

В этом выпуске:

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### *Сверхпроводниковые кубиты для квантового компьютера*

Неизбежная декогерентизация превращает суперпозиционные и запутанные квантовые состояния в смесь обычных классических состояний, что приводит к ошибкам в операциях с квантовыми битами (кубитами). Для борьбы с декогерентизацией изобретены специальные алгоритмы коррекции квантовых ошибок. Недавно две группы исследователей независимо друг от друга продемонстрировали один из таких алгоритмов экспериментально, используя для этих целей сверхпроводниковые кубиты на основе джозефсоновских контактов [1, 2]. В работах [1] и [2] на, соответственно, три и два “рабочих” кубита приходилось по два вспомогательных кубита, которые “мониторили” амплитудные и фазовые ошибки, помогая их исправлять. Исследования в этом направлении не ограничиваются сверхпроводниковыми кубитами. Определенных успехов удалось добиться и для ионов в ловушке [3]. Но эти системы гораздо труднее масштабировать. Так или иначе, мы все ближе и ближе к полноценному помехоустойчивому квантовому компьютеру. И скорее всего он будет сверхпроводниковым. А значит, для его функционирования потребуются специальные криостаты. Ну как тут не пожалеть, что критическую температуру купратных ВТСП так и не удалось поднять до комнатной...



Четырехкубитный сверхпроводниковый квантовый процессор.

По материалам заметки  
“Solving a wonderful problem”,  
S.Benjamin and J.Kelly, *Nature Mater.* **14**, 561 (2015).

1. D.Ristè et al., *Nature Commun.* **6**, 6983 (2015).
2. A.D.Córcóles et al., *Nature Commun.* **6**, 6979 (2015).
3. J.Kelly et al., *Nature* **519**, 66 (2015).

И далее ...

- 2 Одинокие фотоны из двумерия

## ГРАФЕН

- 2 Фаграфен – новый двумерный аллотроп углерода

Акустоэлектрические и фотоэлектрические свойства графена

- 3 Гофрированный графен для клеточной инженерии

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 4 Коллоидные нанокристаллы для оптоэлектроники

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

- 5 Домены и доменные границы в мультиферроиках

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Оптоэлектроника на борном фуллерене

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 7 Ultrafast Magnetism Conference (UMC 2015), October 19-23 2015, Nijmegen, Netherlands

5th International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers (IC-MAST 2015), September 27-30, 2015, Mykonos Island, Greece

- 8 2016 Joint MMM-Intermag Conference, January 11-15, 2016, San Diego, California

## Одинокое фотоны из двумерия

Обычные источники света (например, лазеры) испускают огромное количество квантов света (фотонов). Между тем для нужд квантовой информатики и квантовой криптографии требуются также однофотонные источники. В работах [1-4] обнаружено, что такие источники присутствуют в монослоях квазидвумерного полупроводника  $WSe_2$ . Эксперименты по фотолюминесценции показали, что роль этих источников играют локализованные экситонные состояния, связанные с дефектами, о чем свидетельствует малая ширина спектральных линий ( $\sim 10^{-4}$  эВ). Пока остается открытым вопрос о контроле за испусканием фотонов дихалькогенидом, что важно для практических приложений.

По материалам заметки  
"Two dimensions and one photon",

V.Perebeinos, *Nature Nanotech.* **10**, 485 (2015).

1. A.Srivastava et al., *Nature Nanotech.* **10**, 491 (2015).
2. Y.-M.He et al., *Nature Nanotech.* **10**, 497 (2015).
3. M.Koperski et al., *Nature Nanotech.* **10**, 503 (2015).
4. C.Chakraborty et al., *Nature Nanotech.* **10**, 507 (2015).

## ГРАФЕН

### Фаграфен – новый двумерный аллотроп углерода

Графен является наиболее устойчивой квазидвумерной формой углерода и обладает необычными электронными свойствами, представляющими как практический, так и фундаментальный интерес (дираковские фермионы с линейным законом дисперсии). Графен имеет гексагональную решетку: связи С-С образуют правильные 6-угольники с тремя соседями у каждого  $sp^2$ -гибридизованного атома углерода. Другие (уже синтезированные или только обсуждающиеся теоретиками) 2D углеродные системы (графин, графдин и пр.) отличаются низкой устойчивостью из-за наличия в них  $sp$ -гибридизованных атомов углерода.

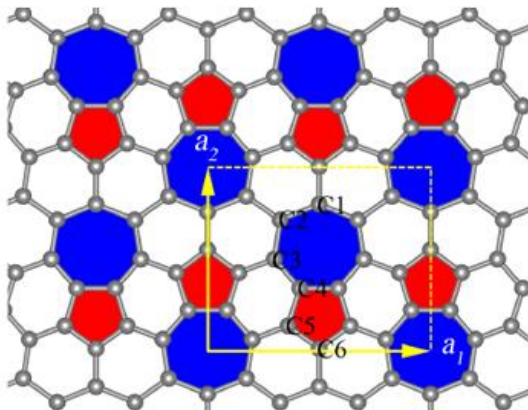


Рис. 1. Структура фаграфена.

В работе [1] (Китай, США, Россия) на основе расчетов из первых принципов предсказан новый 2D аллотроп углерода, образуемый 5-, 6- и 7-угольниками из связей С-С (рис. 1). Авторы назвали его *фаграфеном* (phagraphene). Его энергия связи всего на 0.2 эВ/атом меньше, чем у графена. Все атомы углерода в нем  $sp^2$ -гибридизованы, а плотность упаковки атомов ( $0.37$  атом/ $\text{\AA}^2$ ) практически такая же, как у графена ( $0.38$  атом/ $\text{\AA}^2$ ). Мнимые частоты в спектре нормальных колебаний отсутствуют, что свидетельствует о динамической устойчивости. В первой зоне Бриллюэна у фаграфена имеются искаженные дираковские конусы (рис. 2). Авторы оптимистично полагают, что фаграфен может быть изготовлен уже в ближайшее время.

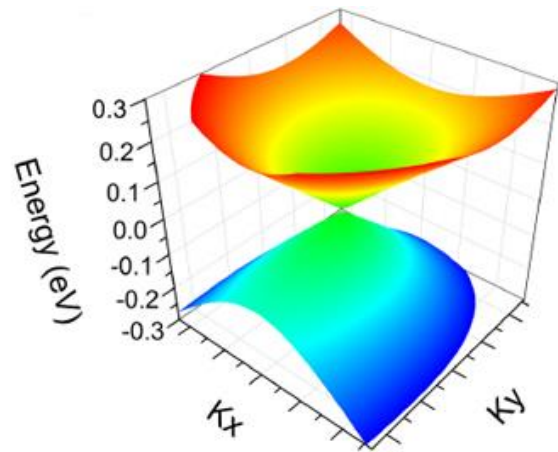


Рис. 2. Искаженные дираковские конусы, образованные валентной зоной и зоной проводимости в окрестности дираковской точки.

Л.Опенев

1. Z.Wang et al., Preprint [arXiv:1506.04824](https://arxiv.org/abs/1506.04824) (2015).

### Акустоэлектрические и фотоэлектрические свойства графена

Уникальное многообразие физико-химических характеристик графена открывает возможности его использования в самых различных областях науки и технологий. Так, весьма привлекательным представляется использование графена в приборах, действие которых основано на поверхностных акустических волнах, образующихся при воздействии оптического излучения на графен. В работе [1], выполненной недавно в Univ. of Exeter (Великобритания), представлены результаты детального исследования этого эффекта.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Коммерческий образец однослойного графена площадью  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>, выращенный методом CVD на подложке из медной фольги, помещали на пластину  $LiNbO_3$ . На поверхность образца графена с использованием методов электроннолучевой литографии и термического напыления наносили контактные полоски  $Cr$  толщиной 7 нм и  $Au$  толщиной 70 нм.

Полоски размером 3 мм $\times$ 20 мкм отстояли друг от друга на расстоянии 300 мкм.

ПерГ, 2015, том 22, выпуск 11/12

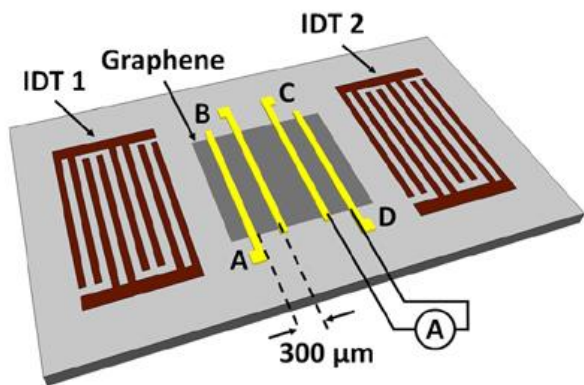


Рис. 1. Схема эксперимента по исследованию электроакустических характеристик графена.

Устройство помещали в вакуумную камеру (давление  $5 \times 10^{-6}$  Торр), доступную для проникновения светового луча. Акустоэлектрические измерения проводили на частотах 33 и 355 МГц. В качестве источника излучения с  $\lambda = 450$  и 735 нм и интенсивностью на уровне  $1 \text{ мВт/мм}^2$  использовали коммерческие светодиоды. В результате облучения образца световым пучком происходило изменение проводимости образца, что в свою очередь приводило к изменению акустоэлектрического тока, который регистрировался соответствующим измерительным устройством. Максимальное увеличение акустоэлектрического тока при частоте модуляции 33 МГц составляло 14%, в то время как при частоте модуляции 355 МГц это увеличение составляло 10%. Увеличение акустоэлектрического тока при облучении образца сопровождалось снижением его проводимости примерно на 6%.

Анализ измеренных зависимостей акустоэлектрического тока от интенсивности облучения позволяет считать, что природа акустоэлектрического эффекта связана с изменением электронных характеристик графена в результате оптического облучения. Об этом свидетельствует сравнение указанных зависимостей, полученных при использовании оптического излучения с длинами волн 4350 и 735 нм. Использование более длинноволнового излучения при той же интенсивности падающего излучения ( $0.8 \text{ мВт/мм}^2$ ) приводит к примерно втрое более низким значениям изменения акустоэлектрического сигнала. Это наблюдение позволяет сделать вывод о связи исследованного эффекта с явлением образования горячих электронов проводимости в результате поглощения лазерного излучения.

А.В. Елецкий

*I. T. Poole et al., Appl. Phys. Lett. 106, 133107 (2015).*

## Гофрированный графен для клеточной инженерии

Как известно, формирование упорядоченных складок на листе графена приводит к изменению электронной структуры и появлению новых свойств [1]. Это позволяет использовать складчатые, или “сморщенные” пленки графена для создания различных электронных и оптических устройств, функциональных покрытий и др.

Недавно ученые из Brown University (США) предложили простой способ получения складчатого оксида графена (GO) и нашли для него новую интересную область применения – в качестве функциональных подложек для клеточной и тканевой инженерии [2]. Авторы нанесли водную суспензию оксида графена на предварительно растянутую пленку эластомера. После сушки и релаксации сформировались ряды параллельных волнообразных складок (рис. 1).

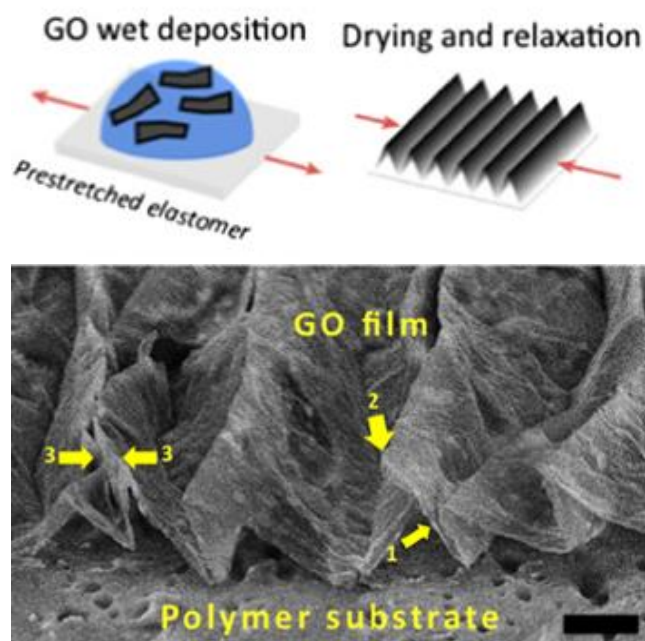


Рис. 1. Схема синтеза складчатой пленки и SEM изображение пленки толщиной 200 нм. Шкала 20 мкм. Стенки складок имеют одинаковый наклон и несколько искривлены только у вершины (стрелки 1 и 2). В некоторых случаях “гребни” объединяются (стрелка 3).

Метод, предложенный в [2], позволяет получать гофрированные пленки больших размеров, при этом и высоту складок, и расстояние между ними можно контролируемым образом менять от 1 до 25 мкм, подбирая полимер, степень его растяжения и концентрацию GO в суспензии. На рис. 2 показано, как меняется картина складок для одной и той же подложки в зависимости от толщины многослойной пленки, которая определяется концентрацией GO.

В последние годы в ряде лабораторий было продемонстрировано, что графен и оксид графена обладают хорошей биосовместимостью, обеспечивают высокую адгезию и пролиферацию клеток, в том числе нейронов [3]. Однако до сих пор речь шла о

двумерных подложках. Авторы [2] впервые показали, что графен с волнистыми складками является более эффективным субстратом. Такая текстурированная поверхность точнее, чем плоская, воспроизводит физиологическое окружение и очень сильно влияет на морфологию и ориентацию клеток.

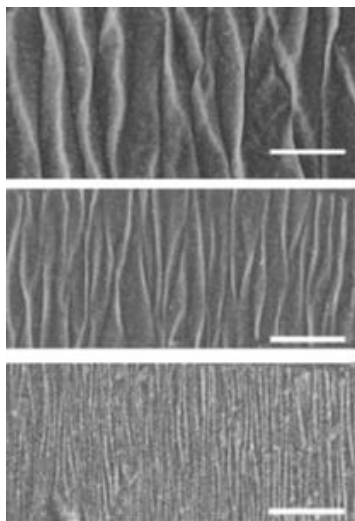


Рис. 2. Снизу вверх: поверхность пленок толщиной 20, 50 и 200 нм (соответственно, концентрация GO в суспензии растет от 0.02 до 0.2 мг/мл). Шкала 50 мкм.

В экспериментах использовали фибробласты (клетки соединительной ткани) человека и мыши на субстратах из плоского и волнистого GO с расстоянием между складками 25 мкм. Жизнеспособность клеток во всех случаях была выше 95%, что указывает на отличную биосовместимость. После культивирования в течение 96 ч сравнили угловую ориентацию и морфологию клеток (рис. 3). Видно, что клетки на гофрированном графене более узкие и длинные (ширина сравнима с расстоянием между складками), они ориентированы в узком угловом диапазоне вдоль складок, а на плоском распределены случайным образом.

Таким образом, предложен новый подход к созданию функциональных поверхностей и каркасов для тканевой инженерии. Авторы полагают, что он применим к различным клеткам, включая нейроны, кардиомиоциты, стволовые клетки. Тонкий и гибкий гофрированный графен можно объединять с мягкими растяжимыми вживляемыми устройствами (нейронными протезами, катетерами, клапанами) для улучшения биосовместимости и биоинтеграции.

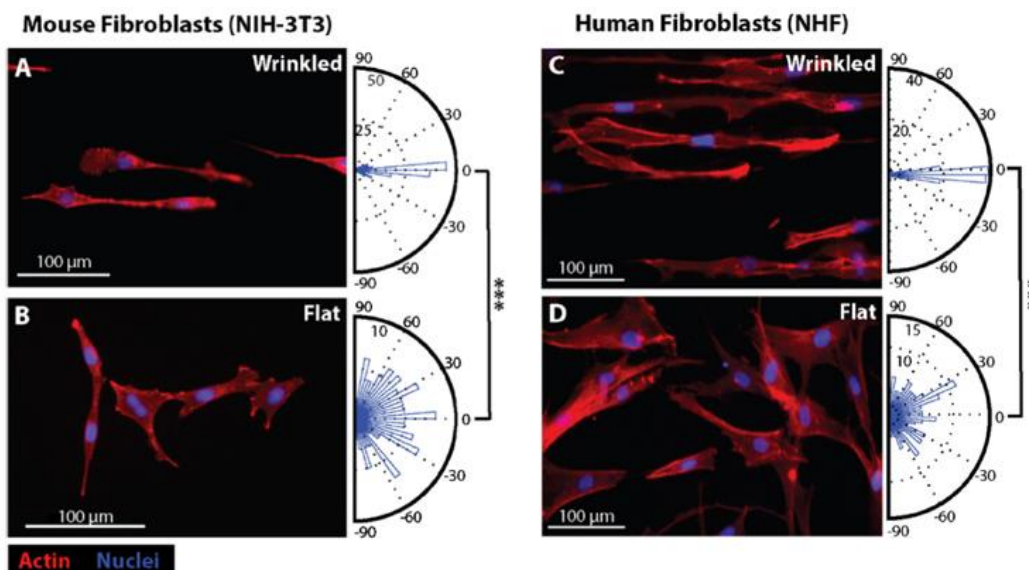


Рис. 3. Флуоресцентные изображения фибробластов мыши (слева) и человека (справа), культивированных на волнистом оксиде графена толщиной 200 нм (A и C) и на контрольном образце плоского графена (B и D).

О. Алексеева

1. [ПерсТ 18, вып. 13/14, с. 3 \(2011\).](#)
2. [Z.Wang et al., Carbon 97, 14 \(2016\).](#)
3. [ПерсТ 21, вып. 13/14, с.3 \(2014\).](#)

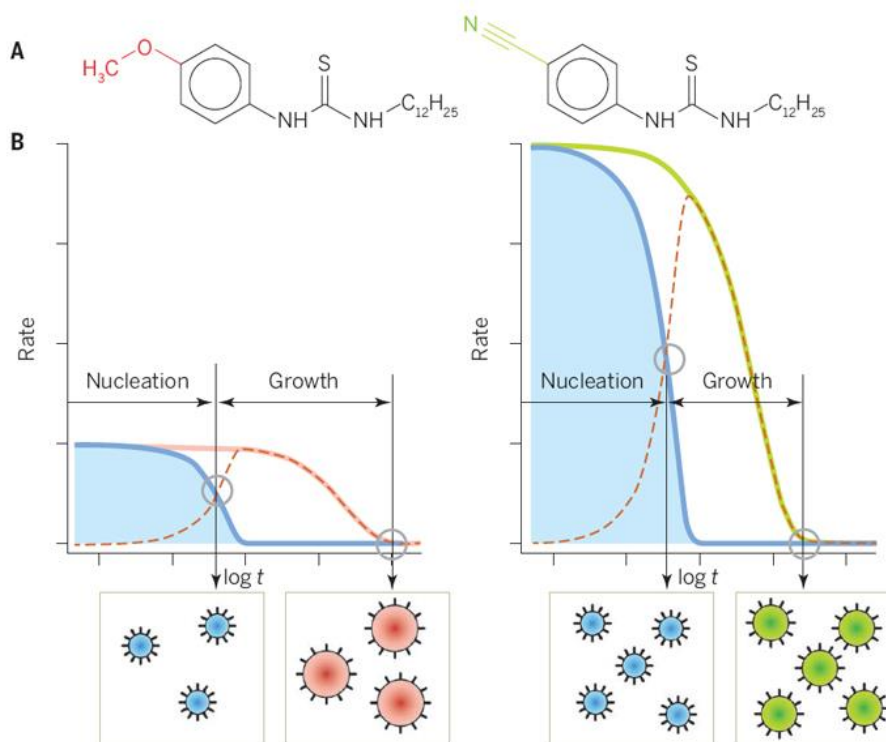
## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Коллоидные нанокристаллы для оптоэлектроники

Для использования коллоидных нанокристаллов (КН) в оптоэлектронных устройствах, катализе и пр. требуется жесткий контроль их размеров. В работе [1] на примере КН сульфидов металлов показано, что однородность КН по размерам можно существенно увеличить, путем подбора прекурсоров с соответствующими функциональными группами. В этом случае размеры КН определяются

конкуренцией процессов зародышеобразования и роста из раствора (см. рис.)

### Chemical control of quantum dot growth



Реакционную способность прекурсоров, используемых для выращивания нанокристаллов в коллоидном растворе, можно регулировать, изменяя определенные функциональные группы.

*I. M.P.Hendricks et al., Nature 348, 1226 (2015).*

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

### Домены и доменные границы в мультиферроиках

Под таким названием вышел обзор [1] во французском *Comptes Rendus Physique* (журнал, возможно, известен далеко не всем читателям ПерсТа, он является англоязычным продолжением традиций *Мемуаров французской академии наук*, ведущих свою историю с 1666 г.). Интерес именно к доменным границам (ДГ) в средах с несколькими видами упорядочения объясняется, с одной стороны, разнообразием современных методов наблюдения (различных мод электронной и сканирующей зондовой микроскопии), с помощью которых стала возможной визуализация сегнетоэлектрической и магнитной структуры и изучение их влияния друг на друга. С другой стороны, по мере миниатюризации спинтронных устройств возрастает роль кинетики доменных границ и явления их закрепления на дефектах (пиннинга). Не менее важно как с фундаментальной, так и с практической точек зрения то, что доменные границы обладают свойствами, не присущими доменам, которые они разделяют.

Весьма интригующими являются электропроводящие характеристики доменных границ, отличающие область ДГ от основного объема сегнетоэлектрика. Впервые это отличие было обнаружено в феррите висмута  $\text{BiFeO}_3$  в виде повышенной про-

водимости доменных границ, по сравнению с диэлектрической толщиной доменов. Интересно, что даже при стирании доменной границы ее “электропроводящий образ” остается запечатленным в сегнетоэлектрике. Как полагают, проводящие свойства ассоциированы с кислородными вакансиями, концентрирующихся вблизи доменных границ. В иттриевом манганите  $\text{YMnO}_3$ , напротив, границы хуже проводят электричество, чем основной объем образца. Как замечают авторы обзора [1], наблюдается следующая закономерность: доменные границы как бы восстанавливают симметрию и свойства соответствующей материалу парафазы – проводящей для феррита висмута и диэлектрической для манганита. Заметим, что для магнитных доменных границ все обстоит ровно наоборот: их симметрия ниже симметрии кристалла в доменах [2].

В другом манганите –  $\text{HoMnO}_3$  ситуация еще более запутанная: одни участки обладают повышенной проводимостью, другие – увеличенным сопротивлением (рис. 1). Все дело в электрическом заряде стенок (кстати, до активных исследований мультиферроиков считалось, что сегнетоэлектрическая доменная граница не может иметь электрический заряд): отрицательно заряженные доменные границы притягивают дырки, создавая резервуары со свободными носителями заряда, а положительно

заряженные – отталкивают их, создавая обедненные области повышенного сопротивления.

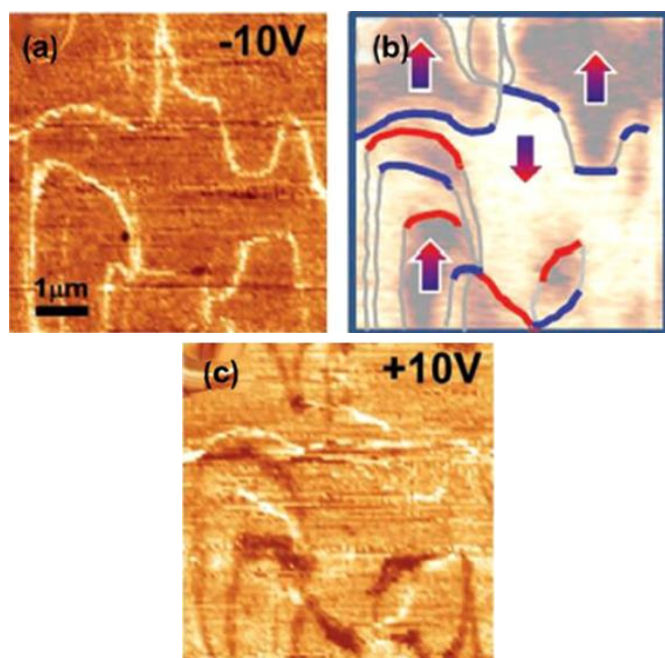


Рис. 1. Изображения полученные посредством атомно-силовой микроскопии поверхности (110)  $\text{HoMnO}_3$ : а – в режиме измерения электрического сопротивления при подаче напряжения  $-10\text{ В}$ ; б – изображение того же участка с помощью силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика: контраст изображения соответствует сегнетоэлектрическим доменам, стрелками показано направление электрической поляризации доменов, цветом – заряд доменных границ; с – то же, что и на левом изображении, но при обратном смещении  $+10\text{ В}$  [1].

Хотя основной акцент сделан на проводящих свойствах доменных границ, тематика обзора [1] требует также осветить их магнитные свойства. К сожалению, несмотря на теоретические предсказания, по сведениям авторов [1] пока не удалось обнаружить намагниченность, возникающую в месте расположения сегнетоэлектрических доменных границ в сегнетоэлектриках с антиферромагнитным упорядочением. Подобное усиление магнитного момента наблюдается только на границе ромбоэдрической и тетрагональной фаз в пленках феррита висмута [3].

Заметим, что существует и обратное явление – возникновение электрической поляризации в месте расположения магнитных доменных границ, теоретически предсказанное в [2] и экспериментально подтвержденное в [4], которое оказалось за рамками обзора [1].

А.Пятаков

1. S.Matzen, S.Fusil, C.R. *Physique* **16**, 227 (2015).
2. В.Г.Барьяхтар и др., *Письма в ЖЭТФ* **37**, 565 (1983).
3. J.X.Zhang et al., *Nanoscale* **4**, 6196 (2012)
4. A.S.Logginov et al., *Appl. Phys. Lett.* **93**, 182510 (2008).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Оптоэлектроника на борном фуллерене

Совсем недавно был успешно синтезирован полностью борный “фуллерен”  $\text{B}_{40}$  [1]. Это устойчивое соединение обладает  $D_{2d}$  симметрией и содержит треугольные, шестиугольные и семиугольные грани в отличие от классических фуллеренов, которые обладают исключительно пяти- и шестиугольными углеродными циклами. Авторы работы [2] обратили внимание, что НОМО-LUMO щель  $\text{B}_{40}$  составляет  $3.13\text{ эВ}$ , что попадает в диапазон энергий фотонов видимого излучения ( $1.6 \div 3.26\text{ эВ}$ ), поэтому, по их мнению, борный “фуллерен” мог бы стать перспективным материалом для элементной базы молекулярной электроники, в особенности, одномолекулярных оптоэлектронных устройств. С помощью компьютерного моделирования в рамках теории функционала плотности и метода неравновесных функций Грина исследователи попытались определить транспортные и оптические характеристики такого гипотетического прибора. Дизайн устройства был достаточно прост: изолированная молекула  $\text{B}_{40}$  располагалась между двумя золотыми электродами ( $\text{Au-B}_{40}\text{-Au}$ ). Авторы рассмотрели две конфигурации, соответствующие различным ориентациям  $\text{B}_{40}$  относительно электродов (см. рис. 1).

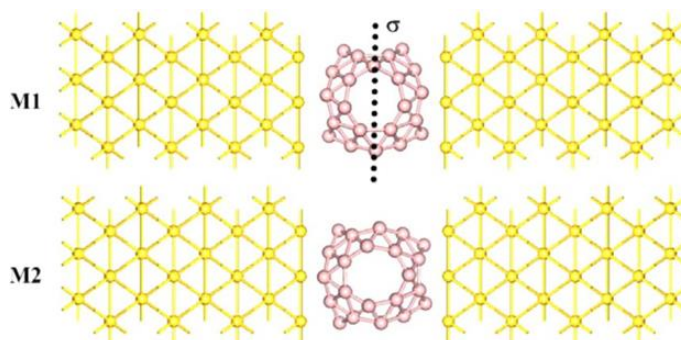


Рис. 1. Конфигурации одномолекулярного устройства  $\text{Au-B}_{40}\text{-Au}$ . Пунктирная линия обозначает плоскость симметрии.

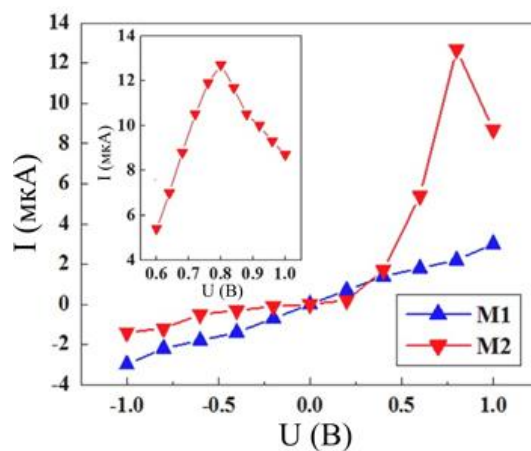


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) конфигураций M1 и M2 (см. рис. 1). На вставке показана ВАХ конфигурации M2 вблизи напряжения  $0.8\text{ В}$ .

Результаты показывают, что в случае определенного выбора контакта молекула–электрод можно добиться от устройства Au–В<sub>40</sub>–Au выпрямительных свойств. Кроме того, на вольт-амперной характеристике одной из конфигураций отчетливо видна область отрицательного дифференциального сопротивления (см. рис. 2). Авторы отмечают, что похожее поведение ранее наблюдалось и у изолированной молекулы С<sub>60</sub> “зажатой” между золотым электродом и углеродной нанотрубкой [3]. Таким образом, В<sub>40</sub> вполне может стать потенциальным прямым конкурентом С<sub>60</sub>. Дальнейшие исследования оптоэлектронных свойств показали, что подобное устройство обладает различным откликом в ИК, видимом и УФ диапазонах. Поэтому основным применением борного “фуллерена”, по мнению авторов, могут стать фотодетекторы.

*М.Маслов*

1. [ПерсТ 21, вып.17, с.5 \(2014\).](#)
2. Z.Yang et al., *Solid State Commun.* **217**, 38 (2015).
3. Z.Q.Fan et al., *J. Appl. Phys.* **109**, 124505 (2011).

## КОНФЕРЕНЦИИ

### ***Ultrafast Magnetism Conference (UMC 2015), October 19-23 2015, Nijmegen, Netherlands***

From the discovery of sub-picosecond demagnetization almost twenty years ago to the recent demonstration of magnetization reversal by femtosecond laser pulses in a large variety of magnetic materials, the manipulation of spins by ultrashort laser pulses has become a fundamentally challenging topic with a potentially high impact for future spintronics, data storage and manipulation and quantum computation. In the past years Ultrafast Magnetism has expanded in many directions opening new approaches like, time-resolved X-rays and TeraHertz probing, spatio-temporal dynamics of the magnetization either by X-ray diffraction or scanning probes, study of new magnetic materials and nanostructures, whereas new approaches for theoretical descriptions of non-equilibrium and non-adiabatic dynamics are being explored.

#### Topics

- Ultrafast laser-induced magnetization dynamics in metals semiconductors
- Ultrafast laser-induced magnetization dynamics in semiconductors
- Ultrafast laser-induced magnetization dynamics in dielectrics
- Ultrafast laser-induced magnetic switching
- Theory and simulations of Spin and Magnetization dynamics
- Femtosecond magneto-plasmonics and magneto-acoustics
- THz spin dynamics and magnonics
- X-ray and Extreme UV-probing of spin dynamics
- Spin-resolved electron techniques
- Coherent control of magnetism
- Optical control of multiferroics and strongly correlated systems

#### *Important dates*

The submission of abstracts is extended until **July 1 2015**

Website: <http://www.ru.nl/ssi/umc-october-2015/>

### ***5th International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers (IC-MAST 2015), September 27-30, 2015, Mykonos Island, Greece***

#### Topics

Some of the main topics of the IC-MAST are:

- New materials development
- Fabrication technology
- Actuators
- Optical devices
- Electrochemical devices

- Gas sensors
- Biosensors
- Analytical microsystems
- Environmental, process
- biomedical applications
- Physics of materials
- etc

#### **Special Workshops:**

- Bio-materials and therapeutic applications, organised by: Prof Angelo Ferraro
- Chemical Transducers, organised by: Prof Dino Musmarra
- Metal Oxide Gas Sensors, organised by: Prof Dimitrios Vlachos
- Nanomaterials in Life Sciences and Biomedicine, organised by: Prof Ioanna Giouroudi
- Piezoelectric materials and applications, organised by: Prof Sohini Kar-Narayan
- Sensor Interfacing, Networking and Data Handling, organised by: Prof Stelios Potirakis
- Steel Health Monitoring Using Magnetic Techniques, organised by: Prof Evangelos Hristoforou

#### *Important dates*

Abstract submission: **30 June 2015**

Website: <http://www.icmast.net>

#### ***2016 Joint MMM-Intermag Conference, January 11-15, 2016, San Diego, California***

This Conference will include basic and applied science and technology related to the field of magnetism. The technical subject categories for the Conference are as follows:

- I. Fundamental Properties and Cooperative Phenomena
- II. Magneto-electronic Materials and Phenomena
- III. Soft Magnetic Materials
- IV. Hard Magnetic Materials
- V. Structured Materials
- VI. Functional Magnetic Materials
- VII. Spintronics: Fundamentals and Devices
- VIII. Magnetization Dynamics and Micromagnetics
- IX. Magnetic Recording
- X. Sensors (not Magnetic Recording), High Frequency and Power Devices
- XI. Magnetic Characterization
- XII. Interdisciplinary Topics

#### *Important dates*

Abstract submission site opens **July 20, 2015**

Abstract submission site closes **August 7, 2015**

Website: [www.magnetism.org](http://www.magnetism.org)

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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