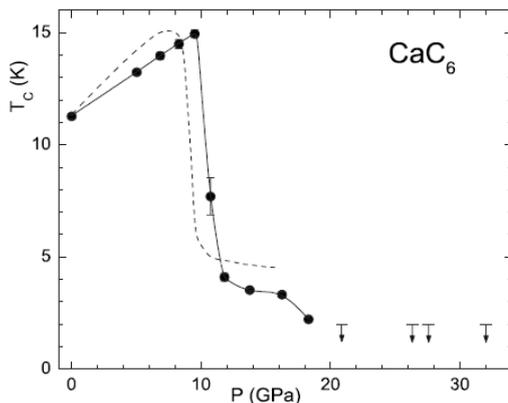


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Сверхпроводимость $\text{CaC}_6$ при давлении до 32 ГПа

Из всех сверхпроводящих материалов на основе графита максимальную критическую температуру  $T_c = 11.5$  К имеет  $\text{CaC}_6$ . В отличие от подавляющего большинства сверхпроводников с  $s$ -,  $p$ -электронами, в  $\text{CaC}_6$  увеличение давления  $P$  до 1.6 ГПа приводит не к понижению, а к росту  $T_c$  (со скоростью 0.5 К/ГПа) [1, 2]. При еще более высоких ( $\approx 8$  ГПа) давлениях наблюдалось резкое уменьшение  $T_c$  до 5 К [3], связанное, возможно, со структурным переходом. Но нельзя исключить и того, что причиной падения  $T_c$  стали сильные сдвиговые напряжения из-за нарушения условий гидростатичности. В работе [4] влияние гидростатического сжатия на сверхпроводимость  $\text{CaC}_6$  изучено при  $P \leq 32$  ГПа. Подтвержден факт падения  $T_c$  в окрестности 10 ГПа (см. рис.).



Зависимость  $T_c$  от давления в  $\text{CaC}_6$ . Точки и сплошная линия – из работы [4]. Пунктирная линия – из работы [3].

При  $P > 20$  ГПа сверхпроводимость вообще не была обнаружена (во всяком случае, при  $T \geq 2$  К).

Л.Опенев

1. R.P.Smith et al., *Phys. Rev. B* **74**, 024505 (2006).
2. J.S.Kim et al., *Phys. Rev. B* **74**, 214513 (2006).
3. A.Gauzzi et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 067002 (2007).
4. M.Debessai et al., *Phys. Rev. B.* **82**, 132502 (2010).

### Страйпы в $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$

За дискуссией о природе псевдощелевой фазы в купратных ВТСП стала как-то забываться еще одна их специфическая и до конца не изученная особенность: наличие в слоях  $\text{CuO}_2$  так называемых “страйпов” (stripes) – чередующихся полосок с различной концентрацией носителей заряда и различными магнитными свойствами (см. рис.). Страйпы формируются при дырочном допировании моттовского диэлектрика. Высокотемпературная сверхпроводимость также возникает при допировании диэлектрического состояния, поэтому встает вопрос о возможной причастности страйпов к механизму спаривания. Но до сих пор страйпы наблюдались только в системе  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ , причем в очень узком диапазоне составов вблизи  $x = 1/8$ , и не факт, что они являются атрибутом всех слоистых купратов. Экспериментальная регистрация страйпового порядка осложняется “побочным” эффектом – модуляцией электронной структуры из-за интерференции боголюбовских квазичастиц при рассеянии на примесях.

И далее ...

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 2 Аномальная прочность межзеренных границ в графене
- 3 Еще раз о фторографене  
Рост графена из твердых источников углерода

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 3 Гетероструктуры из графена и нитрида бора. Теория
- 4  $A^{III}B^V$ : вспомним прежних чемпионов

## СПИНТРОНИКА

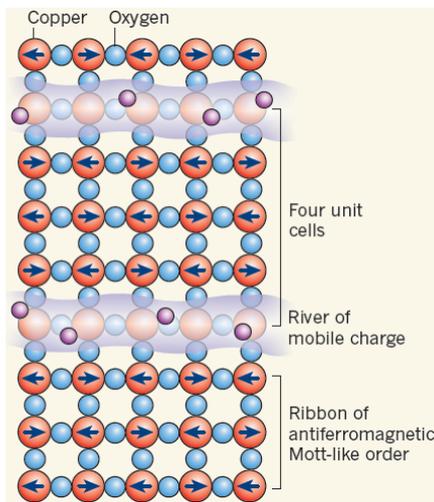
- 5 Магнитный выключатель или  $p$ - $n$  переход меняет профессию  
Окно в спинтроннику

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Углеродные нанотрубки и растения
- 8 Хлорфуллерен  $\text{C}_{72}\text{Cl}_4$ : соединяя пентагоны

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Научная сессия ОФН РАН, посвященная 40-летию юбилею Института ядерных исследований РАН, 22 декабря 2010 г.



Страйповый электронный порядок в слоях  $CuO_2$ .

В работе [1] сообщается об обнаружении флуктуирующих (не статических) страйпов в ВТСП  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ . Используя методику сканирующей туннельной микроскопии, авторы [1] смогли при анализе фурье-преобразований локальных дифференциальных ВАХ отделить страйповые особенности туннельных спектров от интерференционных. Интересно, что при понижении температуры страйпы появляются практически одновременно с псевдощелью. Но если псевдощель монотонно зависит от уровня допирования, то страйпы, как и в  $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ , наиболее отчетливо выражены, когда концентрация дырок (в расчете на атом меди) равна 1/8, исчезая как в оптимально допированных, так и в сильно недопированных образцах. Авторы [1] полагают, что страйпы являются не причиной псевдощели, а ее следствием. Поскольку страйповый порядок характеризуется расслоением на немагнитные (с избытком дырок) и антиферромагнитные области, то логично предположить, что псевдощель формируется вследствие локальных спиновых корреляций.

Л.Опенев

1. C.V.Parker et al., Nature 468, 677 (2010).

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Аномальная прочность межзеренных границ в графене

Помимо своих уникальных электронных и оптических свойств, графен отличается необычайной механической прочностью, обусловленной сильными ковалентными связями между атомами углерода. Однако большие монослои графена не являются строго монокристаллическими: они разбиваются на области (“зерна”) с различной ориентацией кристаллографических осей. Логично было бы ожидать, что наличие в графене дефектных межзеренных границ приведет к существенному ухудшению его механических характеристик. Но выполненные в работе [1] расчеты показали, что это не так, точнее – не всегда так. По мере увеличения угла разориентации соседних зерен  $\alpha$  до  $21.7^\circ$  и  $28.7^\circ$  в графене с зигзагообразной и кресельной ориентацией, соответственно (см. рис.), предел прочности возрастает до  $\approx 100$  ГПа, то есть становится таким же, как в идеальном графене.

Другими словами, малоугловые границы оказываются, вопреки ожиданиям, менее прочными. Объясняется это их более сильной “исходной” деформацией, что ведет к быстрому разрыву “критических” связей при нагрузке. С ростом  $\alpha$  количество дефектов (пар соседних 5- и 7-угольников) на границе увеличивается, но именно эти дефекты “принимают деформацию на себя”, что способствует упрочнению. Континуальный подход, не учитывающий конкретной атомной структуры дефектов, приводит к прямо противоположному выводу об уменьшении прочности с ростом  $\alpha$ . Полученные в [1] результаты следует учитывать при разработке методик синтеза графена для практических нужд.

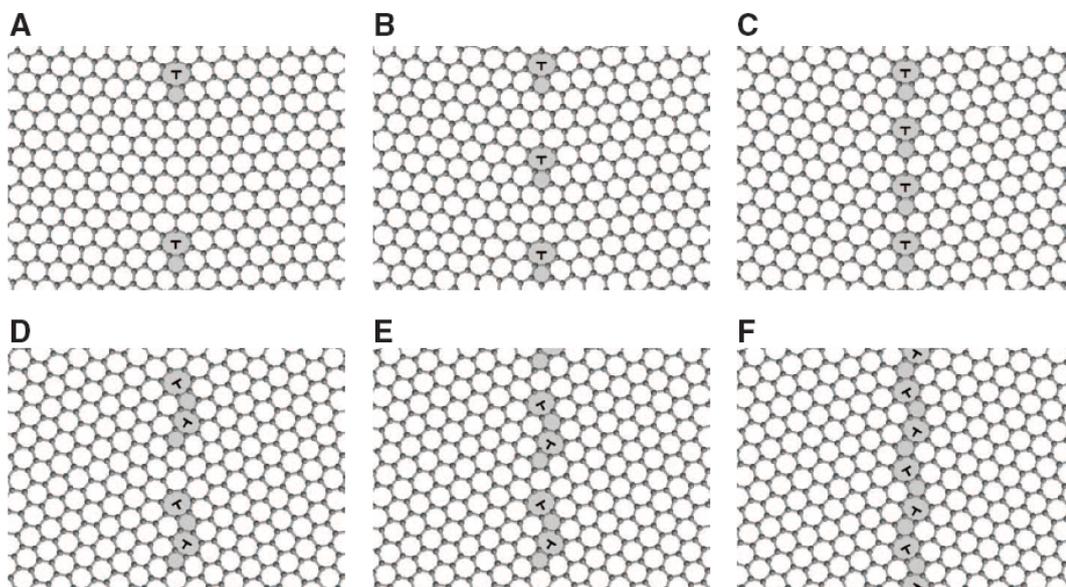


Рис. 1. Структура межзеренных границ в графене с зигзагообразной (A-C) и кресельной (D-F) ориентацией.

Л.Опенев

1. R.Grantab et al., Science 330, 946 (2010).

## Еще раз о фторографене

ПерсТ уже писал [1] о фторографене – монослое графена, полностью покрытом с обеих сторон фтором. Он представляет собой двумерный аналог тефлона, состоящего из цепочек С-Ф. Впервые фторографен был получен путем механического отшелушивания квазидвумерных слоев CF от фторида графита [2], но образцы оказались довольно низкого качества (по-видимому, вследствие отклонения от стехиометрии из-за дефицита фтора). В работе [3], выполненной группой из Великобритании, Китая, Польши, Голландии и России (Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск) с участием А.Гейма и К.Новоселова, качественные стехиометрические образцы фторографена получены путем длительной (более 20 ч) выдержки графена в атомарном фторе, образующемся при разложении ХеF<sub>2</sub>. Чтобы обеспечить доступ атомов фтора к обеим сторонам графена, последний перемещали с подложки SiO<sub>2</sub> на сетку из Au (см. рис.).

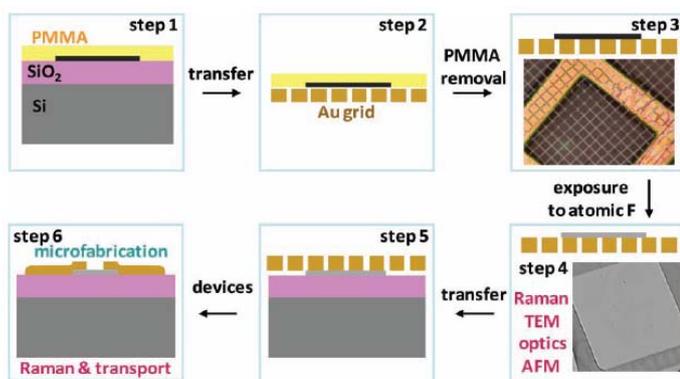


Иллюстрация технологии изготовления фторографена в работе [3].

Просвечивающая электронная микроскопия показала, что при фторировании гексагональная структура графена сохраняется, хотя период решетки незначительно (примерно на 1%) увеличивается – в отличие от гидrogenизированного графена (графана), где он уменьшается. Фторографен устойчив к нагреву (десорбция фтора начинается только при температуре выше 400°C) и к воздействию ряда жидкостей (воды, ацетона, пропанола). Он является диэлектриком с оптической щелью 3 эВ (с ростом температуры его сопротивление уменьшается экспоненциально по 1/T). По механическим характеристикам фторографен сопоставим с графеном, выдерживая деформации до 15 % (модуль Юнга около 100 н/м). С точки зрения практического использования фторографен может оказаться альтернативой тефлону, а в нанoeлектронике использоваться как атомарно тонкие диэлектрические прослойки в гетероструктурах на основе графена.

Л.Опенев

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

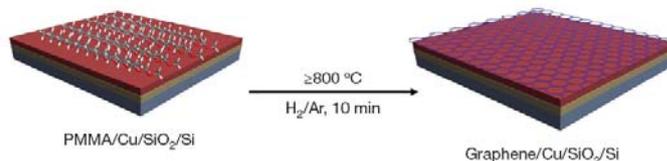
2. S.-H.Cheng et al., Phys. Rev. B 81, 205435 (2010).

3. R.R.Nair et al., Small (2010), в печати.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sml.201001555/abstract>

## Рост графена из твердых источников углерода

В работе [1] предложен новый способ изготовления графена из твердого источника углерода – пленки полиметилметакрилата (PMMA) толщиной около 100 нм, осажденной на медную фольгу, которая играла роль катализатора (см. рис.).



Рост графена из полиметилметакрилата (PMMA) на медной пленке.

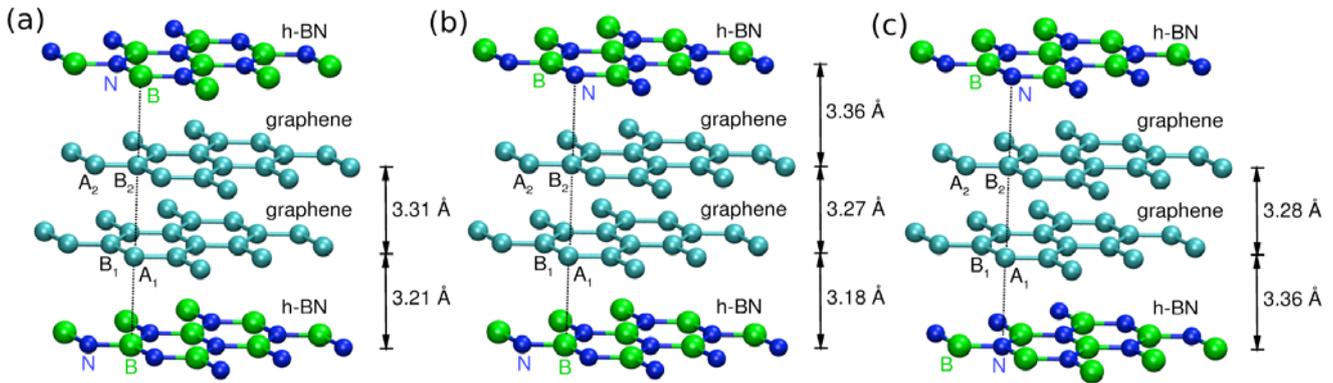
Графен формируется за 10 мин при нагреве PMMA в потоке H<sub>2</sub>/Ar до (800 ÷ 1000)°C. Изменяя скорости потоков H<sub>2</sub> и Ar, можно легко регулировать количество графеновых слоев в образце, получая одно-, двух- и более слойный графен. Вместо PMMA с тем же успехом были использованы мелкодисперсные порошки C<sub>13</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> и др., а вместо пленки Cu – пленка Ni. Возможность понижения температуры синтеза до ≈ 800°C (по сравнению с химическим осаждением из паровой фазы) существенно облегчает изготовление многослойных гетероструктур на основе графена. Предложенная в [1] методика позволяет получать и легированный (например, азотом) графен. Для этого нужно лишь добавить примеси соответствующих элементов в исходный твердый источник.

1. Z.Sun et al., Nature 468, 549 (2010).

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

### Гетероструктуры из графена и нитрида бора. Теория

Характеристики нанoeлектронных приборов и устройств на основе графена существенно зависят от материала подложки. Обычно используют подложки из SiO<sub>2</sub>. Но транспортные свойства графена при этом значительно ухудшаются, главным образом из-за несоответствия периодов решеток и наличия на поверхности SiO<sub>2</sub> “болтающихся” связей. Недавно было предложено заменить SiO<sub>2</sub> на гексагональный нитрид бора (h-BN), у которого периоды решетки практически такие же, как у графена (отличие составляет всего лишь ~ 1%), а поверхность – атомарно гладкая и химически инертная. Действительно, подвижность носителей заряда в графене на h-BN оказалась примерно на порядок выше, чем в графене на SiO<sub>2</sub> [1]. Обсуждалась также идея об изготовлении слоистых гетероструктур графен/h-BN.



Различное взаимное расположение слоев графена и h-BN.

В работе [2] из первых принципов рассчитана электронная структура двухслойного графена, заключенного между слоями h-BN. Показано, что ширину диэлектрической щели  $E_g$  можно регулировать электрическим полем: увеличение напряженности поля до 2 В/нм приводит к монотонному росту  $E_g$  от нуля до 0.2 эВ. Этот результат не зависит от конкретного типа взаимного расположения слоев графена и h-BN (см. рис.). Такие гетероструктуры, если их удастся изготовить, могут найти практическое применение в нанoeлектронике.

Л. Опенов

1. C.R.Dean et al., *Nature Nanotech.* **5**, 699 (2010).
2. [http://xxx.lanl.gov/PS\\_cache/cond-mat/0911/cond-mat/0911.2489v1.pdf](http://xxx.lanl.gov/PS_cache/cond-mat/0911/cond-mat/0911.2489v1.pdf)

### $A^{III}B^V$ : вспомним прежних чемпионов

Появление новых материалов нанoeлектроники, таких как графен и нанотрубки, несколько отвлекло внимание от прежних рекорсменов в области транзисторов. Ими, безусловно, являлись полупроводники группы  $A^{III}B^V$ . Действительно, подвижность в графене и нанотрубках при комнатной температуре достигает  $200\,000\text{ см}^2/\text{В с}$ , в то время как рекорд подвижности в  $A^{III}B^V$  составляет  $70\,000\text{ см}^2/\text{В с}$ . Для сравнения, в нелегированном кристаллическом кремнии всего  $1\,000\text{ см}^2/\text{В с}$ .

Какие бы ни были новые материалы, для массового производства удобно, чтобы они размещались на кремниевой подложке, в частности, на подложке “кремний на изоляторе”. На сегодня диаметр таких подложек составляет 300мм. Ясно также, что слои должны быть очень тонкими. Действительно, если длина канала транзистора составляет несколько десятков нанометров, то толщина канала должна быть около 10нм и даже меньше. Это необходимо для эффективного управления потенциалом затвора тока транзистора.

Недавно сотрудники Lawrence Berkeley Ntl. Lab (США) [1] получили тонкие слои InAs на кремниевой подложке и измерили характеристики полевых транзисторов. На рис. 1а приведены ВАХ транзисторов. Видно, что для толстых слоев транзистор плохо закрывается, а для тонких слоев у него малый

ток открытого состояния, приводящий к снижению частоты работы транзистора в схемах. Экспериментальные измерения подвижности показывают, что она, в основном, определяется рассеянием на дефектах, что приводит к ее деградации на порядок величины.

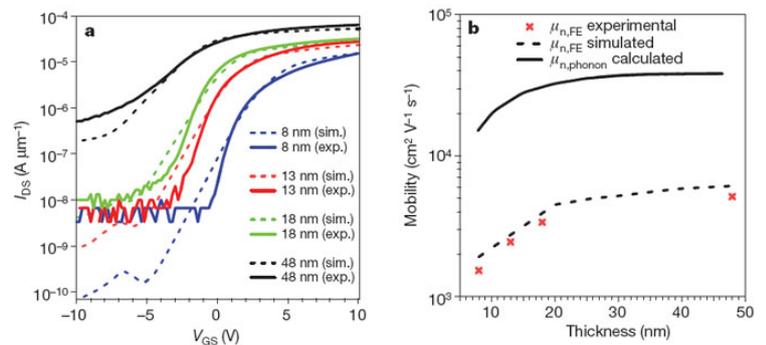


Рис. 1. ВАХ транзисторов с разной толщиной InAs (а) и измеренные подвижности в зависимости от толщины слоя (б): верхняя кривая с учетом только рассеяния на фоновых, нижняя кривая – эксперимент и расчетные точки, учитывающие рассеяние на дефектах.

Представленные зависимости отражают общие проблемы, возникающие при внедрении новых материалов в кремниевую электронику. Как только эти материалы оказываются в контакте с подложкой, их характеристики значительно ухудшаются из-за дефектов границы раздела. Главное при этом обстоятельство состоит в том, что эти дефекты заряжаются и приводят к сильному кулоновскому рассеянию носителей.

В статье уделено особое внимание формированию омических контактов к InAs. И это не случайно. Общим недостатком материалов  $A^{III}B^V$  является невозможность сильного легирования. В кремниевых транзисторах омический контакт обеспечивается сильным легированием ( $10^{20}\text{ см}^{-3}$ ) контактов истока и стока. В  $A^{III}B^V$  достижимый уровень легирования составляет всего  $10^{18}\text{ см}^{-3}$ . Это может оказаться непреодолимой проблемой для продвижения этих материалов в нанометровую область размеров. Пока авторы сформировали неплохие контакты на основе

очень сложных композиций с никелем для транзисторов с длиной канала 5мкм. Что будет для нанометровых каналов?

В.Вьюрков

1. H.Ko et al., Nature 468, 286 (2010).

## СПИНТРОНИКА

### Магнитный выключатель или *p-n* переход меняет профессию

Несмотря на всю привлекательность магнитных полупроводников для спинтроники, им выпала нелегкая судьба. Теоретики доказывали, что магнетизм и полупроводниковые свойства несовместимы. Мате-

риалы, получаемые внедрением в полупроводники магнитных ионов марганца *Mn*, демонстрировали магнитные свойства либо в очень слабой степени, либо при очень низких температурах. Иные, так и вовсе были объявлены “самозванцами” [1].

Недавняя работа команды ученых из Univ. of North Carolina (США) [2] может поколебать даже закоренелых скептиков: прикладывая напряжение к *p-n* переходу на основе нитрида галлия с покрытием из магнитного полупроводника, авторам удалось при комнатной температуре включать и выключать магнетизм (рис. 1).

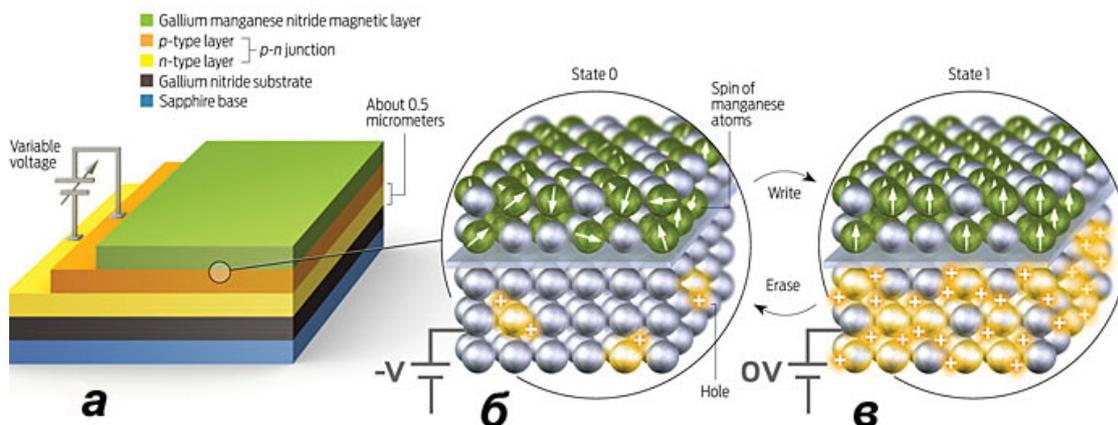


Рис. 1. *a* - Структура на основе нитрида галлия с добавками магнитных ионов марганца (верхний слой), с акцепторной примесью магния (слой *p*-типа) и донорной примесью кремния (слой *n*-типа); *б* - зона *p-n* перехода при обратном смещении становится обедненной свободными носителями заряда, что приводит к разупорядочению магнитных моментов ионов марганца в верхнем слое; *в* - снятие напряжения восстанавливает концентрацию свободных носителей, необходимую для осуществления обменной связи между атомами марганца, и магнитное упорядочение возникает вновь.

Физический принцип действия “магнитного выключателя” основан на том, что ферромагнетизм в слое GaMnN обусловлен обменным взаимодействием ионов *Mn* через электроны проводимости. Подача напряжения, запирающего *p-n* переход, приводит к расширению зоны, обедненной свободными носителями заряда. Связь между магнитными ионами нарушается, и слой нитрид галлия-марганец переходит в парамагнитное состояние (рис. 1б). Снятие напряжения с *p-n* перехода восстанавливает магнитный порядок (рис. 1в).

Управление магнетизмом с помощью статического электрического поля существенно экономит энергию, поскольку позволяет избегать потерь на джоулево тепло (в этом смысле магнитные полупроводники схожи с магнитоэлектрическими материалами). Однако чтобы сделать устройство подлинно энергонезависимым, необходимо создать два устойчивых состояния, над чем исследователи и работают в настоящее время.

А.Пятаков

1. ПерсТ 13, вып. 15/16, с. 7 (2006).

2. S.M.Bedair et al., IEEE Spectrum, №11, p.43 (2010). <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/memory/spintronic-memories-to-revolutionize-data-storage>

### Окно в спинтронику

В последние годы значительные усилия были направлены на то, чтобы повысить до комнатной температуры Кюри  $T_C$  “разбавленных” магнитных полупроводников (dilute magnetic semiconductors, DMSs), например (In,Mn)As и (Ga,Mn)As [1]. Считается, что такие материалы гораздо лучше подходят для спинтроники, чем ферромагнитные металлы. В первую очередь это связано с малой концентрацией носителей заряда в них ( $10^{19}$ – $10^{20}$  см<sup>-3</sup>) и вытекающей отсюда возможностью управлять ферромагнетизмом посредством электрических полей, используя МДП-структуры или *p-n* контакты с тонкими слоями DMSs (рис. 1). При этом удается контролировать как  $T_C$ , так и коэрцитивную силу  $H_C$  (благодаря изменению магнитной анизотропии в электрическом поле), а также направление вектора намагниченности, вплоть до его поворота на 180°. Для “электрического перемагничивания” требуется затратить энергию всего лишь ~ 1 фДж – на два порядка меньше, чем при использовании магнитных туннельных контактов. Конструирование из DMSs конкретных устройств требует понимания механизма крипа магнитных доменных стенок в них.

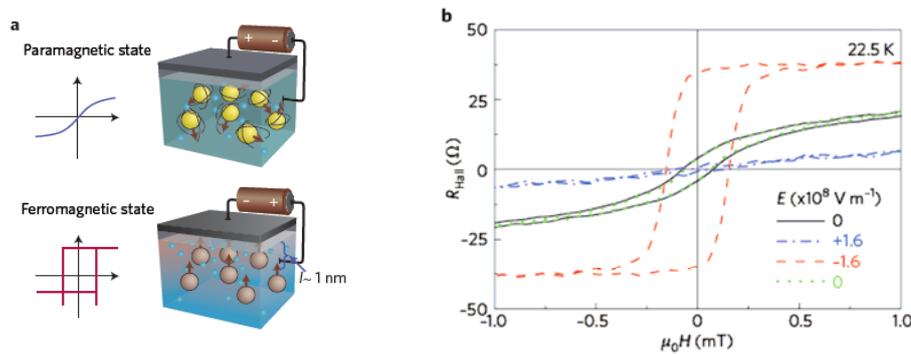


Рис. 1. Электрический контроль магнитной фазы в магнитных полупроводниках.

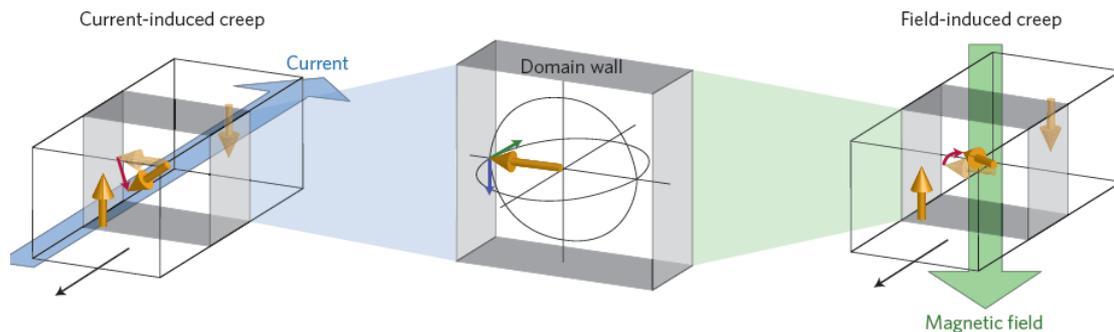


Рис.2. Иллюстрация индуцированного током и магнитным полем движения доменных стенок в (Ga,Mn)As.

Эксперимент указывает на то, что при воздействии магнитного поля и спин-поляризованного тока этот механизм различен (рис. 2).

Анизотропия спин-орбитального расщепления электронных состояний в (Ga,Mn)As позволяет использовать для изготовления туннельных контактов только один ферромагнитный слой, намагниченность которого определяет величину туннельного сопротивления. Недавно появилось сообщение [2] о наблюдении в (Ga,Mn)As спинового эффекта Зеебека – возникновения спиновой поляризации при наличии градиента температуры. Все сказанное говорит о перспективности DMSs для разработки новых спинтронных технологий. А детальное исследование их уникальных физических свойств важно проводить с чисто фундаментальной точки зрения, даже если температуру Кюри так и не удастся поднять до так необходимой для коммерческого использования комнатной.

По материалам заметки  
H. Ohno, *Nature Mater.* **9**, 952 (2010).

1. T. Dietl et al., *Nature Mater.* **9**, 965 (2010).

2. S.M. Jaworski et al., <http://xxx.lanl.gov/ftp/physics/papers/1007/1007.1364.pdf>.

## ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

### Углеродные нанотрубки и растения

Китайские учёные опубликовали новые результаты изучения воздействия одностенных углеродных нанотрубок (ОСНТ) на растения [1]. Вопросы нанотоксичности постоянно находятся в центре внимания исследователей, но большинство данных относится к животным и человеку. Растения изучены

гораздо меньше, и выводы достаточно противоречивы. Например, американские учёные выяснили, что фуллерены и нанотрубки могут поглощаться из раствора природных органических веществ и накапливаться в зёрнах и корнях риса, мешая поступлению воды и питательных веществ, в результате чего развитие растений замедляется [2]. А в другой работе (тоже учёных из США) на примере томатов показано, что углеродные нанотрубки, проникая из питательной среды через оболочки семян, положительно влияют на их прорастание и развитие рассады [3]. Предлагается даже подумать над разработкой наносистем доставки удобрений на основе нанотрубок! Конечно, следует ожидать, что нанотехнологии найдут применение и в сельском хозяйстве, и в пищевой промышленности, поэтому так важны новые данные о влиянии наноматериалов на растения.



Рис.1. Растения, используемые в экспериментах: рис (*Oryza sativa, Japonica*) и арабидопсис (*Arabidopsis thaliana*)

Китайские исследователи для своих экспериментов выбрали рис, один из самых важных продуктов питания, и обычный сорняк (распространённый и у нас в России) резуховидку Таля, или арабидопсис

(рис. 1). Это идеальные модельные растения из класса однодольных и двудольных, соответственно. Арабидопсис, например, проходит полный цикл развития за шесть недель и поэтому при изучении растений часто играет роль лабораторной мыши или мушки дрозофилы. ОСНТ были получены *CVD* методом, они имели диаметр 1-2 нм и длину 5-30 мкм.

Для исследований китайскими учеными из листьев арабидопсиса и ростков риса были выделены протопласты. Протопласт – клетка, лишённая стенки (но с клеточной мембраной). Протопласты сохраняют все свойства, присущие растительным клеткам и широко используются в исследованиях и генной инженерии. Отсутствие стенок не должно влиять на результаты экспериментов, так как известно, что одностенные углеродные нанотрубки способны проходить через прочные клеточные стенки растений [4].

Протопласты были помещены в специальный раствор, содержащий нанотрубки (0; 5; 25; 100 мкг/мл). Жизнеспособность протопластов снизилась даже при минимальной концентрации 5 мкг/мл через 24 и 36 часов (рис. 2 А,В). При воздействии 25 мкг/мл уже через 6 часов 25% протопластов оказались мёртвыми. Контрольный эксперимент показал, что токсичен именно наноуглерод, так как активированный уголь в той же и даже большей концентрации никак не повлиял на жизнеспособность. На рис. 2D приведены данные для арабидопсиса, для риса получены аналогичные результаты.

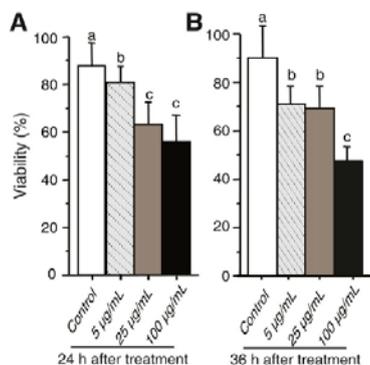
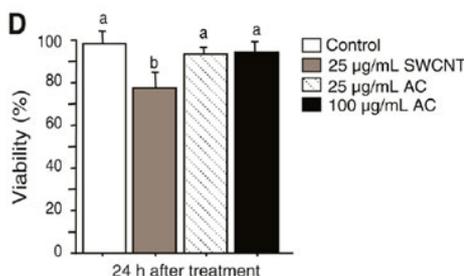


Рис. 2. Жизнеспособность протопластов арабидопсиса после 24-часового воздействия (А) и риса после 36-часового воздействия (В) разной концентрации ОСНТ.



(D) – арабидопсис после 24-часового воздействия 25 мкг/мл ОСНТ или 25 и 100 мкг/мл активированного угля АС.

Исследования с помощью оптического микроскопа показали, что нанотрубки, первоначально равномерно распределённые в растворе, за короткое время образовали агрегаты и окружили протопласты (рис. 3). В первые несколько часов жизнеспособность протопластов всё ещё была такой же, как в контрольном эксперименте, то есть в растворе без нанотрубок. Постепенно каждый кластер протопла-

стов, окружённый агрегатами ОСНТ, увеличивался в объёме. Уже после 12-часового воздействия протопласты в кластерах начали погибать, при этом другие протопласты, находящиеся на расстоянии от нанотрубок, сохранили свою жизнеспособность.

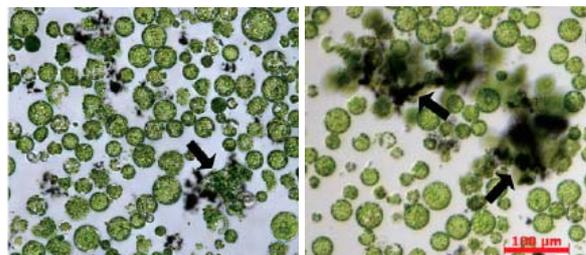


Рис. 3. Аномальная агрегация клеток после 3ч (слева) и 12ч (справа) воздействия ОСНТ(25 мкг/мл). Стрелки указывают на кластеры протопластов, окруженные чёрными наночастицами.

Затем авторы [1] изучили влияние ОСНТ на ткани растений. Они ввели инъекции суспензии ОСНТ (10 мкл) в листья арабидопсиса. Видимых изменений не было даже для концентрации 250 мкг/мл ОСНТ. Однако при детальном исследовании с помощью электронной микроскопии была обнаружена конденсация хроматина (*хроматин* – *вещество хромосом, находящееся в ядрах растительных и животных клеток, комплекс ДНК, РНК и белков*) – под мембраной ядра образовались четко очерченные плотные массы различной формы и размеров (рис. 4).

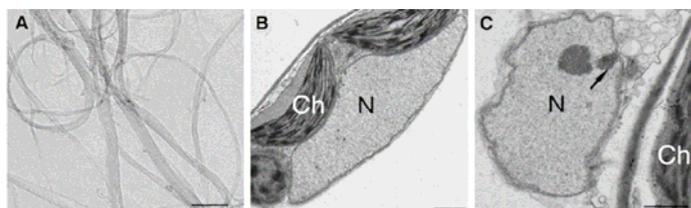


Рис. 4. Воздействие ОСНТ на листья арабидопсиса: А – ОСНТ; В – клеточное ядро через 48 ч после инъекции буферного раствора без ОСНТ, (конденсации хроматина нет); С – конденсация хроматина через 48 ч после инъекции раствора с ОСНТ (250 мкг/мл). Ch – хлоропласт, N – ядро. Масштаб: А – 100 нм, В, С – 1 мкм.

Конденсация хроматина обусловлена расщеплением ядерной ДНК. Это наиболее характерное проявление апоптоза, или запрограммированной гибели клеток. Специальные эксперименты подтвердили фрагментацию ДНК через 72 ч после инъекции 250 мкг/мл ОСНТ.

По мнению авторов [1] эти изменения в ядрах происходят из-за окислительного стресса, вызванного воздействием ОСНТ. Дополнительные исследования действительно указали на повышенный уровень одной из активных форм кислорода – пероксида  $H_2O_2$ . Таким образом, ОСНТ вызывают конденсацию хроматина и расщепление ДНК в тканях *Arabidopsis*. При этом видимых макроизменений не происходит.

Выводы китайских учёных таковы: одностенные углеродные нанотрубки оказывают вредное воздействие на протопласты и листья. Они вызывают

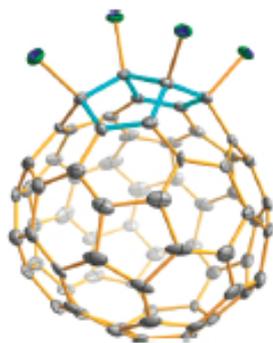
окислительный стресс, в результате которого погибает некоторое количество клеток. Хотя токсичность ОСНТ, обнаруженная в экспериментах, не слишком высока, последствия (в том числе побочные эффекты) неизвестны. В каждом случае применения наноматериалов надо внимательно оценивать соотношение пользы и возможного вреда.

О.Алексеева

1. С.-Х. Shen et al., *Am. J. Botany* **97**, 1602 (2010).
2. *ПерсТ* **16**, вып. 19, с. 4 (2009).
3. *ПерсТ* **17**, вып. 5, с. 5 (2010).
4. *ПерсТ* **16**, вып. 9, с. 6 (2009).

### Хлорфуллерен $C_{72}Cl_4$ : соединяя пентагоны

Согласно правилу изолированных пентагонов (isolated pentagon rule – IPR), наиболее стабильными являются те фуллерены, в которых ни одна пара пентагонов не имеет смежных ребер, то есть каждый пентагон окружен пятью гексагонами. Однако для семейства фуллеренов  $C_{72}$  теоретически было предсказано отклонение от этого правила (см., например, [1]). Другими словами, не-IPR изомер  $C_{72}$  оказывается более стабильным, чем [72]фуллерен, подчиняющийся правилу изолированных пентагонов. И хотя этот факт известен уже достаточно давно, он до сих пор не нашел экспериментального подтверждения. Однако первые шаги в этом направлении уже сделаны. Об этом сообщают сразу две независимые научные группы: из Германии [2] и Китая [3]. Исследователям удалось осуществить синтез, правда, пока не “чистых” не-IPR фуллеренов  $C_{72}$ , а их хлоропроизводных –  $C_{72}Cl_4$  (см. рис.).



Общий вид хлорфуллерена  $C_{72}Cl_4$ . Соприкасающиеся пентагоны выделены синим цветом.

Все предыдущие попытки стабилизировать фуллереновую клетку эндодральными элементами не приводили к успеху, поэтому авторы сделали ставку на экзофуллерены и не прогадали.

Структура полученных образцов была подтверждена рентгеноструктурным анализом. Необходимо отметить, что низкая степень хлорирования

позволит использовать  $C_{72}Cl_4$  для дальнейшей дериватизации, т.е. для получения различных интересных производных фуллеренов. Кроме того, исследователи надеются, что предложенная ими методика синтеза и простота выделения данных соединений позволит получать “чистые” не-IPR [72]фуллерены с высоким процентным выходом, сравнимым с выходом большинства высших фуллеренов. Это может происходить при условии, что найдется способ удаления оставшихся атомов хлора с поверхности фуллереновой клетки, что сделает не-IPR  $C_{72}$  не таким уж экзотическим объектом для дальнейших исследований.

М.Маслов

1. Z.Slanina et al., *Chem. Phys. Lett.* **384**, 114 (2004).
2. K.Ziegler et al., *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 17099 (2010).
3. Y.-Z.Tan et al., *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 17102 (2010).

### КОНФЕРЕНЦИИ

**Научная сессия ОФН РАН, посвященная 40-летию юбилею Института ядерных исследований РАН, 22 декабря 2010 г. (10-30)** (ИЯИ РАН, г. Троицк)

#### Программа

1. академик **В.А. Матвеев** - Вступительное слово
2. д.ф.-м.н. **В.Н.Гаврин** - Вклад результатов SAGE в понимание физики Солнца и физики нейтрино
3. член-корр. РАН **Г.В. Домогацкий** - Байкальский нейтринный эксперимент
4. член-корр. РАН **И.И. Ткачев** - Наблюдение эффекта Грейзена-Зацепина-Кузьмина обсерваторией Telescope Array
5. д.ф.-м.н. **Ю.Г. Куденко** - Нейтринный эксперимент T2K: первые результаты
6. к.ф.-м.н. **Р.А. Садыков** - Направления исследований конденсированных сред на нейтронном комплексе ИЯИ РАН
7. д.х.н. **Б.Л. Жуйков** - Производство изотопов в ИЯИ РАН: реальность и перспективы

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

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, В.Вьюрков, М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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