из 1sуровней, хоть и мал (несколько десятков мэВ), но все же поддается экспериментальной регистрации. В твердых телах ширины W самых нижних разрешенных зон определить пока не удавалось по причине их крайне малой величины, обусловленной тем, что матричные элементы перескока "глубоких электронов" между соседними атомами (пропорциональные *W*) экспоненциально уменьшаются с ростом межатомного расстояния (а оно в твердых телах больше, чем в молекулах). В работе [1] международного коллектива авторов (Италия, Аргентина, Дания, Германия) сообщается о наблюдении дисперсии 1*s*-электронов в графене – гексагональном монослое из атомов углерода. Анализ угловой зависимости рентгеновских фотоэмиссионных спектров графена показал, что максимальное расщепление связывающей и антисвязывающей 1*s*-зон составляет $\Delta = (60 \pm 10)$ мэВ в точке Г зоны Бриллюэна, тогда как в точке К эти зоны сливаются. Расчеты из первых принципов дают близкий к экспериментальному закон дисперсии (см. рис.), хотя величина $\Delta = 25$ мэВ оказывается примерно в два раза меньше.



Связывающая (внизу) и антисвязывающая (вверху) разрешенные энергетические зоны, образующиеся в графене при снятии вырождения атомных 1*s*-уровней. Данные численных расчетов из первых принципов.

Полученные в [1] результаты очень важны для правильной интерпретации фотоэмиссионных спектров не только графена, но также графита и прочих родственных углеродных материалов.

Л.Опенов

1. S.Lizzit et al., Nature Phys. 6, 345 (2010).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Манипуляция спинами отдельных атомов

Основное назначение сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) заключается в том, чтобы получать изображения поверхностей с атомарным разрешением. Двадцать лет тому назад СТМ был впервые использован для передвижения отдельных атомов по подложке (знаменитая надпись "IBM"), а примерно десять лет спустя с помощью оснащенного магнитной иглой СТМ удалось определить поверхностную конфигурацию спинов на атомном масштабе, а также измерить кривые намагничивания наночастиц и даже атомов. В работе [1] немецкие и американские физики скомбинировали двигательные и измерительные возможности СТМ, чтобы, во-первых, поменять направление спина отдельного атома и, во-вторых, убедиться, что спин действительно перевернулся. Делалось это так. Подложку W(110) покрывали антиферромагнитным слоем марганца, атомы которого образуют параллельные ряды с противоположной ориентацией спина (рис. 1а). На этот монослой адсорбировался атом кобальта, спин которого ориентировался вдоль спинов атомов ближайшего к нему ряда Mn. Перемещение атома Со на соседний ряд Мп посредством спин-поляризованной иглы СТМ приводит к пере-

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 10

вороту его спина (рис. 1а). Для определения направления этого спина до и после перемещения атома в [1] было использовано то обстоятельство, что туннельный ток зависит от симметрии электронных орбиталей на уровне Ферми, которая, в свою очередь, различна для разной ориентации спина (рис. 1b).

Таким образом, теперь в нашем распоряжении имеется методика конструирования искусственных атомных структур с заданной спиновой конфигурацией.



Рис. 1. *а* - Иллюстрация переворота спина атома Со при его перемещении по монослою Mn магнитной иглой СТМ; *b* - При различной взаимной ориентации спина атома Со и спинов атомов иглы основной вклад в плотность электронных состояний на уровне Ферми дают различные орбитали.

1. D.Serrate et al., Nature Nanotech. 5, 350 (2010).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ Простой способ изготовления графеновых нанолент

Интерес к графеновым нанолентам связан с их уникальными электронными и спиновыми транспортными свойствами, а также с тем, что наноленты шириной менее ≈ 10 нм являются (в отличие от графена) диэлектриками и потому могут использоваться в полевых нанотранзисторах. Для изготовления нанолент было предложено много различных способов, включая литографию, травление, разрезание углеродных нанотрубок (УНТ) и пр. Но все они позволяют получать наноленты либо только в очень ограниченном количестве, либо очень низкого качества. В Stanford Univ. (США) [1] предложен новый простой способ массового производства нанолент с рекордными на сегодняшний день проводимостью и подвижностью носителей ($5e^2/h$ и 1500 см²В⁻¹с⁻¹, соответственно). На первом этапе углеродную сажу, содержащую полученные в дуговом разряде многостенные УНТ, спекали на воздухе при 500°С, в результате чего происходило окисление дефектных узлов на стенках УНТ (см. рис.). Затем нанотрубки диспергировали в органическом растворителе путем звуковой обработки. При этом имело место раскрытие УНТ, (по дефектным местам), и образовывались наноленты. После отделения нераскрывшихся УНТ и углеродных наночастиц в центрифуге оставшийся материал содержал

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 10

более 60 % одно-, двух- и трехслойных нанолент шириной от 10 до 20 нм. Общий выход нанолент составил около 2 % от исходного количества сажи с УНТ. Это значительно больше, чем во всех других известных методиках. Таким образом, графеновые наноленты становятся гораздо доступнее для широкого круга фундаментальных исследований и практических приложений.



а - Схематическое изображение процесса образования нанолент из углеродных нанотрубок. (*b-d*) - Исходная, частично раскрывшаяся и полностью раскрывшаяся нанотрубки. Изображения получены методом атомной силовой микроскопии.

1. L.Jiao et al., Nature Nanotech. 5, 321 (2010).

Углеродные нанотрубки на защите водных ресурсов

По инициативе ООН 2005-2015 гг. объявлены Международным десятилетием действий "Вода для жизни". По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) из всех запасов воды на Земле только 2.5% приходится на пресную воду, да и то большая ее часть недоступна, т.к. сосредоточена во льдах полярной зоны, ледниках и т.д. Непрерывный рост потребления воды (населением, промышленностью, сельским хозяйством и др.) и её загрязнения ведёт к уменьшению количества пресной воды, пригодной для использования. Если не принимать мер, то без удовлетворительной очистки воды к 2030 г. останется 67% населения земного шара. Всё это в ближайшем будущем может превратить проблему нехватки водных ресурсов в проблему политическую [1].



Ладожское озеро – крупнейшее пресноводное озеро в Европе. Сейчас считается "умеренно загрязненным". В решение задачи защиты экосистемы пресной воды (а, значит, и нашего здоровья) могут внести свой вклад и нанотехнологии – как для предотвращения и снижения ее загрязнений, так и для мониторинга последних [2]. К сожалению, пресловутые нанофильтры Петрика [3] на основе "углеродной смеси высокой реакционной способности", "победившие" в проекте "Чистая вода", бросили тень и на углеродные нанотрубки (УНТ). Приведем несколько новых примеров действительно полезного применения этих уникальных материалов.

Ученые из Южной Кореи предложили микрокапсулы для удаления из воды ионов тяжелых металлов [4]. Для их получения использован метод послойного осаждения полиэлектролитов. Полная схема представлена на рис. 1. На меламин-формальдегидные частицы (MF) наносили чередующиеся слои полимера (гидрохлорида полиаллиламина) и функционализованных нанотрубок (CNT/PAH на схеме). Затем из соответствующего прекурсора осаждали слой оксидов железа. Прокаливание при 500°С в течение 6 ч приводила к полному удалению частиц MF, агломерации нанотрубок и превращению смеси оксидов железа в гематит (α-Fe₂O₃). В итоге сформировались микрокапсулы с маленьким сферическим ядром из нанотрубок и оболочкой из гематита (по морфологии поверхности напоминающей скорлупу грецкого ореха). По данным электронной микроскопии в каждой капсуле находилось только одно ядро (рис.2).



Рис. 1. Схема получения микрокапсул.



Рис. 2. SEM и TEM изображения УНТ/Fe₂O₃ микрокапсул.

Средние размеры УНТ-ядра и оболочки из гематита составляли 290 и 980 нм, соответственно. Интерес-

но, что с помощью ультразвуковой обработки капсул в кислой среде можно диспергировать нанотрубки, а путем нагрева опять "собирать" их в ядра. Способ, предложенный авторами [4] позволяет получать различные "орешки", например, с золотыми ядрами и "двойной" скорлупой из нанотрубок и SiO₂ (см. рис.1).

Ученые проверили сорбционные свойства микрокапсул УНТ/гематит (после прокаливания функционализация нанотрубок была восстановлена путем обработки в кислоте). Оказалось, что они прекрасно удаляют Pb(II) (46.6 мг/г) и Cr(VI) (29.16 мг/г). В течение 10 мин из соответствующих растворов были удалены почти все ионы свинца и хрома. Характеристики пустых капсул, а также одних нанотрубок (после растворения гематитовой оболочки) оказались существенно хуже (рис. 3). Высокая удельная поверхность УНТ и присутствие функциональных групп, взаимодействующих с ионами тяжелых металлов, приводит к эффективной сорбции последних, а "железная" оболочка предохраняет нанотрубки от агрегирования, обеспечивает прочность и облегчает транспортировку.



Рис. 3. Адсорбция Pb(II) и Cr(VI). Проверены капсулы с УНТ и без УНТ, а также отдельно УНТ без оболочки. $C_0 = 17.1 \text{ мг/л}$ для Pb(II) и 11.4 мг/л для Cr(VI).

Для того, чтобы использовать капсулы неоднократно, адсорбированные ионы надо каким-то образом удалять. Оказалось, что это просто – нужен раствор с низким pH. Например, при pH = 1 за 10 мин десорбируется около 60% ионов свинца. Проверка показала, что после 5 циклов сорбции-десорбции эффективность не изменилась.

Подводным камнем применения наноматериалов для защиты водных ресурсов может оказаться их токсичность. Но в данном случае углеродные нанотрубки безопасны для окружающей среды, потому что заключены в оболочку из гематита.

Другой пример использования углеродных нанотрубок – сенсоры для обнаружения токсинов в питьевой воде. Традиционные методы не могут применяться в повседневной практике, т.к. являются достаточно сложными и требуют много времени; к тому же портативных приборов не существует. Авторы работы [5], китайские и американские ученые, создали простые, но эффективные биосенсоры, используя одностенные углеродные нанотрубки (ОСНТ), обычную фильтровальную бумагу и антитела. На рис. 4 приведены фотографии полосок фильтровальной бумаги, импрегнированных ОСНТ, и химическая структура микроцистина (MC-LR), опасного токсина, вырабатываемого некоторыми цианобактериями.



Рис. 4. Фотографии фильтровальной бумаги после разного количества циклов пропитки ОСНТ и химическая структура микроцистина.

Цианобактерии ("сине-зелёные водоросли") - крупные грамотрицательные бактерии, способные к фотосинтезу с выделением кислорода. Преимущественно они обитают в водоемах, богатых органическим веществом, и являются главными участниками цветения воды (рис. 5). Некоторые виды токсичны, вызывают массовую гибель рыб, отравление людей и животных, влияют на сердечно-сосудистую и иммунную системы, деятельность печени (длительное употребление с водой даже малых количеств может привести к раку печени). Один из случаев массового отравления микроцистином произошел в 1996 г. в клинике Института почечных заболеваний (Бразилия). После диализа с использованием некачественной воды у 83 пациентов началось заболевание печени, а 55 погибли. Причем микроцистин-LR обнаружили не только в самой воде, но и в крови, тканях печени умерших [6].



Рис.5. "Цветение" цианобактерии Microcystis. [NOAA News Online (Story 2706)]

Детектирование таких токсинов в воде, осо-

бенно питьевой – чрезвычайно важная и сложная задача. Авторы [5] предложили изящное решение, основанное на измерении удельной электропроводности. Полоски фильтровальной бумаги (5х0.5 см, толщиной 0.2 мм) окунали в раствор, содержащий

ОСНТ и антитела. Обычно 13 циклов пропиткисушки обеспечивали нужную электропроводность композита. При его контакте с водой, загрязненной MC-LR, удельная электропроводность быстро снижается. Исследователи объясняют это тем, что антигены (микроцистин) проникают внутрь композита и, образуя комплексы с антителами, раздвигают нанотрубки, тем самым увеличивая сопротивление. Линейный диапазон детектирования 10 нмоль/мл, нелинейный - до 40 нмоль/мл. Нижний предел детектирования 0.6 нг/мл. Поскольку в соответствии с требованиями BO3, содержание MC-LR в питьевой воде не должно превышать 1нг/мл, новый сенсор вполне может быть использован для мониторинга качества питьевой воды. Он не уступает традиционным по чувствительности и диапазону, но требует гораздо меньше времени (не более 30 минут, то есть в 28 раз меньше, чем для анализа по известному методу ELISA). Важно, что меняя антитела, можно создавать такие же простые, недорогие, но чувствительные и быстродействующие сенсоры для детектирования многих других токсинов в пище и воде.

О.Алексеева

- 1. <u>http://www.unesco.org/water/wwap</u>
- 2. <u>ПерсТ 15, вып. 15/16, с. 5 (2008).</u>
- 3. <u>www.lzhenauka.com</u>
- 4. W.S. Choi et al., Adv. Funct. Mater. 20, 820 (2010).
- 5. L.Wang et al., Nano Lett. 9, 4147 (2009).
- 6. Т. Финогенова и др., Наука в России №9, 11 (2009).

Получение графенов регулируемой толщины из аморфного углерода

Высокий прикладной потенциал графенов привлекает исследователей к разработке новых методов получения графенов в макроскопических количествах. При этом наибольший интерес представляют наиболее простые методы, основанные на использовании относительно недорогих материалов. Кроме того, при получении графенов важно контролировать их основные параметры, такие как размер, число слоев, содержание дефектов и т.п. В одной из недавних работ, выполненных в Univ. of California, Berkeley (США) [1], сообщается о разработке метода получения графенов, который удовлетворяет сформулированным выше требованиям. В рамках этого подхода качестве исходного материала используется В аморфный углерод (α-С), который в результате термического отжига в присутствии металлического катализатора трансформируется в графен.



Используемый подход к синтезу графенов иллюстрируется на рисунке. Слой α-С толщиной 2.5 – 40

нм методом электронно-лучевого испарения наносится на Si/SiO₂ подложку, которая затем покрывается никелевой или кобальтовой пленкой толщиной 100-300 нм, играющей роль катализатора. Приготовленные таким способом образцы подвергают термической обработке в диапазоне 650-950°C в потоке аргона при давлении около 1.7 Торр. После охлаждения со скоростью 20°C/с на поверхности образца образуется графен, что подтверждено спектрами комбинационного рассеяния (КР), причем число слоев в графенах пропорционально исходной толщине слоя α -C.

Другим важным параметром процесса, определяющим качество полученных образцов, является температура синтеза. При использовании Ni катализатора синтез графенов происходит при температурах 650-950°С, в то время как для Со катализатора диапазон температур синтеза находится между 650 и 850°С. Оптимальная температура синтеза Ni катализатора составляет около 800°С, а Со – 750°С. Характеристики полученных образцов практически не зависят от длительности синтеза в диапазоне от нескольких десятков секунд до 60 минут. Более продолжительный отжиг приводит к практически полному исчезновению в спектре КР сигнала, относящегося к графенам. Результаты измерений, выполненных с помощью атомного силового микроскопа, показывают, что при начальной толщине α-С слоя 2.5-3 нм около 70% поверхности подложки оказывается покрытой однослойными графенами, 15% составляют двухслойные графены, а остальная часть поверхности покрыта дендритными образованиями, толщина которых более чем в 10 раз превышает толщину графена.

С целью переноса полученных образцов графена с подложки Si/SiO₂, содержащей металлическую пленку, на чистую подложку Si/SiO₂ образец покрывали слоем полиметилметакрилата (ПММА), после чего металл вытравливали в 15%-ном растворе соляной кислоты. Затем пленку переносили на Si/SiO₂ подложку, просушивали и погружали в ацетон с целью удаления слоя ПММА. Как показали измерения спектров КР, в результате переноса на подложку Si/SiO₂ свойства графена практически не изменились.

А.Елецкий

1. M.Zheng et al., Appl. Phys. Lett. 96, 063110 (2010).

конференции



55th Magnetism and Magnetic Materials Conference 14 - 18 November, 2010, Atlanta, GA, USA.

Technical subject categories

I. Fundamental Properties and Coop-

erative Phenomena

II. Magnetoelectronic Materials and Effects

III. Spintronics

IV. Magnetization Dynamics and Micromagnetics

V. Soft Magnetic Materials and Applications

VI. Hard Magnetic Materials and Applications

VII. Structured Materials

VIII. Special Magnetic Materials

IX. Magnetic Recording

X. Applications (not information technology)

XI. Magnetic Imaging, and Interdisciplinary Topics

IMPORTANT DATES

Abstract submission opens June 7, 2010 Abstract submission closes July 2, 2010 Advance Registration opens August 15, 2010 Manuscript submission opens August 26, 2010 Manuscript submission closes September 24, 2010 Advance registration closes October 22, 2010

E-mail: <u>magnet@aip.org</u>

Web: <u>http://www/magnetism.org</u>

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

Ответственный редактор: И.Чугуева, e-mail: <u>irina@issp.ras.ru</u> Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, А.Елецкий, М.Маслов, Л.Опенов, А.Пятаков Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^a