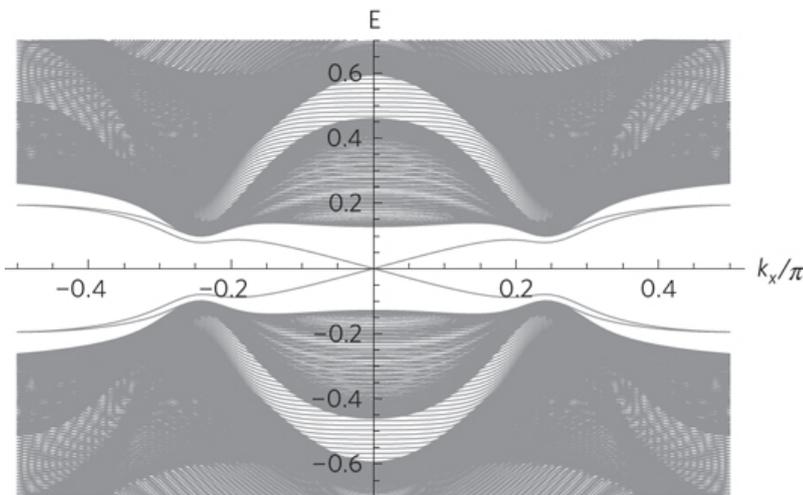


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### *Недодопированные купраты как топологические сверхпроводники*

Уже давно считается надежно установленным, что волновая функция куперовской пары в купратных ВТСП имеет  $d_{x^2-y^2}$ -волновую симметрию, и поэтому сверхпроводящая щель  $\Delta$  равна нулю в соответствующих направлениях импульсного пространства (диагоналях зоны Бриллюэна), называемых узловыми. Сюрпризом стало недавнее наблюдение конечной узловой  $\Delta$  в ряде сильно недодопированных ВТСП [1, 2]. В теоретической работе [3] (США, Китай) показано, что причиной этого может быть сосуществование топологического сверхпроводящего состояния  $(p \pm ip)_{\uparrow\downarrow}$  с антиферромагнитным порядком. Если это действительно так, то нам придется полностью пересмотреть общепринятую точку зрения на детали перехода антиферромагнитный диэлектрик  $\rightarrow$  сверхпроводник при допировании.



Краевой энергетический спектр в состоянии  $(p \pm ip)_{\uparrow\downarrow}$ -AF.

Чтобы проверить предсказания [3], можно использовать сканирующую туннельную микроскопию для визуализации краевых состояний (см. рис.), либо же поискать признаки хиральной сверхпроводимости в экспериментах по керровскому вращению.

Л. Оленов

1. Y. Peng et al., *Nature Commun.* **4**, 2459 (2013).

2. E. Razzoli et al., *Phys. Rev. Lett.* **110**, 047004 (2013).

3. Y.-M. Lu et al., *Nature Phys.* **10**, 634 (2014).

### *Внутренние джозефсоновские контакты в многозонном сверхпроводнике $(V_2Sr_4O_6)Fe_2As_2$*

Применение джозефсоновских контактов (сквид-магнетометры и пр.) основано на фазовой когерентности макроскопической волновой функции сверхпроводника. Такие контакты представляют собой слоистые гетероструктуры сверхпроводник/диэлектрик/сверхпроводник. После открытия купратных ВТСП, в которых

И далее ...

## ГРАФЕН

2 Токсичность графена

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

3 Изучение природных биокomпозитов поможет авиастроению

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

4 Структура наночастиц золота по данным просвечивающей электронной микроскопии

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Борный фуллерен

Челночная память на базе углеродных нанотрубок и графена

## ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

6 XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков

## КОНФЕРЕНЦИИ

7 8th Energy, Materials, and Nanotechnology (EMN) Fall Meeting, November 22-25, 2014, Orlando, Florida, USA

6th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'15), 4-7 August, 2015, New York City, NY, USA

сверхпроводящие плоскости  $\text{CuO}_2$  разделены диэлектрическими слоями, возникла идея использовать эти самоорганизованные “внутренние” джозефсоновские контакты (intrinsic Josephson junctions, iJJ) в практических целях. Особый интерес представляют iJJ в многослойных слоистых сверхпроводниках, таких как безмедные ВТСП на основе железа: наличие у них дополнительного межзонного канала туннелирования должно способствовать фазовой синхронизации всех iJJ.

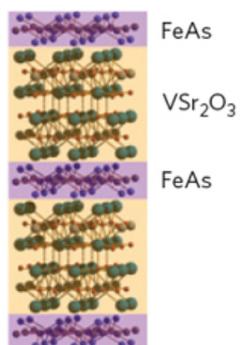


Рис. 1. Структура  $(\text{V}_2\text{Sr}_4\text{O}_6)\text{Fe}_2\text{As}_2$ : туннельные барьеры  $\text{VSr}_2\text{O}_3$  между сверхпроводящими слоями FeAs.

В работе [1] (Швейцария, Китай) представлены результаты исследования iJJ в монокристаллах  $(\text{V}_2\text{Sr}_4\text{O}_6)\text{Fe}_2\text{As}_2$  с  $T_c = 19$  К (рис. 1). При наличии перпендикулярного слоям постоянного электрического тока наблюдаются четко выраженные осцилляции напряжения как функции параллельной слоям компоненты магнитного поля (рис. 2).

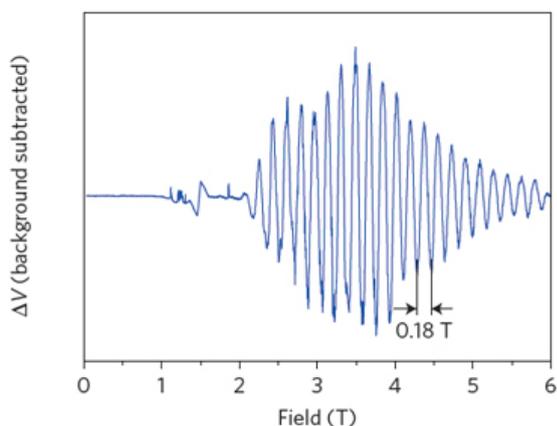


Рис. 2 . Осцилляции напряжения (за вычетом фона) в магнитном поле.  $I = 20$   $\mu\text{A}$ .

Это обусловлено модуляцией поверхностного барьера для поперечного движения джозефсоновских вихрей и свидетельствует о наличии в образцах множественных iJJ. Период осцилляций (0.178 Тл) соответствует полю, которое требуется для добавления одного кванта потока в каждый второй слой  $\text{VSr}_2\text{O}_3$  при формировании гексагональной вихревой решетки. Авторы полагают, что на основе iJJ удастся создать мощные источники терагерцового излучения и закрыть наконец-таки знаменитую “терагерцовую щель”.

Л. Опенов

1. P.J.W.Moll et al., *Nature Phys.* **10**, 644 (2014).

## ГРАФЕН

### Токсичность графена

Углеродные наноструктуры, такие как фуллерены, нанотрубки и графен рассматриваются многими авторами как материал, который может быть использован в медицинских и фармакологических целях. В частности, имеется множество публикаций по использованию таких структур в качестве средства доставки лекарственных препаратов в нужную область организма. Наряду с этим, большое внимание уделяется проблеме использования углеродных наноструктур в целях диагностики различных заболеваний, в качестве биосенсора, чувствительного к сорбции клеток злокачественных опухолей. При этом, хотя организм человека содержит около 10% углерода, вопрос о возможном вредном влиянии углеродных наноструктур на здоровье живого организма до сих пор является предметом интенсивных дискуссий в литературе. Результаты последних экспериментов указывают на непростой характер взаимодействия углеродных наноструктур с клетками живых организмов. Так, в работе [1], выполненной группой исследователей из Warsaw Univ. of Life Sciences (Польша) и Univ. of Copenhagen (Дания), установлено вредоносное влияние внедрения графеновых хлопьев в клетки развивающегося организма, которое должно приниматься во внимание при любых медицинских применениях графена.

В качестве модельного объекта для исследования токсичности графена авторы использовали куриные яйца, преимущества которых обусловлены достаточно высокой скоростью роста зародышей, высокой чувствительностью к внешним воздействиям и отсутствием барьера кровь-мозг при эмбриогенезе. Яйца были разделены на 7 групп, по 30 штук в каждой группе. Графен в виде порошка с удельной площадью поверхности 120–150  $\text{m}^2/\text{г}$  и степенью очистки 99.5% состоял из хлопьев толщиной 1 – 5 нм и поперечным размером от 1 до 4  $\mu\text{м}$ . Образцы суспензии этого порошка в очищенной воде при концентрациях 50, 100, 500, 1000, 5000, и 10000  $\text{мкг}/\text{л}$  обрабатывали ультразвуком в течение 30 мин, после чего по 0.3 мл суспензии инжесктировали в куриные яйца, помещенные в инкубатор. После 19 дней инкубационного периода яйца вскрывали, и их содержимое тщательно исследовали в соответствии со стандартной процедурой. Результаты таких исследований приведены в таблице, в частности, относительное количество выживших эмбрионов (%), их дефектность, а также масса эмбриона, печени, мозга, сердца, селезенки, бурсы Фабрициуса. Каждый из приведенных показателей является результатом усреднения по 15 эмбрионам.

*Фактор выживания и массы органов эмбрионов, подвергнутых инъекции водной суспензии графена различной концентрации*

Концентрация графена, мкг/л	0	50	100	500	1000	5000	10000
Фактор выживания, %	93.3	73.3	66.7	79.0	76.7	73.3	66.7
Число дефектов		1	1	2	3	1	1
Масса эмбриона, г	52.59	49.04	49.64	51.52	51.46	53.01	54.46
Масса печени, г	1.02	1.30	1.08	1.04	0.95	1.02	0.96
Масса мозга, г	0.82	0.86	0.84	0.83	0.84	0.80	0.77
Масса сердца, г	0.32	0.34	0.38	0.31	0.30	0.28	0.27
Масса селезенки, г	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Масса бурсы Фабрициуса, г	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06

Как видно из приведенной таблицы, инъектирование суспензии графена при любой концентрации существенно снижает выживаемость эмбрионов. Максимальное количество дефектов наблюдается в случае инъектирования суспензии с концентрацией графена 1000 мкг/л. В то же время следует отметить, что инъектирование суспензии графена практически не оказывает воздействия на массу эмбрионов и их основных органов. Тем самым, результаты исследования указывают на токсичность графена по отношению к зародышам цыплят.

*А. Елецкий*

*I. E. Sawosz et al., Int. J. of Nanomedicine 9, 3913 (2014).*

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### *Изучение природных биокompозитов поможет авиастроению*

Композиты, созданные природой из органических и неорганических компонентов, иерархически организованных на нано-, микро- и мезоуровнях, обладают уникальными механическими свойствами. Например, утолщенная ногочелюсть морского хищника рака-богомолы *Odontodactylus scyllarus* является мощным орудием, которым он раскалывает раковины и панцири своих жертв, нанося удары силой  $\geq 700$  Н [1]. Исследования, проведенные в работах [2, 3], показали, что биокompозит “молотка” состоит из слоев минерализованных хитиновых волокон. В основной области эти слои образуют специфическую винтообразную структуру, которая поглощает энергию при ударе и не дает распространяться трещинам (рис. 1).

Основываясь на этих и некоторых других результатах американские ученые [3] решили создать похожие композиты, используя препреги из углеродной волокнистой основы, пропитанной эпоксидной смолой (*pre-preg* сокр. от *pre-impregnated*). Эти композиционные полуфабрикаты широко применяются в авиастроении для снижения веса и улучшения прочностных характеристик самолетов, в том числе и российских. Однако стандартные панели обычно являются квазиизотропными – при их

производстве волокнистые слои препрегов ориентируют в направлении  $0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ$  и т.д. Используя подсказку природы, авторы [3] применили винтовую укладку слоев. Было изучено 5 композитных панелей 350x180 мм, состоящих из 48 слоев препрега: три образца с винтовой укладкой (углы поворота  $7.8^\circ, 16.3^\circ, 25.7^\circ$ ), а также контрольные однонаправленные и квазиизотропные образцы (рис. 2).

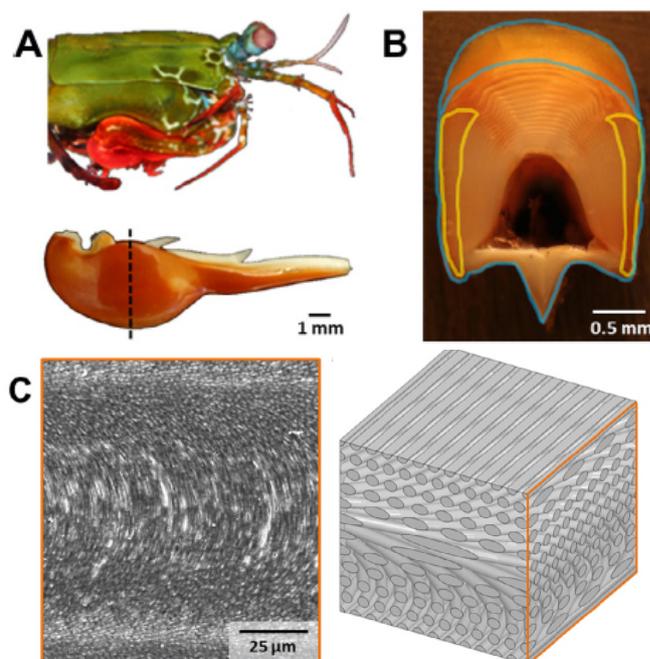


Рис. 1. А – фотография *Odontodactylus scyllarus* и изображение конечности, исследованной в [3]. В – фотография сечения ударной конечности. Голубым выделена наиболее минерализованная твердая область внешнего слоя (ударная поверхность), желтым – полосчатая боковая, которая препятствует поперечному расширению при ударе. Остальное – наиболее важная периодическая область. С – SEM изображение сечения одного слоя в периодической области и схема, поясняющая образование структуры арок

Исследователи сравнили ударную вязкость этих композитов (способность поглощать механическую энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки). Воздействие ударной

нагрузки, создаваемой падающим грузом с полусферическим наконечником диаметром 16 мм, оценивали визуально на стороне, обратной приложению нагрузки; по глубине отпечатка (лунки) и используя УЗ сканирование. Энергия удара 100 Дж.

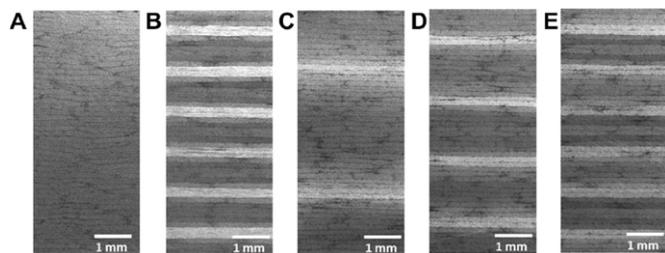


Рис. 2. Сечения образцов композитных панелей с разной укладкой слоев. А – однонаправленная, В – квазиизотропная, С – небольшой угол поворота ( $7.8^\circ$ ), D – средний угол ( $16.3^\circ$ ), E – большой угол ( $25.7^\circ$ ).

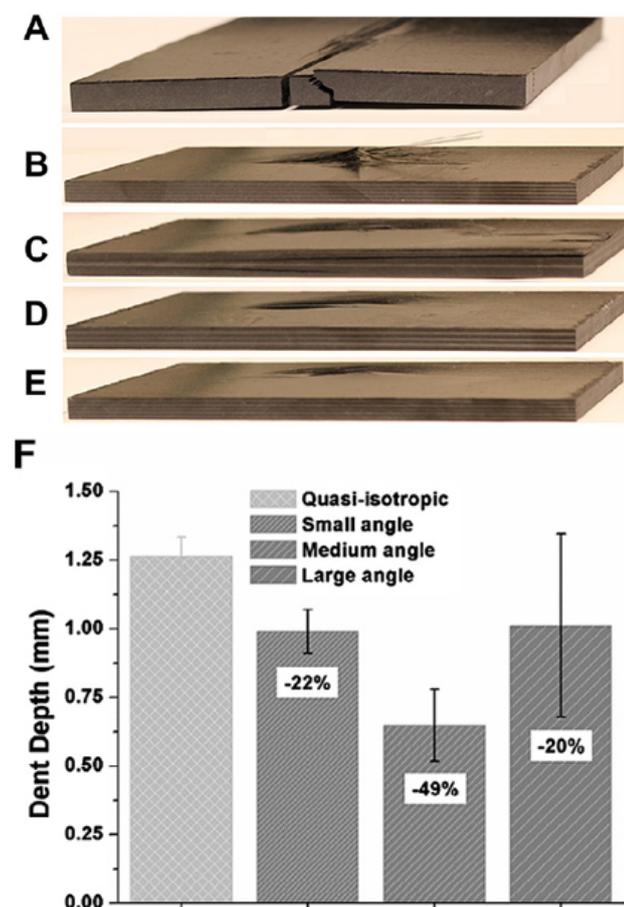


Рис. 3. Результат воздействия ударной нагрузки. А – однонаправленный образец, В – квазиизотропный, С – слои с малым углом поворота, D – слои со средним углом поворота, E – слои с большим углом поворота. F – глубина отпечатка (в процентах показано уменьшение глубины для образцов с винтовой укладкой).

Как видно на рис. 3А, однонаправленный образец расщепился и разрушился. Квазиизотропный образец пробит насквозь, и волокна в нем сильно повреждены (рис. 3В). Хотя в образцах с винтовой укладкой происходит некоторое расслоение, они не пробиты (рис. 3С, D, E), и глубина отпечатка на 20-50% меньше, чем для квазиизотропного образца

(рис. 3F). Ультразвуковые испытания показали, что при винтовой укладке повреждения структуры распространяются в горизонтальном направлении, и катастрофического разрушения образца как в квазиизотропном случае не происходит.

Полученные экспериментальные данные, а также результаты проведенного математического моделирования помогут в создании более прочных композитных материалов для авиастроения.

О. Алексеева

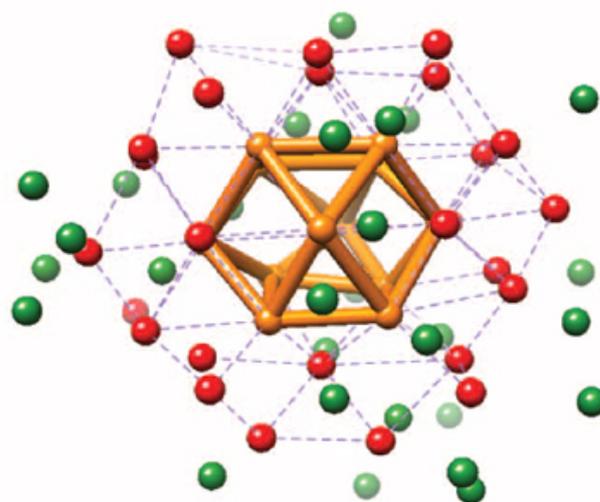
1. [ПерсТ 19, вып.19, с.3 \(2012\).](#)

2. *J.C.Weaver et al., Science 336, 1275 (2012).*

3. *L.K.Grunenfelder et al., Acta Biomater. 10, 3997 (2014).*

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ Структура наночастиц золота по данным просвечивающей электронной микроскопии

Наночастицы золота представляют собой как фундаментальный, так и практический (биомедицина, квантовая электроника) интерес. Чтобы лучше понять физические и химические свойства этих наночастиц, требуется изучить их структуру, причем с атомным разрешением. Используя рентгеноструктурный анализ, это удалось сделать пока только для наночастиц  $Au_{102}$ . В работе [1] (США, Финляндия, Япония) структура наночастиц  $Au_{68}$  исследована методом просвечивающей электронной микроскопии с поправкой на абберацию. Установлено, что в центре наночастицы находится кубоктаэдр  $Au_{13}$ , его окружают 24 атома с ГЦК упаковкой, а остальные атомы находятся в положениях с низкой симметрией или вообще без таковой (см. рис.).



Атомная структура наночастицы  $Au_{68}$ . Зеленым цветом выделены атомы в положениях с низкой симметрией.

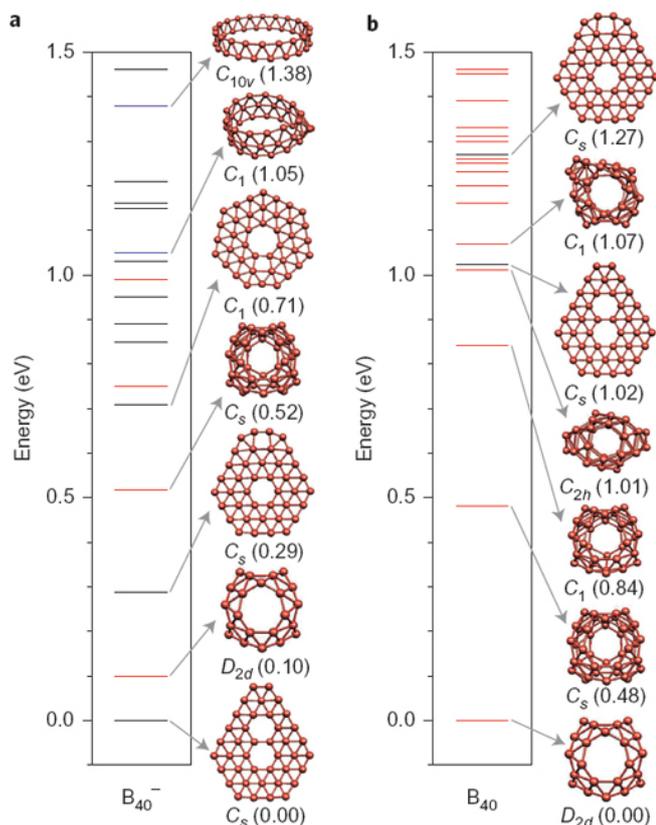
Полученные результаты подтверждены данными малоуглового рассеяния рентгеновских лучей и ИК-спектроскопии, а также расчетами из первых принципов.

1. *M.Azubel et al., Science 345, 909 (2014).*

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Борный фуллерен

После открытия фуллерена  $C_{60}$  были предприняты многочисленные попытки изготовить сферообразные наноструктуры такого типа и из других химических элементов, в том числе из бора. Исследования анионов  $B_n^-$  показали, что при  $n \leq 36$  наиболее устойчивыми (имеющими минимальную энергию) являются двумерные изомеры. К такому же выводу пришли авторы работы [1], изучавшие кластеры  $B_{40}$  методом фотоэлектронной спектроскопии. На этот раз, однако, в кластерном пучке (образующемся при лазерном испарении мишени) были обнаружены и фуллерены, имевшие, правда, чуть более высокую энергию. Расчеты из первых принципов показали, что для нейтральных кластеров  $B_{40}$  последовательность расположения изомеров на энергетической шкале изменяется, и фуллерен  $B_{40}$  становится уже не метастабильным, а устойчивым (см. рис.).



Структура и энергетика заряженных (a) и нейтральных (b) кластеров  $B_{40}$ . В обоих случаях за начало отсчета принята энергия самого устойчивого изомера.

В отличие от классических фуллеренов с шести- и пятиугольными гранями, у фуллерена  $B_{40}$  (который в [1] предлагают назвать “боросференом”) имеется 48 треугольных граней, 2 шестиугольные и 4 семиугольные. Валентные электроны (по три от каждого атома) образуют 60 делокализованных связей (48  $\sigma$  и 12  $\pi$ ), а привычные двухцентровые локализованные связи отсутствуют. Щель НОМО-LUMO со-

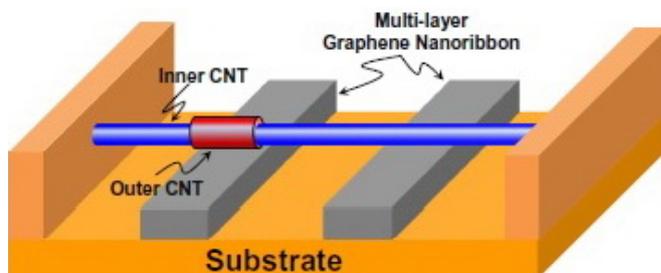
ставляет 3.13 эВ. По данным молекулярной динамики, при нагреве до 1000 К фуллерен  $B_{40}$  сохраняет свою структуру в течение по крайней мере нескольких тысяч периодов колебаний. Из-за малого количества электронов у атомов бора в конденсированной фазе должно иметь место сильное ковалентное взаимодействие соседних фуллеренов  $B_{40}$ , что осложнит изготовление из них объемных материалов наподобие фуллерита  $C_{60}$ . Предварительные расчеты указывают на возможность существования эндодральных фуллеренов  $M@B_{40}$  с  $M = Ca, Y, La$ .

Л. Опенов

1. H.-J.Zhai et al., Nature Chem. 6, 727 (2014).

### Челночная память на базе углеродных нанотрубок и графена

Стремительное развитие IT-индустрии, увеличение быстродействия и миниатюризация современных вычислительных устройств диктует необходимость разработки соответствующих системных компонентов, в том числе, модулей памяти. Углеродные наноструктуры, а именно, графен, нанотрубки и фуллерены часто рассматриваются в качестве перспективных функциональных материалов для создания технологической основы современной элементной базы наноэлектроники. Так, в работе [1] авторы предлагают интересный концепт энергонезависимого запоминающего устройства гибридного типа, построенного на основе графена и углеродных нанотрубок. Оно состоит из подложки, электродов, массива графеновых нанолент и двух нанотрубок различного диаметра. При этом внутренняя нанотрубка закреплена между электродами, а более короткая внешняя остается подвижной и способна перемещаться вдоль нанотрубки меньшего диаметра (см. рис.). Кодирование информации происходит посредством идентификации положения короткой нанотрубки относительно графеновых лент. Такая концепция получила название челночной памяти (shuttle-memory).



Схематическое устройство концепта челночной памяти на основе графена и углеродных нанотрубок.

В качестве модели для проведения компьютерного эксперимента авторы взяли две углеродные нанотрубки кресельного типа с индексами хиральности (3,3) и (8,8). Сильное ковалентное взаимодействие исследователи описывали классическими потенциалами типа Терзофа-Бреннера, а дальное дей-

вующее вандерваальсовское – потенциалом Леннарда-Джонса. После проведения структурной релаксации авторы выяснили, что система имеет два ярко выраженных энергетических минимума разделенных максимумом. Минимумы отвечают положению внешней нанотрубки точно над полосками графена, максимум – положению между ними. На следующем шаге авторы попытались оценить операционные характеристики устройства с помощью непосредственных молекулярно-динамических расчетов. Внешнюю нанотрубку размещали точно между двумя графеновыми лентами, а затем к ней прикладывали внешнюю силу величиной 1.36 эВ/нм. Процесс переключения происходил за 50 пс, при этом “скользящая” нанотрубка позиционировалась точно над графеновой лентой. В реальной ситуации для перемещения нанотрубки-челнока авторы предлагают использовать прямые механические манипуляции, электростатические и магнитные силы или термическое воздействие. Снимать же данные можно электрическим, магнитным и оптическим методами.

Авторы надеются, что элемент памяти из углеродных нанотрубок и графена станет основой будущих молекулярных компьютеров. Однако необходимо проведение более детальных, уже не классических, а квантово-механических расчетов для определения структурных, электронных, транспортных свойств системы, а также оценки влияния электрического и магнитного полей на операционные характеристики устройства.

*М. Маслов*

*I. J.W. Kang, K.W. Lee, Comput. Mater. Sci. 93, 164 (2014).*

## ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

### **XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков**

С 18 по 22 августа 2014 г. на базе отдыха “Бузим” под Красноярском проходила юбилейная Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков ВКС-XX. Принимающей стороной выступал Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН и Красноярский научный центр СО РАН.

Открывал конференцию доклад профессора И.Н. Флерова, посвященный мультикалорическим эффектам. Под таковыми понимаются калорические явления, связанные с действием электрического, магнитного и упругого полей, а также их попарным взаимодействием: пьезомагнитокалорическим, пьезоэлектрокалорическим и магнитоэлектрокалорическим эффектами [1]. Довольно естественно ожидать, что такие эффекты должны наблюдаться в мультиферроиках – средах, имеющих несколько типов упорядочений: магнитный, электрический и

сегнетоэластический. Эта тематика совсем еще новая, публикации по ней носят теоретический характер, тем более важно, что в данном докладе были представлены первые экспериментальные результаты в композитном материале, в котором барокалорический эффект добавлял 20% к величине магнитокалорического. Интересно отметить, что, по признанию автора, одним из поводов к выбору темы пленарного доклада была заметка в ПерсТе “Мультиферроики становятся мультикалориками” [2].



Рис. 1. Пленарные заседания ВКС-XX (доклад Р.В. Писарева).

Вообще тематика мультиферроиков занимала важное место в программе конференции, ей были посвящены пленарные доклады Р.В. Писарева и А.П. Пятакова, отдельная секция конференции, а также круглый стол, на котором обсуждались эволюция самого понятия “мультиферроик” (ставшего, фактически, синонимом термина “сегнетомагнетик”, и от того потерявший часть полезных смыслов), а также практические аспекты, связанные с возможностями применения этих материалов. В программе конференции также нашли отражение другие актуальные темы в области сегнетоэлектричества: релаксоры (пленарный доклад О.Е. Квятковского и посвященная релаксорам секция), суперпротоники – кристаллы с перестраивающимися водородными связями (пленарный доклад И.П. Макаровой), сегнетоэлектрические фотонные кристаллы (доклад В.С. Горелика) а также, ранее считавшихся невозможными, заряженные доменные границы в собственных сегнетоэлектриках (пленарный доклад А.К. Таганцева и доклады научной группы В.Я. Шура).

В рамках симпозиума осуществляла работу Школа для молодых ученых, в которой в качестве лекторов выступили академики А.С. Сигов, В.Ф. Шабанов, профессора В.Я. Шур, Е.Д. Политова.

Культурная программа включала в себя поездку на теплоходе вдоль живописных берегов Красноярского водохранилища и реки Бирюсы, а также пешую экскурсию в знаменитый заповедник “Столбы”.



а



б

Рис. 2. а – Сопредседатель организационного комитета А.С. Сигов и зам. председателя программного комитета Т.Р. Волк на борту теплохода; б – Р.В. Писарев и В.С. Горелик обсуждают вопросы нелинейной оптики

А. Пятаков

1. А.С. Старков, И.А. Старков, *ЖЭТФ* **146**, 297 (2014).
2. [ПерсТ 19, вып. 20, с. 7 \(2013\)](#).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**8th Energy, Materials, and Nanotechnology (EMN) Fall Meeting, November 22-25, 2014, Orlando, Florida, USA**

*Topics*

- \* Advanced Nanomaterials and Nanotechnologies for Biomedical Applications
- \* Advanced Plasmonics and Photonics for Nano-bio Application
- \* CNTs, Graphene and 2D Materials
- \* EMN General Workshop on Energy
- \* EMN General Workshop on Materials

- \* EMN General Workshop on Nanotechnology
- \* Functional Materials
- \* Metamaterials and Transformation Optics
- \* Nanocarbon Based Supercapacitors
- \* Nanomaterials for Photochemical Solar Cells
- \* Nanophotonics and Plasmonics
- \* Nanoscale Optics and Photonics
- \* Novel Magnetic Materials and Phenomena
- \* Resistive Switchings of Oxides and Related Nanocomposites / Heterostructures
- \* Smart Sensor Materials and Technologies
- \* 2D Organic Nanohybrid Materials

Web: <http://www.emnfall.org/2014>

**6th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'15), 4-7 August, 2015, New York City, NY, USA**

The program will facilitate discussions on various current topics such as metasurfaces, topological effects in optics, two-dimensional materials, light-matter interaction in nanocavities, plasmonic circuits, thermal engineering, quantum photonic systems, etc. The program will provide insights into the latest trends and strategies actionable to deal with the practical challenges faced by the community. The program will also feature plenary, keynote and invited speakers addressing the most pressing issues of the subject and best practices to inspire the participants.

*Important Dates*

Summary submission deadline: **February 9, 2015**

Final manuscript submission deadline: **May 11, 2015**

Early bird registration deadline: **May 11, 2015**

Web: <http://meta15.metaconferences.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.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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