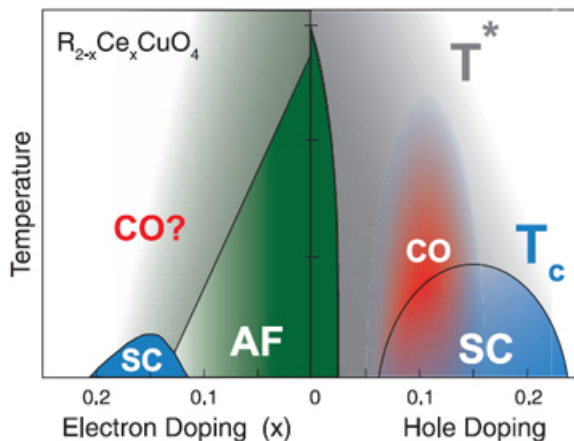


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Зарядовый порядок в $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$

В купратных ВТСП проявляются неустойчивости электронной подсистемы, приводящие к возникновению различных типов параметра порядка, а не только к сверхпроводимости. Имеют ли они какое-то отношение к механизму куперовского спаривания, остается неясным. Общим для всех ВТСП с дырочным типом допирования является наличие в псевдощелевой фазе зарядового порядка (charge ordering, CO), конкурирующего со сверхпроводимостью. В купратах с электронным допированием CO пока не был обнаружен.



Фазовые диаграммы купратных ВТСП с электронным и дырочным допированием. SC – сверхпроводимость, AF – антиферромагнетизм, CO – зарядовый порядок. Зеленый и серый цвет – псевдощелевые фазы.

В работе [1] (Канада, Германия, США) сообщается о наблюдении CO в электронном ВТСП  $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$  с близким к оптимальному уровнем допирования  $x = 0.14 \div 0.15$ . Используя методику резонансного рассеяния рентгеновских лучей, авторы [1] установили, что этот CO имеет такую же периодичность (четыре постоянные решетки) и такое же направление (вдоль связей Cu–O), как и в дырочных ВТСП. Однако, в отличие от последних, температура образования CO ( $\approx 340$  K) выше, чем температура появления псевдощели ( $80 \div 170$  K), но близка к температуре возникновения антиферромагнитных флуктуаций ( $\approx 320$  K). Для прояснения роли антиферромагнетизма в формировании CO требуются дальнейшие исследования.

Л.Опенев

1. E.H. da Silva Neto et al., *Science* **347**, 282 (2015).

### Антиферромагнитные спиновые флуктуации и куперовское спаривание в пниктидах железа

На роль бозонов, обмен которыми приводит к куперовскому спариванию электронов в пниктидах железа, претендуют, во-первых, антиферромагнитные спиновые флуктуации и, во-вторых, *d*-орбитальные флуктуации, усиленные фононами. Чтобы разобраться, какие же из них ответственны за сверхпроводимость безмедных ВТСП, авторы работы [1] (США, Шотландия, Япония, Тайвань)

И далее ...

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2    Одиночные спины в карбиде кремния

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 2    Оценка рисков воздействия наноматериалов, используемых в армии
- 4    В шаге от углеродных полипризматов?

## СНОВА К ОСНОВАМ

- 5    Градусник для нано

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Магнитный линейный дихроизм для контроля магнитной памяти в антиферромагнетике при комнатной температуре

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 7    “Мысли рационализатора” или флаг как электрогенератор

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 7    Научная сессия ОФН РАН, посвященная 75-летию ИЗМИРАН 25 февраля 2015 г.

сопоставили экспериментальные данные по интерференции квазичастиц в LiFeAs с расчетами собственной-энергетической части электронной функции Грина, выполненными с учетом рассеяния квазичастиц на флуктуациях того или иного происхождения. Оказалось, что наилучшее соответствие имеет место для антиферромагнитных спиновых флуктуаций. По-видимому, именно они являются основным “спаривающим клеем” в пниктидах.

1. M.P.Allan et al., *Nature Phys.* **11**, 177 (2015).

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Одиночные спины в карбиде кремния

Большие времена  $\tau$  спиновой когерентности центров азот-вакансия в алмазе и примесей фосфора в кремнии делают эти объекты привлекательными для использования в квантовой информатике. Теперь у них появились конкуренты – электронные спины нейтральных бивакансий (рис. 1) и одиночных кремниевых вакансий (рис. 2) в карбиде кремния [1, 2].

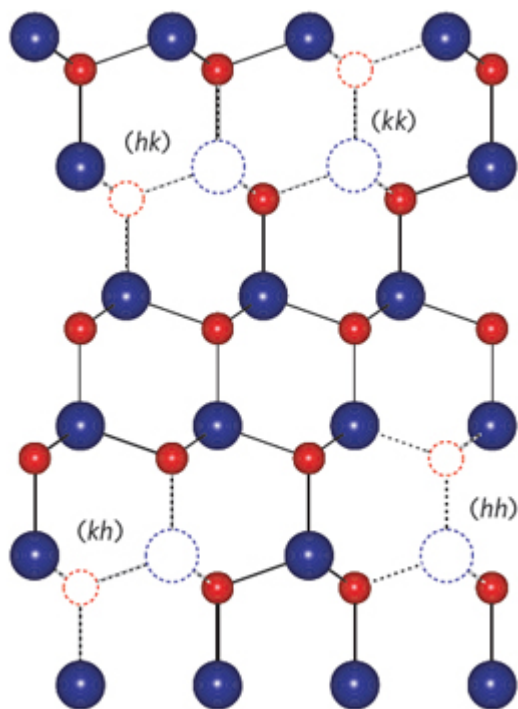


Рис. 1. Четыре возможных типа ориентации бивакансии в SiC. Синие и красные пунктирные кружки – одиночные вакансии кремния и углерода, соответственно.

Авторы статьи [1] (США, Швеция, Япония) получили  $\tau = 1.2$  мс при  $T = 20$  К, тогда как в работе [2] (Германия, Швеция, Китай, Япония, Венгрия) величина  $\tau$  составила  $(0.16 \div 1)$  мс при комнатной температуре. Обе группы использовали спин-зависимую фотолюминесценцию для регистрации спинов и импульсное СВЧ магнитное поле для управления ими. Дальнейшего увеличения  $\tau$  можно добиться, очистив образцы от изотопов  $^{13}\text{C}$  и  $^{29}\text{Si}$  с ненулевыми ядерными спинами.

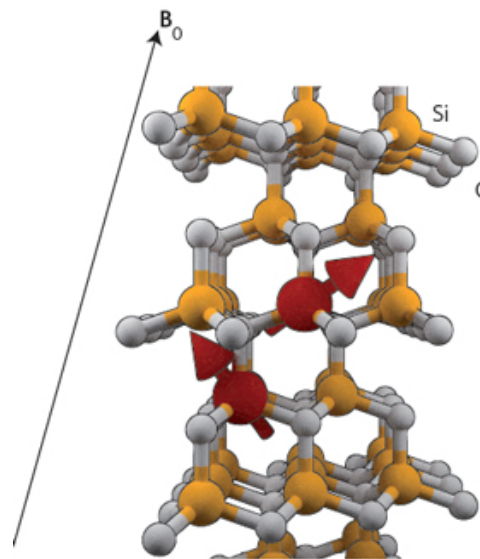


Рис. 2. Спины одиночных кремниевых вакансий в SiC (красные стрелки) контролируются и регистрируются с использованием внешнего магнитного поля  $\mathbf{B}_0$ .

По материалам заметки “Single spins in silicon carbide”, A.Morello, *Nature Mat.* **14**, 135 (2015).

1. D.J.Christle et al., *Nature Mater.* **14**, 160 (2015).

2. M.Widmann et al., *Nature Mater.* **14**, 164 (2015).

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Оценка рисков воздействия наноматериалов, используемых в армии

Изучение воздействия наноматериалов (НМ) и наночастиц (НЧ) на организм человека является необходимым условием обеспечения их безопасного производства и использования. Методология оценки рисков воздействия НМ интенсивно развивается во всем мире. В последние годы в России были разработаны специальные регламенты и методические рекомендации [1,2], однако по-прежнему остается много вопросов. Для наноматериалов пока окончательно не выбраны показатели воздействия, неизвестны коэффициенты риска. Ученые НИЦ “Курчатовский институт”, используя накопленный опыт применения методов оценки риска от воздействия ионизирующего излучения и других источников вреда, представили свой подход к разработке методики оценки риска воздействия НЧ и нанобиоматериалов (НБМ) [3]. По их мнению, эта частная конкретная методика должна разрабатываться на основе общей, применимой к любому источнику вредного воздействия.

Американские ученые предложили применять для оценки воздействия НМ и НЧ алгоритм ранжирования относительных рисков [4]. Они рассмотрели реальный случай использования наноматериалов в армии и учли не только их физико-химические характеристики, но также характеристики армейского оборудования, в котором есть конкретный наноматериал. В данном случае оборудование – это сенсо-

ры, аккумуляторы, фильтры, перевязочные материалы, различные нанокompозиты, аэрозольные завесы, смазочные материалы и многое другое (даже “использование НМ в исследованиях и разработках”). Опросив специалистов, авторы [4] создали базу данных для пар НМ-оборудование, куда данный НМ входит. В анализе использовали 45 НМ, 30 видов армейского оборудования и 133 пары НМ-оборудование. На основе имеющихся научных данных было выбрано 27 физико-химических характеристик НМ для ранжирования риска. Основные – потенциал деградации, поверхностный заряд, токсичность, размер и форма частиц, растворимость. Эти характеристики связаны с тремя факторами риска – возможным выбросом НМ (вероятностью попадания в окружающую среду при использовании данного оборудования), воздействием (вероятностью попадания в организм солдата или работ-

ника при вдыхании, через кожу и др.), токсичностью.

Также были выбраны характеристики армейского оборудования, важные для определения относительного риска пары. Это – количество НМ, входящего в данное оборудование; число “изделий” с данным НМ; количество людей, которые могут подвергаться воздействию; цель использования НМ (например, для защитного слоя одежды или создания аэрозольной завесы); способ использования (порошок, в полимерной матрице и т.д.); несовместимость с какими-либо материалами и некоторые другие.

На рис. 1 показано распределение наноматериалов по 133 парам. На 1 месте оказались углеродные нанотрубки (13 вариантов применений), затем Ag, Au, Al (6 вариантов).

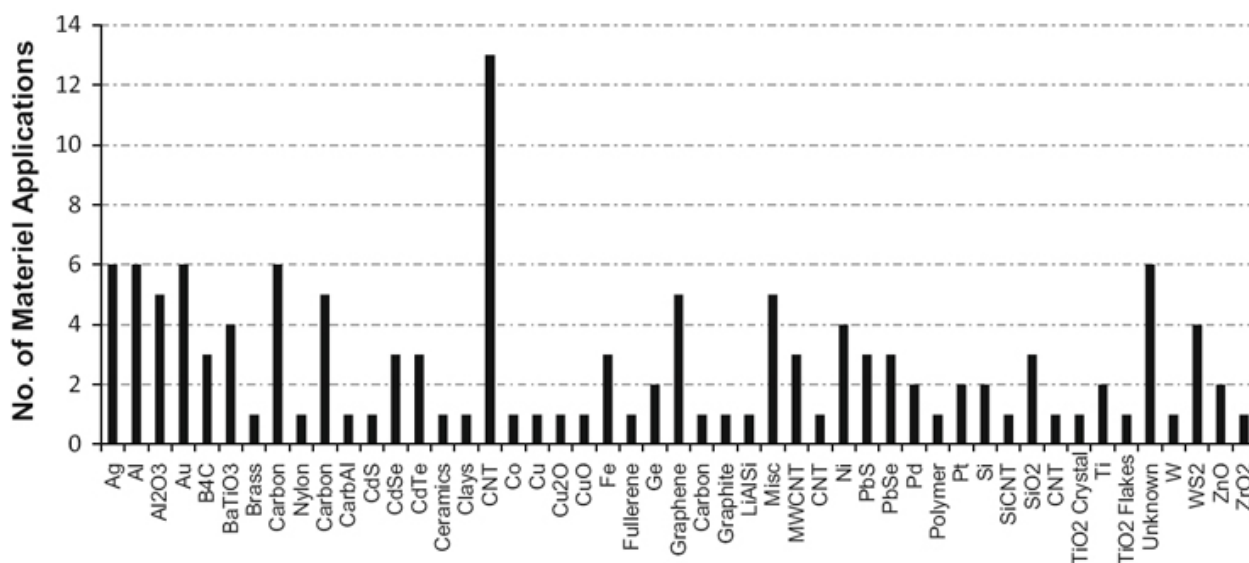


Рис.1. Распределение наноматериалов по 133 парам НМ-оборудование

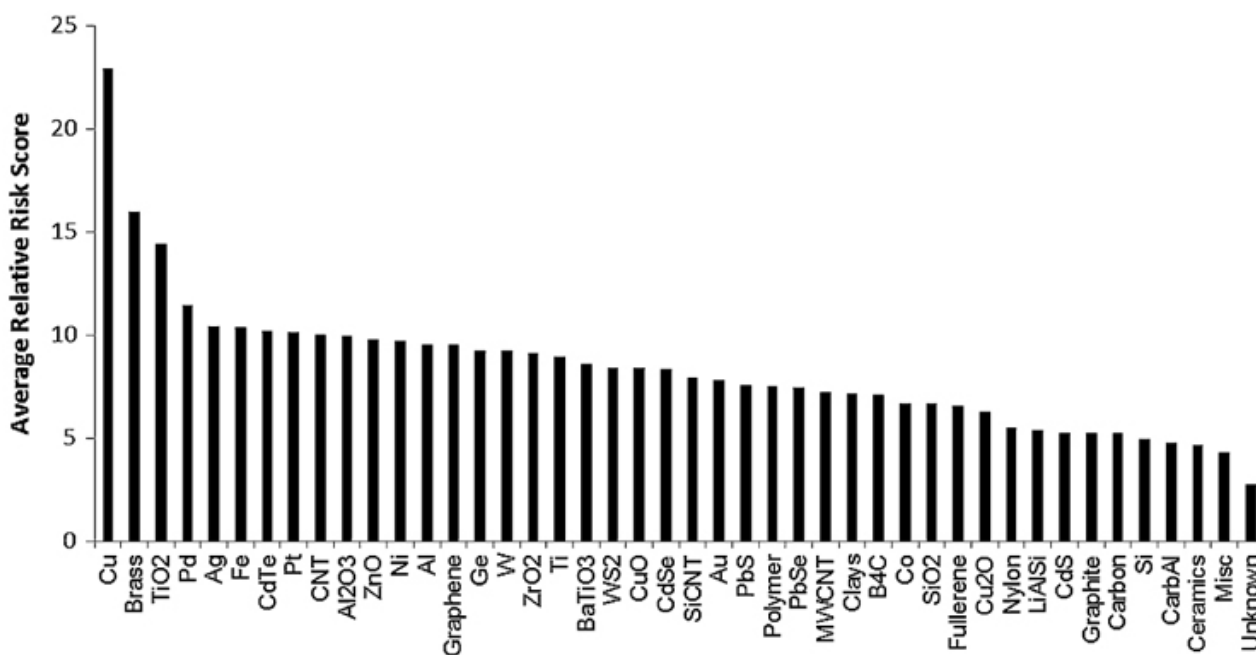


Рис. 2. Показатели относительного риска для наноматериалов.

Были определены показатели относительного риска для пар НМ-оборудование, наноматериалов и армейского оборудования. Оказалось, что самый высокий риск среди пар представляют Al, Cu, Ti в дымовых и аэрозольных завесах (сценарий вдыхания при случайном выбросе), а наименьший – керамика, углеродные НМ в составе твердой матрицы (броня, автомобили). Среди оборудования высокие показатели относительного риска имеют аэрозольные завесы и армейские дымы (в их состав входят Cu, Al, TiO<sub>2</sub>, латунь); среди НМ – Cu, латунь, TiO<sub>2</sub>, Pd, Ag (используются в дымовых и аэрозольных завесах, сенсорах, источниках энергии и др.) (рис. 2). Как видно, довольно высокий показатель риска у углеродных нанотрубок, которые в основном используются в составе смазочных материалов и для исследований.

Работа особенно интересна тем, что исследованы реальные наноматериалы в реальном армейском оборудовании, а не гипотетические или исходные НМ. Использование алгоритма ранжирования относительных рисков позволяет определить материалы и изделия, представляющие самый высокий риск для здоровья, то есть выбрать приоритетные направления дальнейших исследований.

О. Алексеева

1. *ПерсТ 18, вып. 9, с. 4 (2011).*

2. *Методические рекомендации МР 1.2.0038-11. – М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора (2012).*

3. В.Ф.Демин и др., *Молекулярная медицина, №4 (2012).*

4. K.D.Grieger et al., *Environ. Syst. Decis.*, published online 24.12.2014;

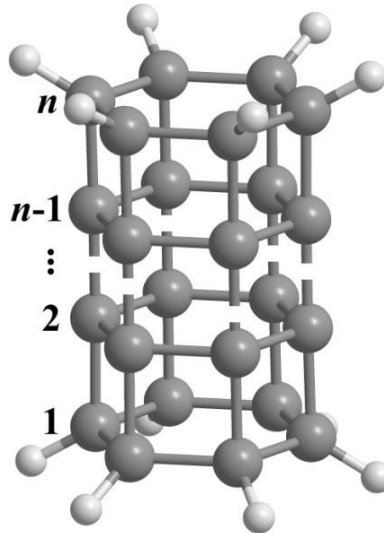
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10669-014-9531-4>

### В шаге от углеродных полипризматов?

Давно прошли те времена, когда под аллотропами углерода понимали лишь три его модификации: карбин, графит и алмаз. Наука не стоит на месте, и появились фуллерены, графен, углеродные нанотрубки и другие удивительные наносистемы. Вообще, складывается впечатление, что из углерода можно построить любую молекулярную структуру. Среди всего этого многообразия особый интерес представляют соединения с нетрадиционной геометрией углеродного каркаса, в котором ковалентные связи обладают значительным напряжением. Наиболее ярким примером может служить кубан C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>. В молекуле кубана атомы углерода расположены в вершинах куба, так что угол связи C–C–C равен 90°, в отличие от обычной для sp<sup>3</sup>-гибридизованных углеродных орбиталей величины 109.5°. Однако кубан – это всего лишь частный случай углеродных полипризматов или [n,m]призматов (классификация впервые была предложена нашими соотечественниками Р.М. Миняевым и В.И. Минкиным [1]). Углеродные

[n,m]призматы, можно рассматривать как уложенные слоями дегидрированные молекулы циклоалканов, где m – число вершин замкнутого углеродного кольца, а n – число слоев (см. рис.). Таким образом, при больших n полипризматы представляют собой аналоги одностенных углеродных нанотрубок с экстремально малым поперечным сечением в виде правильного многоугольника. Полипризматом прочат большое будущее в качестве нанопроводов, элементов вычислительной логики, стабилизационной основы высокоэнергетических материалов, зондов (игл) атомно-силового микроскопа и т.д. Однако эффективных методик их синтеза пока не разработано. Получены лишь “простейшие” их представители: бензол Ладенбурга C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, кубан C<sub>8</sub>H<sub>8</sub> и [2,5]призмат C<sub>10</sub>H<sub>10</sub>. Попытки синтеза даже [2,m]призматов, начиная с [2,6]призмата C<sub>12</sub>H<sub>12</sub>, успехом пока не увенчались.

Тем не менее, перед исследователями уже сейчас стоит ряд конкретных вопросов: каковы предельные температурные режимы работы материалов на основе полипризматов, как оценить времена жизни образцов в экстремальных условиях, как будут изменяться электронные характеристики (например, проводимость) с увеличением эффективной длины образцов, как будет влиять краевое допирование на их механические свойства, наконец, какие соединения из семейства полипризматов наиболее термодинамически и кинетически устойчивы и являются наиболее вероятными кандидатами для практического использования.



Структура [n,6]призмата (полигексапризмата)

Авторы работы [2] постарались отыскать ответы хотя бы на некоторые из них. Выполнив ряд расчетов для самых маленьких представителей семейства – гекса-C<sub>12</sub>H<sub>12</sub> и октапризмата C<sub>16</sub>H<sub>16</sub> – в рамках теории функционала плотности (программный комплекс GAMESS) и неортогональной модели сильной связи, исследователи пришли к выводу, что термическая устойчивость этих соединений уменьшается при увеличении числа вершин в цик-

лах. Например, при комнатной температуре времена жизни, приведенные авторами, составляют 100 пкс и 1 нс для гекса- и октапризмана, соответственно. Другими словами, времена жизни этих соединений для комфортного экспериментального наблюдения и, тем более, лабораторного синтеза достижимы лишь при криогенных температурах. При этом основным механизмом термического распада как гекса-, так и октапризмана является разрыв межциклических связей и расщепление кластера на два независимых кольца – молекулы бензола или циклооктатетраена. Авторы предлагают обратить на это внимание с целью поиска новых способов получения призматов, например с помощью сверхвысоких давлений, используя в качестве прекурсоров циклические молекулы  $C_6H_6$  и  $C_8H_8$ . Подводя итоги работы, становится понятно, что синтез даже простейших полипризматов является нетривиальной задачей, не говоря уже о более сложных представителях семейства. Поэтому пока еще рано говорить о том, что полипризманы вот-вот будут получены, но будем надеяться, что рано или поздно ученым покорится и эта научная головоломка.

М. Маслов

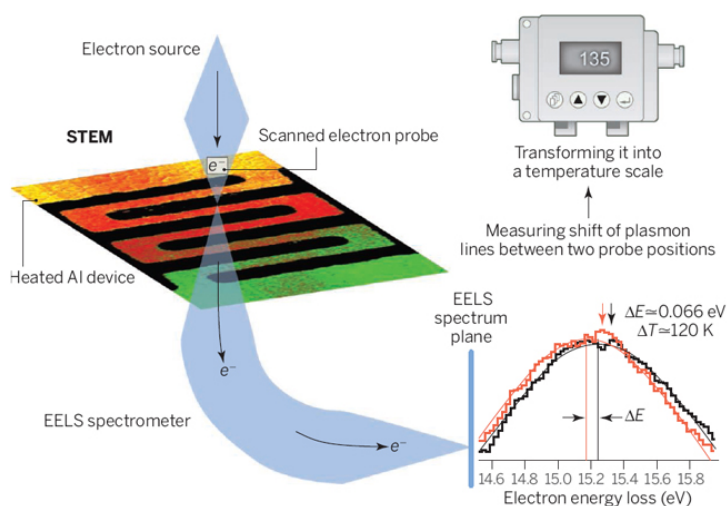
1. R.M.Minyaev et al., *J. Org. Chem.* **68**, 8588 (2003).

2. С.А.Шостаченко и др., *ФТТ* **57**, 1007 (2015).

## СНОВА К ОСНОВАМ

### Градуусник для нано

Измерение температуры с пространственным разрешением 1 ÷ 10 нм – исключительно сложная и пока не решенная задача. Контактные методы предполагают наличие термической связи с образцом, что приводит к сильному искажению его локальных характеристик, а разрешение бесконтактных методик ограничено длиной волны излучения. Между тем современные микроэлектронные устройства содержат наноразмерные элементы, в окрестностях которых температура распределена неоднородно, и характер этого распределения нужно учитывать на стадии проектирования.



В работе [1] предложен новый подход к проблеме “плазменной термометрии”. Величина энергии  $E$ , требующейся для возбуждения плазмона в металле, определяется концентрацией валентных электронов, а значит плотностью материала, которая, в свою очередь, является функцией температуры. Откалибровав предварительно зависимость  $E(T)$ , используя сканирующий просвечивающий электронный микроскоп и спектроскопию потерь энергии быстрыми электронами, авторы [1] нашли распределение температуры в алюминиевых нанопроводах. Разрешение по координате при этом составило  $\sim 5$  нм, а точность определения температуры  $3 \div 5$  К.

1. M.Mecklenburg et al., *Science* **347**, 629 (2015).

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Магнитный линейный дихроизм для контроля магнитной памяти в антиферромагнетике при комнатной температуре

Как известно, наличие магнитной бистабильности в ферромагнетике служит основой для устройств магнитной памяти. Благодаря наличию ненулевой намагниченности в ферромагнетике электронные спины могут быть переориентированы внешним полем, большим коэрцитивного поля, величина которого ограничена полями магнитной анизотропии и обычно не превышает 1 Тл. Недавно получила развитие концепция магнитной памяти на антиферромагнетиках, в которых нулевая суммарная намагниченность приводит к меньшей чувствительности магнитного состояния к флуктуациям внешнего магнитного поля по сравнению с ферромагнетиками. В работе [1] (США, Чехия, Испания, Великобритания) сообщается о создании элемента антиферромагнитной (AFM) памяти, имеющего геометрию омического резистора. Благодаря анизотропному магнитосопротивлению (АМС) возможно управление AFM памятью внешними электрическими полями. Контроль магнитного состояния проводили с помощью рентгеновского магнитного линейного дихроизма (XMLD). Образец представлял собой монокристаллическую пленку антиферромагнетика FeRh толщиной 100 нм на подложке MgO. При повышении температуры в этом материале в районе 400 К имеет место переход из антиферро- в ферромагнитную фазу. В ферромагнитной фазе при  $T > 400$  К направление намагниченности задается внешним магнитным полем. Образец охлаждали в поле до  $T = 200$  К, и в этом антиферромагнитном состоянии в отсутствие внешнего магнитного поля измеряли сопротивление току, направленному вдоль кристаллографической оси [100] подложки. Аналогичные измерения сопротивления с охлаждением в магнитных полях вдоль осей подложки [100], [010] показали стабильность и полную воспроизводимость в последовательных циклах записи-считывания (рис. 1).

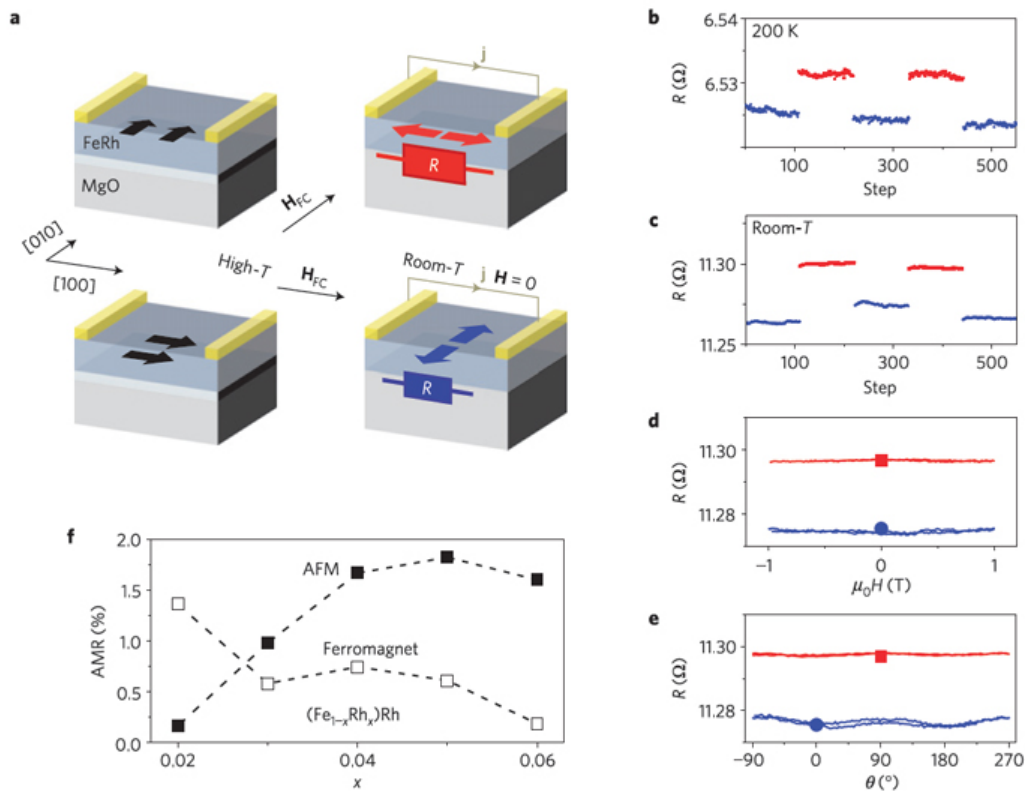


Рис. 1. Схема FeRh AFM резистора (а), для записи образец охлаждается от ферромагнитного состояния при 400К в поле  $H_{FC}$  до AFM при 200К. Сопротивление в нулевом внешнем поле при 200К (b) и 300К (c) при двух направлениях  $H_{FC}$  параллельно (синий) и перпендикулярно (красный) направлению тока. Стабильность двух состояний АМС при изменениях величины (d) и направления (e) магнитного поля. Рассчитанные по формуле Кубо величины АМС для AFM и гипотетического ферромагнитного основного состояния образца (f).

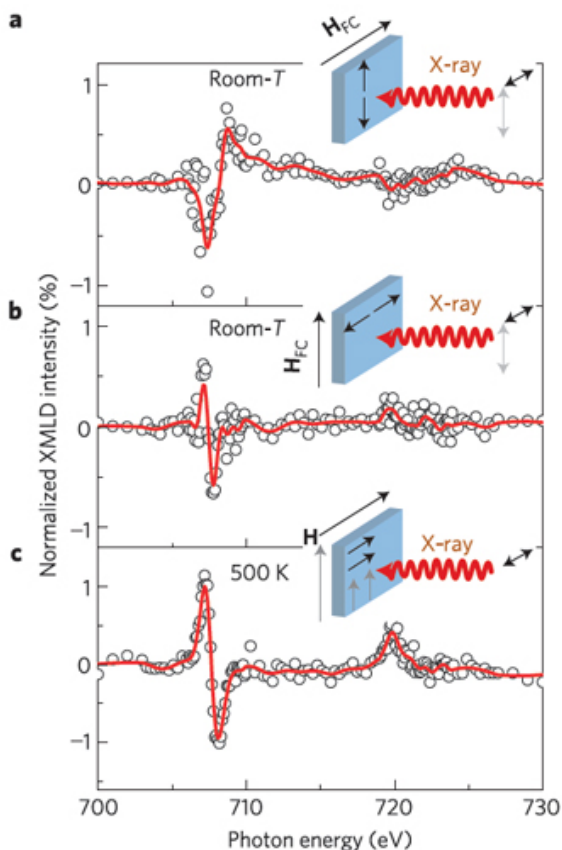


Рис. 2. XMLD на Fe L-краю при  $H_{FC} \parallel [100]$  (a) и  $H_{FC} \parallel [010]$  (b) в AFM состоянии при комнатной температуре и в ферромагнитной фазе при 500К (c).

В данном случае два направления внешнего магнитного поля при охлаждении задают два различных состояния сопротивления в AFM. Эти различные состояния сохраняются не только при удалении внешнего магнитного поля, но и при нагреве образца до комнатной температуры, при которой AFM состояние FeRh остается стабильным. Величина АМС определяется через разность величин сопротивления при направлениях оси спинов параллельно и перпендикулярно току.

Макроскопические измерения, показанные на рис. 1, необходимо дополнить контролем магнитного состояния образца при разных величинах внешнего магнитного поля и температуры. Авторы [1] использовали XMLD метод, который равно пригоден как для ферромагнитного, так и для AFM состояния (рис. 2). Сигнал XMLD определяется как разность интенсивности поглощения при линейной поляризации рентгеновских лучей с напряженностью электрического поля  $E$  параллельно  $[100]$  и  $[010]$ . Измерения проводили на станции 4.0.2 синхротрона ALS в Lawrence Berkeley Natl. Lab. (США). Сигнал XMLD является четной функцией микроскопического магнитного момента, и поэтому он имеет место как в ферро-, так и в антиферромагнитной фазах. Сравнение данных, представленных на рис. 2а, 2b и 2с, показывает примерно равные величины и форму, но противоположные знаки эффекта XMLD в разных фазах.

Таким образом, авторы [1] продемонстрировали возможность создания АФМ памяти с резистивной записью и считыванием. В заключение они обсуждают пути улучшения функциональных характеристик прибора.

С. Овчинников

1. X.Marti et al., *Nature Mater.* **13**, 367 (2014).

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### “Мысли рационализатора” или флаг как электрогенератор

Вид попусту развевающихся на ветру флагов, очевидно, не дает покоя изобретателям из



École Polytechnique (Франция), опубликовавшим статью в новом журнале Американского физического общества *Physical Review Applied* [1]. В духе рацпредложений героя вынесенной в заглавие интермедии Аркадия Райкина, они предлагают новый эффективный способ сбора даровой энергии (energy harvesting).

В последнее время появился ряд сообщений, в которых продемонстрирована возможность съема электрической энергии с полощущегося на ветру флага со вшитыми пьезоэлементами. Однако задача сопряжения пьезоэлементов с выходной цепью является нетривиальной, поскольку возникающая при этом отрицательная обратная связь может уменьшать амплитуду колебаний флага, снижая эффективность устройства. Задачей работы [1] была оптимизация данной системы.

В качестве нагрузки, на которую были замкнуты пьезоэлектрические элементы, выступала система из индуктивных и омических элементов, которые вместе с пьезоэлементами образовывали колебательный контур, настроенный в резонанс с механическими колебаниями флага. Благодаря явлению синхронизации авторам [1] удалось повысить стабильность колебаний флага (малые флуктуации скорости ветра, которые ранее смещали частоту автоколебаний флага, в оптимизированной системе не оказывали воздействия), а также понизить величину

минимальной скорости, при которой возникали колебания флага. Все это позволило расширить диапазон силы ветра, при котором работало устройство, увеличить его энергетический выход и стабильность работы.

А. Пятаков

1. Y.Xia et al., *Phys. Rev. Appl.* **3**, 014009 (2015).

## КОНФЕРЕНЦИИ

### Научная сессия ОФН РАН, посвященная 75-летию ИЗМИРАН, 25 февраля 2015 г.

(конференц-зал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк)

## Программа

### 1. Вступительное слово

2. Д.ф.-м.н. **Кузнецов В.Д.** (ИЗМИРАН) - ИЗМИРАН вчера, сегодня и завтра

### 3. Приветствия гостей

4. Академик **А.Д. Гвишиани** (ГЦ РАН) - Изучение магнитного поля Земли и сеть магнитных обсерваторий России

5. Д.ф.-м.н. **Д.Д. Соколов** (физфак МГУ) - Проблемы магнитного динамо

6. Член-корр. РАН **А.А. Петрукович** (ИКИ РАН) - Магнитосферно-ионосферные связи

7. Д.ф.-м.н. **Д.С. Лукин** (МФТИ) - Современные проблемы ионосферного распространения радиоволн

8. Д.ф.-м.н. **В.В. Сафаргалеев** (ПГИ КНЦ РАН), **Т.И. Сергиенко** (IRF, Sweden), **А.Е. Козловский** (SGO, Finland), **А.В. Сафаргалеев** (СПбГУ), **А.Л. Котиков** (СПбФ ИЗМИРАН) - Магнитные и оптические измерения и признаки магнитного пересоединения в области дневного каспа

9. Д.ф.-м.н. **Кузнецов В.Д.** (ИЗМИРАН) - Результаты и перспективы космических исследований Солнца

Web: [http://www.gpad.ac.ru/prog/sessions/session15\\_02\\_25.htm](http://www.gpad.ac.ru/prog/sessions/session15_02_25.htm)

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, М.Маслов, С.Овчинников, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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