

В этом выпуске:

ТОРЖЕСТВО

15 февраля 2013 г. Институту физики твердого тела РАН исполняется 50 лет!

Институт физики твердого тела - один из крупнейших институтов физического профиля в Российской академии наук. Институт является признанным научным центром, в котором проводится широкий круг исследований в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и высоких технологий, поддерживается совместная работа людей разных специальностей и поколений, ведется подготовка молодых научных кадров. У нас прекрасный институт: красивое здание, современная научно-техническая база. Но институт, это, прежде всего люди, это открытость, бережное отношение друг к другу и светлая память о тех, кого уже нет. Нам есть чем и кем гордиться!

Поздравляем коллектив ИФТТ РАН со славной годовщиной! Творческих успехов, новых свершений и открытий!

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Отсутствие нулей сверхпроводящей щели в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

Считается надежно установленным тот факт, что параметр сверхпроводящего порядка Δ в купратных ВТСП имеет $d_{x^2-y^2}$ -волновую симметрию и обращается в нуль на узловых линиях импульсного пространства (см. рис.), то есть конечная сверхпроводящая щель $|\Delta|$ существует не на всей поверхности Ферми – в отличие от s -волнового сверхпроводника. Точность современных спектроскопических методик, однако, недостаточно высока для однозначного вывода о наличии у $|\Delta|$ нулей. Альтернативный экспериментальный подход к вопросу о нулях $|\Delta|$ заключается в использовании одно-электронного транзистора (мезоскопического сверхпроводящего островка, связанного туннельными контактами с источником и стоком) для измерения энергии ΔE , которую необходимо затратить, чтобы добавить в островок один лишний электрон. Например, в s -волновом сверхпроводнике (где $|\Delta| \neq 0$) величина ΔE больше, когда число n электронов в островке четное, поэтому при добавлении в островок все новых и новых электронов наблюдается периодическое изменение ΔE . Если же у $|\Delta|$ есть нули, то такой эффект четности отсутствует. В работе [1] шведские и немецкие физики измерили $\Delta E(n)$ на островке $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и обнаружили осцилляции $\Delta E(n)$. Из этого они делают вывод об отсутствии у $|\Delta|$ нулей, то есть об отличии симметрии Δ от $d_{x^2-y^2}$ -волны. Это может быть связано, например, с тем, что к $d_{x^2-y^2}$ -волне подмешивается небольшая мнимая is -волновая или id_{xy} -волновая компонента (см. рис.).

Еще один неожиданный результат работы [1] состоит в том, что ΔE (то есть фактически $|\Delta|$) увеличивается с ростом магнитного поля (а при фононном механизме спаривания ΔE должна уменьшаться). Непонятно, с какой компонентой Δ связано это увеличение – с основной ($d_{x^2-y^2}$ -волновой) или же с “примесной” (мнимой).

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Квантовый контроль гибридных ядерно-электронных кубитов

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноматериал древних цивилизаций

СНОВА К ОСНОВАМ

- 3 Каков размер протона?

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

Наночастицы феррита висмута: меньше размеры – больше намагниченность

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 4 Наночастицы оксида церия защитят мозг от инфаркта

МАГНИТЫ

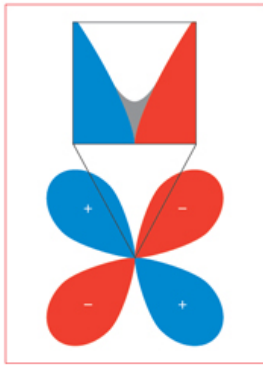
- 6 Зависимость потенциального ландшафта от хиральности доменных стенок в ферромагнитных нанопроволоках и нанотрубках

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Миниатюрный источник рентгеновского излучения с катодом из УНТ

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 International Workshop on Relaxor Ferroelectrics, 1 -6 July 2013, St. Petersburg, Russia



Внизу: d_{x-y}^2 -волновой параметр порядка Δ имеет узлы, в которых его амплитуда $|\Delta|$ строго равна нулю, а фаза меняется на π . Вверху: добавка к d_{x-y}^2 -волновому параметру порядка мнимой is -волновой или id_{xy} -волновой компоненты приводит к тому, что $|\Delta| \neq 0$ на всей поверхности Ферми.

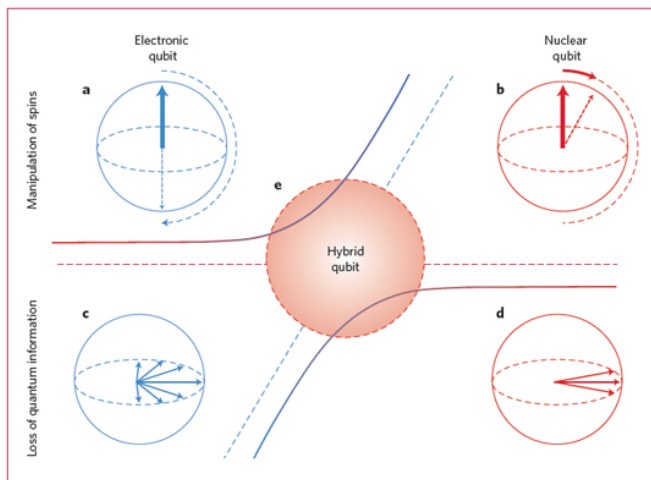
Ни одна из известных моделей d_{x-y}^2+is -волнового и $d_{x-y}^2+id_{xy}$ -волнового спаривания не описывает всю совокупность полученных в [1] результатов. Но понятно, что какую-то добавку к d_{x-y}^2 -волне в теорию надо вводить. Да и предыдущие эксперименты по d_{x-y}^2 -волновому спариванию в купратах не лишне будет еще раз критически проанализировать.

Л. Опенов

I. D. Gustafsson et al., Nature Nanotech. 8, 25 (2013).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовый контроль гибридных ядерно-электронных кубитов



Гибридный кубит

Спиновые степени свободы представляют большой интерес для квантовой информатики. В качестве кубитов могут использоваться как ядерные, так и электронные спины. У тех и других есть свои достоинства и свои недостатки. Благодаря своим маленьким магнитным моментам ядерные спины слабо чувствительны к воздействию твердотельного окружения и способны сохранять когерентность в течение макроскопического времени (минуты). По той же причине операции с ядерными спинами (которые осуществляют путем воздействия на них переменным магнитным полем) оказываются чрезмерно длительными, что снижает эффективность квантовых устройств. Напротив, переворот электронных спинов осуществляется очень быстро (за

несколько наносекунд), но и время декогерентизации у них не намного больше. В работе [1] (Великобритания, Швейцария, США) предложен компромисс – гибридный кубит, представляющий собой $\approx 50:50$ суперпозицию спиновых состояний ядра и электрона. Такой кубит сочетает в себе достоинства ядерных и электронных кубитов: он долго живет и легко контролируется. Для конкретной системы – доноров висмута в кремнии – авторы [1] показали, что за время декогерентизации ядерно-электронного кубита с ним можно успеть проделать около ста тысяч операций. Этого уже достаточно для реальных задач.

I. G.W. Morley et al., Nature Mater. 12, 103 (2013).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноматериал древних цивилизаций

Египетская синь – это разновидность минеральных красок, имеющих особое культурное значение: она активно использовалась в декоративных целях еще в Древнем Египте, Месопотамии и Греции, а различные исторические и археологические данные свидетельствуют об ее успешном производстве уже в третьем тысячелетии до нашей эры. Хорошо известно, что в химический состав египетской сини входит тетрасиликат кальция-меди ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) и диоксид кремния (SiO_2). Авторы работы [1] обнаружили, что нагрев $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ в восьмидесятиградусной воде при постоянном перемешивании в течение нескольких дней сопровождается расслоением и образованием коллоидной системы, состоящей как из наночешуек толщиной менее 10 нм, так и более крупных нанопластин (>10 нм толщиной) $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$. После соответствующей очистки образец представлял собой порошок бледного серого-голубого цвета (рис. 1).

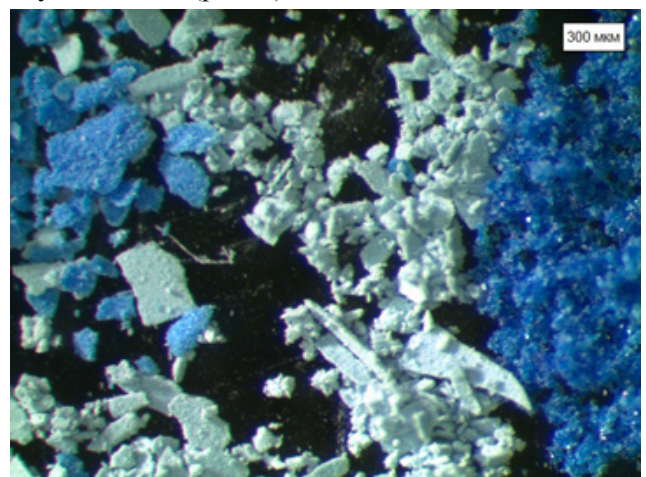


Рис. 1. Отожженные наночешуйки $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ (слева), очищенные и высушенные наночешуйки $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ (в центре), коммерческий образец египетской сини (справа)

Просвечивающая электронная микроскопия показала, что поперечные размеры наночешуек составляют несколько сотен нанометров, а их длина дости-

гает нескольких микрон. После же ультразвуковой обработки в толуоле наночешуйки претерпевают дальнейшее расщепление на тонкие листы толщиной всего лишь 1.2 нм, что подтверждается атомно-силовой микроскопией. Такая толщина соответствует отдельным монослоям $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ (~0.9 нм) с учетом вклада от гидратации поверхности образца. Одной из самых интересных особенностей египетской сини является сильная люминесценция в ближнем ИК-диапазоне. Исследователи обнаружили, что люминесценция сохраняется и в расщепленных на чешуйки образцах $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$. Более того, авторам удалось приготовить чернила на основе наночастиц $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$, диспергированных в *N*-метилпирролидоне, и методом струйной печати нанести на стекло рисунок из двенадцати квадратов площадью 5 мм². В этом случае также отчетливо наблюдается сильное излучение в ИК-области (рис. 2).

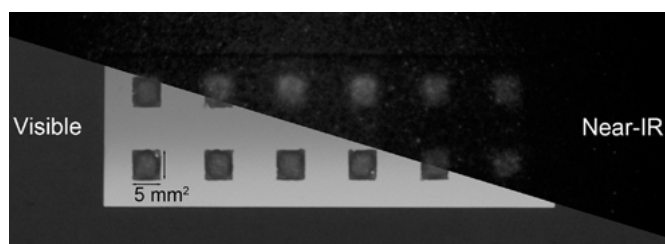


Рис. 2. Изображение массива 5 мм²-квадратов, нанесенных с помощью $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ “наночернил”, в видимом и ближнем ИК-диапазоне

В течение более пятидесяти веков египетская синь использовалась исключительно как краситель, однако теперь синтез нового класса двумерных наноматериалов на ее основе позволит, по мнению авторов, создать современные биомедицинские приборы, светоизлучающие устройства, более защищенные чернила для печати банкнот. Иными словами, исследователи предлагают переосмыслить взгляды на синий цвет, мерцающий из глубины веков, в рамках современного нанотехнологического прогресса.

М.Маслов

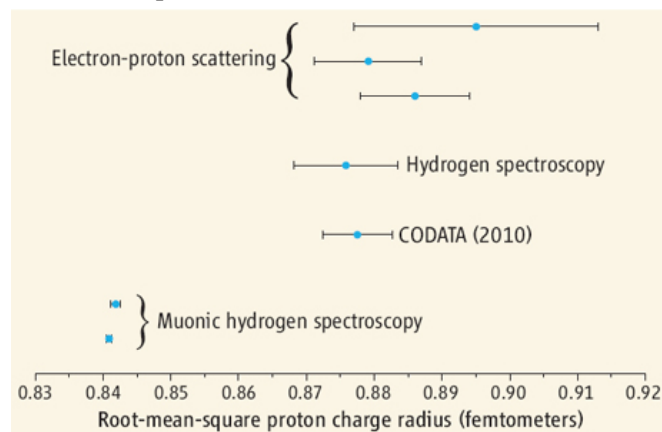
I. D.Johnson-McDaniel et al., J. Am. Chem. Soc. 135, 1677 (2013).

СНОВА К ОСНОВАМ

Каков размер протона?

Водород (протий) – самый простой из известных атомов. В нем всего один протон и всего один электрон. Наверно, именно по этой причине водород сыграл ключевую роль в создании основ современной физики. Так, например, в 1947 г. регистрация расщепления энергетических уровней $2S-2P_{1/2}$ (лэмбовский сдвиг) стимулировала развитие квантовой электродинамики (QED). Наряду с другими, более экзотическими двухчастичными атомами водород и сегодня остается уникальной системой для проверки фундаментальных физических теорий. В недавней работе [1] методом лазерной спектроскопии мюонного атома водорода (в котором электрон за-

менен на отрицательный мюон) был определен средний радиус протона. Так как мюон в 207 раз тяжелее электрона, то энергетические уровни такого атома гораздо более чувствительны к размеру протона, чем у обычного водорода, поскольку мюон намного ближе к протону, чем электрон, и поэтому лучше чувствует его “неточность”. Соответственно, точность оказывается выше, чем в аналогичных экспериментах с водородом. Определенный таким образом в [1] радиус протона оказался существенно меньше общепринятой величины, определенной ранее другими методами. Пусть не на порядки и даже не в разы, но все же различие существенно выходит за рамки экспериментальных погрешностей. В чем тут дело – не совсем понятно. Поскольку обработка экспериментальных данных полностью основана на современной QED, то раздаются даже голоса о необходимости если и не пересмотра, то какой-то модификации этой казавшейся незыблемой теории. А пока все ждут результатов новых экспериментов – с мюонным дейтерием и мюонным тритием.



Радиус протона по данным различных экспериментов.

По материалам заметки “How big is the proton?”, H.S.Margolis, Science 339, 405 (2013).

1. A.Antognini et al., Science 339, 417 (2013).

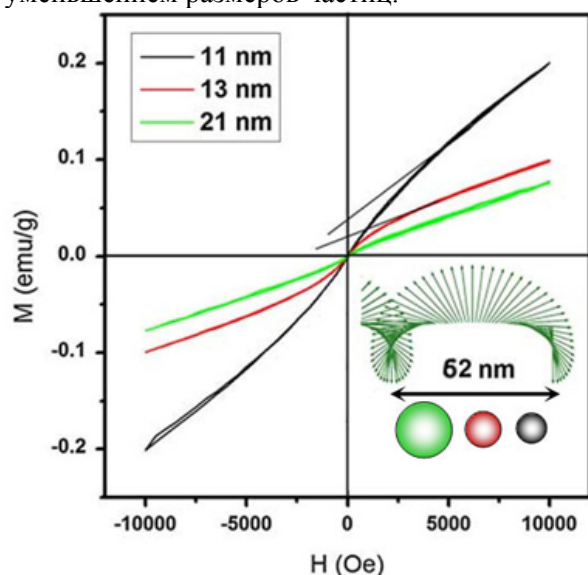
МУЛЬТИФЕРРОИКИ

Наночастицы феррита висмута: меньше размеры – больше намагниченность

Феррит висмута BiFeO_3 , благодаря относительно простой кристаллической структуре и разнообразию наблюдаемых в нем эффектов, на протяжении десятилетия остается самым популярным объектом исследований, связанных магнитоэлектрическими явлениями и сегнетоэлектричеством. Однако проявление магнитоэлектрических свойств и намагниченности в феррите висмута возможно лишь при подавлении характерной для этого соединения неоднородной магнитной структуры – спиновой циклоиды, что, в частности, имеет место в тонких пленках феррита висмута [1]. Логично было предположить, что намагниченность должна наблюдаться и в другом типе

систем с пониженной размерностью – наночастицах феррита висмута с диаметром меньшим периода циклоиды. Однако возможные причины появления намагниченности не ограничиваются только подавлением спиновой циклоиды. Это могут быть также кислородные вакансии, роль которых возрастает с увеличением доли поверхностных атомов при уменьшении масштабов, а также отклонения химического состава от стехиометрического с образованием посторонних магнитных фаз, в частности оксида железа Fe_2O_3 . В работе [2] были предприняты систематические исследования частиц феррита висмута различных размеров, прояснившие определенность в этот вопрос.

Методом выпаривания раствора были синтезированы частицы химически чистого феррита висмута размером 10-30 нм. Для частиц меньших 20 нм (треть периода спиновой циклоиды) наблюдалась нелинейная зависимость намагниченности от магнитного поля, характерная для ферромагнитного материала (рис. 1). Намагниченность возрастала с уменьшением размеров частиц.



Петли гистерезиса для наночастиц феррита висмута различного размера [2]. В правом нижнем углу схематически показаны фрагмент спиновой циклоиды и частицы 21 нм, 13 нм и 11 нм в сравнении с периодом циклоиды.

Для выяснения роли кислородных вакансий проводили отжиг частиц в атмосфере кислорода. Как оказалось, при этом намагниченность не только не уменьшается (что имело бы место в случае ферромагнетизма обусловленного кислородными вакансиями), но даже увеличивается, что авторы связывают с улучшением кристаллической структуры частиц. Это позволяет отсечь паразитный механизм образования намагниченности, связанный с несовершенством структуры и кислородными вакансиями.

А.Пятаков

1. A.M.Kadomtseva et al., *Phase Trans.* **79**, 1019 (2006).
2. A.Manzoor et al., *J. Nanopart. Res* **14**, 1310 (2012).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Наночастицы оксида церия защитят мозг от инфаркта

Во многих странах, в том числе в России, ишемические инсульты являются одной из основных причин инвалидности и смертности. В результате острого нарушения кровоснабжения участков головного мозга развивается инфаркт – возникает омертвление клеток. Считается, что одним из ключевых механизмов поражения ткани мозга является окислительный стресс нейронов. Действительно, при ишемии, когда поток крови к мозгу сокращается (*ишемия* - греч. *ischo* задерживать+ *haima* кровь), наблюдается повышенное образование и накопление активных форм кислорода (АФК) – супероксид-аниона, гидроксильного радикала, пероксида водорода. Конечно, АФК постоянно образуются в живых клетках и участвуют в важных процессах. Оптимальную для организма концентрацию поддерживают природные антиоксидантные системы. Так, супероксид-дисмутаза катализирует превращение супероксид-аниона в кислород и пероксид водорода, а каталаза – превращение пероксида водорода в воду и кислород. Однако антиоксидантная защита у мозга гораздо слабее, чем у других тканей, поэтому он особенно чувствителен к свободным радикалам. Несмотря на разработку различных лекарственных препаратов, эффективных средств борьбы с последствиями окислительного стресса нет.

Новые возможности появляются благодаря развитию нанотехнологий и использованию наноматериалов. Например, оказалось, что инъекции углеродных нанотрубок, модифицированных аминными группами, уменьшают инфарктные области мозга у крыс (см. ПерсТ [1]). Правда, механизм действия до сих пор не вполне ясен. Учёные из Seoul National Univ. (Южная Корея) предложили для лечения последствий ишемического инсульта использовать наночастицы оксида церия [2]. В последние годы в нескольких лабораториях, в том числе в России, были получены доказательства высокой антиоксидантной активности этого наноматериала [3,4].

Наночастицы CeO_2 обладают особыми свойствами, обусловленными кислородной нестехиометрией поверхностного слоя. При уменьшении размера частиц возрастает концентрация кислородных вакансий, подвижность кислорода в кристаллической решетке. Эффективная степень окисления церия снижается, можно говорить о появлении в приповерхностном слое Ce^{3+} . Благодаря одновременному присутствию Ce^{3+} и Ce^{4+} наночастицы легко вступают в циклические окислительно-восстановительные реакции. Они могут обратимо связывать кислород и снижать активность свободных радикалов. Действительно, экспериментальные результаты показали, что наночастицы CeO_2 в определенных условиях действуют как природные ферменты супероксид-дисмутаза и каталаза. Подробнее о воз-

можных механизмах и условиях антиоксидантного действия наночастиц оксида церия рассказано, например, в обзоре [5].

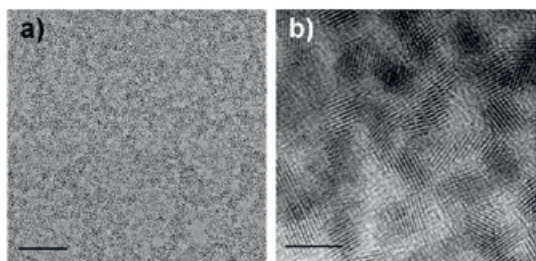


Рис. 1. ТЕМ изображения наночастиц оксида церия: а – шкала 100нм, б – сечение частиц; шкала 5 нм.

Используя модифицированный метод синтеза в обратных мицеллах, авторы [2] получили наночастицы диоксида церия практически одинакового (~3 нм) размера (рис. 1). По данным рентгеновской дифракции структура наночастиц соответствует кристаллическому CeO_2 (кубическая структура типа флюорита), но в поверхностном слое методом РФЭС обнаружены как пики Ce^{4+} , так и пики Ce^{3+} (рис. 2).

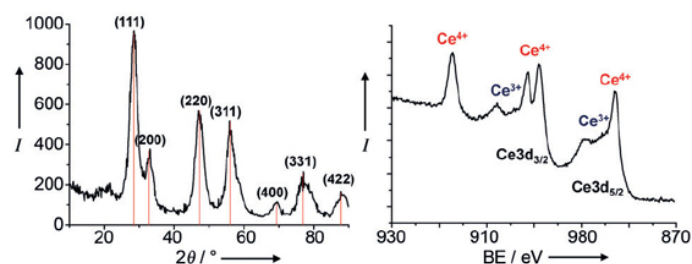


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма синтезированных наночастиц (слева) и данные РФЭС (справа).

Для проверки антиоксидантного действия исследователи [2] искусственно вызвали ишемический инсульт у крыс, а затем внутривенно ввели им наночастицы в дозах 0.1; 0.3; 0.5; 0.7; 1 и 1.5 мг/кг. (Для повышения гидрофильности наночастицы были инкапсулированы в фосфолипид-ПЭГ оболочку). Дозы 0.5 и 0.7 мг/кг (и только такие дозы) вызвали мощный защитный эффект (рис. 3).

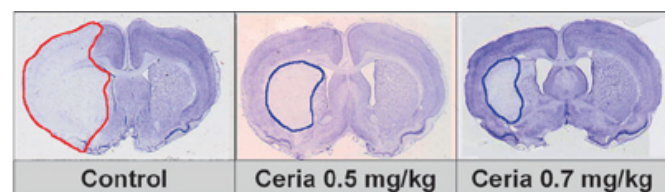


Рис. 3. Введение наночастиц оксида церия в дозе 0.5 и 0.7 мг/кг существенно уменьшают инфарктные области мозга.

Далее, используя флуоресцентную микроскопию, авторы [2] продемонстрировали, что наночастицы преимущественно проникли именно в пораженные инфарктом участки мозга (рис. 4). Видимо из-за ишемии был нарушен гематоэнцефалический барьер (физиологическая “перегородка между кровью и

мозгом”). Специальные эксперименты показали, что концентрация АФК у крыс, которым ввели наночастицы, оказалась примерно в 1.6 раз меньше, чем в контрольной группе, а число клеток, погибших в результате апоптоза, снизилось в 3 раза.

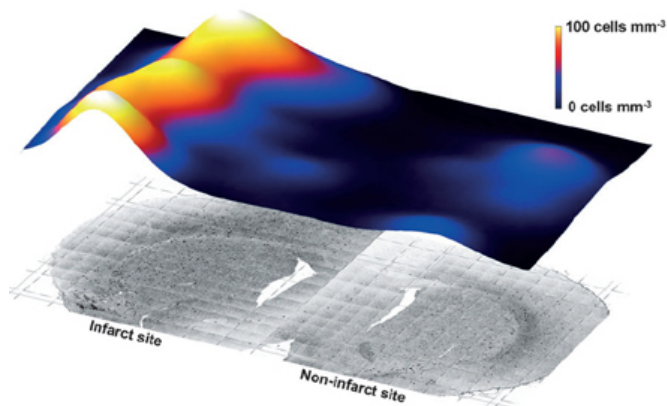


Рис. 4. Компьютерная 3D реконструкция флуоресцентных сигналов от наночастиц. Концентрация в пораженной инфарктом области мозга (слева) значительно выше.

Авторы [2] впервые на живых организмах продемонстрировали защитное действие наночастиц диоксида церия в отношении ишемического инсульта. Появляется надежда на создание нового эффективного средства для лечения этого заболевания. Удивительные свойства нанокристаллического диоксида церия, безусловно, найдут применение и для борьбы с другими тяжелыми заболеваниями, связанными с окислительным стрессом, в том числе раковыми, нейродегенеративными. Интересные и важные результаты исследований недавно представили на конференции итальянские ученые [6]. Известно, что при воздействии ионизирующего излучения возникают АФК. Часть клеток погибает сразу, а часть повреждается позже, приводя к отдаленным вредным эффектам и генетическим изменениям. Предварительные эксперименты [6] показали, что наночастицы диоксида церия защищают клетки от непосредственного воздействия так же эффективно, как лучшие существующие антиоксиданты. Но это еще не всё! Наночастицы способны предотвратить мутацию ДНК, т.к. препятствуют выживанию и распространению поврежденных клеток! По мнению авторов, это может оказаться революционным способом решения проблем радиационной защиты.

Исследования уникальных свойств наночастиц диоксида церия продолжают. Важно выяснить, какие механизмы, и при каких условиях приводят к антиоксидантному действию, и, конечно, убедиться в безопасности применения.

О.Алексеева

1. [Перст 18, вып 18, с. 5 \(2011\).](#)
2. С.-К. Kim et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **51**, 11039 (2012).
3. А.Б.Щербаков и др., *Биофизика* **56**, №6, 995 (2011).
4. В.К.Иванов и др., *Химия и жизнь* №5, 14 (2012).

5. A.Karakoti et al., *Chem. Soc. Rev.* **39**, 4422 (2010).

6. A.Giovanetti et al., *STO-MP-HFM-223-26 October 8-10*, (2012).

<https://www.cso.nato.int/Pubs/rdp.asp?RDP=STO-MP-HFM-223>

МАГНИТЫ

Зависимость потенциального ландшафта от хиральности доменных стенок в ферромагнитных нанопроволоках и нанотрубках

Динамика доменных стенок во внешнем магнитном поле – одна из известнейших и практически важных областей физики магнетизма, которая получила новое развитие в связи с открывшимися возможностями исследовать доменные стенки в наноструктурах (тонких пленках, нанопроволоках, ферромагнитных островках и т.п.). Понимание принципов динамики доменных стенок в структурах ограниченной размерности важно для развития технологий (магнитной памяти, спиновых переключателей и т.п.). Однако исследование таких структур несет также и новые фундаментальные знания о доменах, поскольку появляется возможность “поиграть” геометрией объектов и создавать препятствия для отдельных стенок. Этим и воспользовались авторы ряда работ [1-3], создавая в нанопроволоках выемки различных размеров и формы (рис. 1) и “гоня” доменные стенки вдоль нанопроволоки магнитным полем.

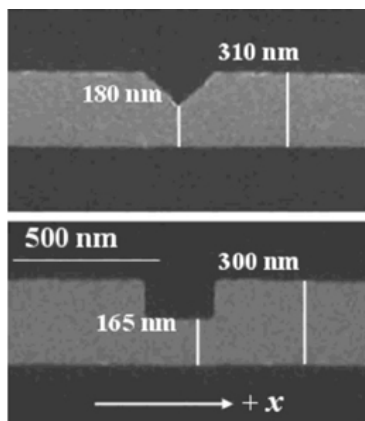


Рис. 1. Фотография в сканирующем электронном микроскопе треугольной и прямоугольной выемок в нанопроволоках пермаллоя толщиной 10 нм, изготовленных методом литографии [1].

С помощью магнитопического эффекта Керра, магнитометрии, лоренцевой

микроскопии и численного микромагнитного моделирования локальной намагниченности) они систематически исследовали зависимости закрепления доменных стенок от их хиральности для двух модельных типов искажений – треугольной и прямоугольной формы. Насыщение закрепляющих мест происходит, когда глубина выемки составляет примерно 0.6 от ширины проволоки. Если закрепляющие выемки сравнимы в размерах с шириной доменной стенки, то детальная геометрия выемки уже не так важна, и открепляющее магнитное поле становится практически одинаковым для треугольной и прямоугольной выемок.

Пространственные размеры потенциальной ямы значительно больше физических размеров выемки благодаря конечным размерам доменной стенки. Каждая структура с выемкой создает притягивающий потенциал или потенциальный барьер в зависимости от структуры доменной стенки, взаимодействующей с выемкой. В результате в непосредственной близости от выемки обнаруживается завихрение намагниченности – хиральная доменная стенка (рис. 2). Компьютерное моделирование локальной намагниченности нанопроволоки в окрестности выемки в основном подтвердило экспериментальные результаты, предсказывая существование хиральных “левовращающих” и “правовращающих” доменных стенок (рис. 3).

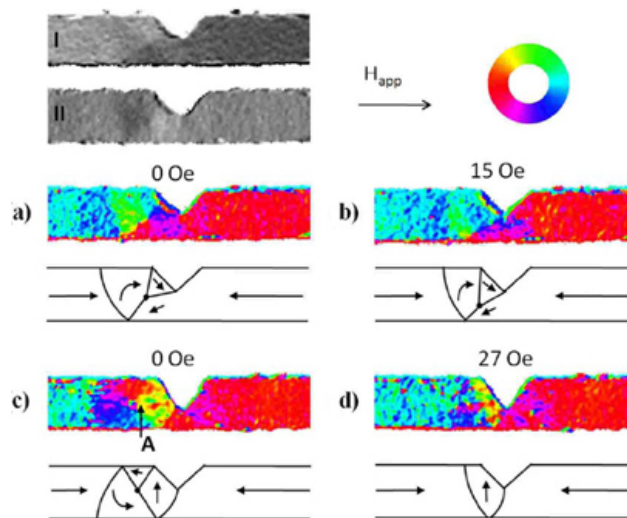


Рис. 2. I и II – изображения дифференциального фазового контраста x и y компонент магнитной индукции. a - d – цветные карты магнитной индукции отвечающие изображениям I и II. Цветные карты демонстрируют вихревые стенки, закрепленные в треугольной выемке: a, c – остаточные конфигурации; b, d – локальная намагниченность в процессе роста магнитного поля [1].

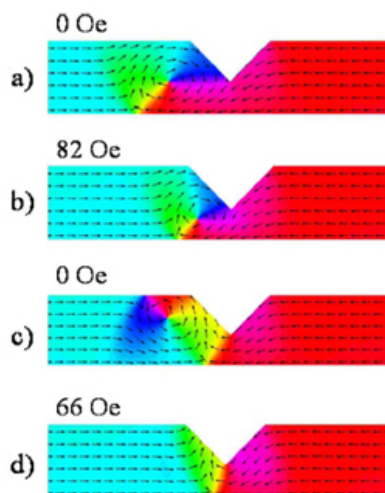


Рис. 3. Результаты численного микромагнитного моделирования, иллюстрирующие закрепление вихревых доменных стенок, закрученных по часовой стрелке (a и b) и против часовой стрелки (c и d) в треугольной выемке при различных значениях магнитного поля. [1].

Главный результат работы заключается в том, что было обнаружено, что выемки (прямоугольная и треугольная) являются селективными фильтрами для доменов различной хиральности. Эти выемки являются препятствиями разной силы для доменов разной хиральности – например, они пропускают правовращающие доменные стенки и в том же внешнем поле все еще продолжают задерживать левовращающие стенки. В результате, можно накопить доменные стенки одного знака на одном конце нанопроволоки.

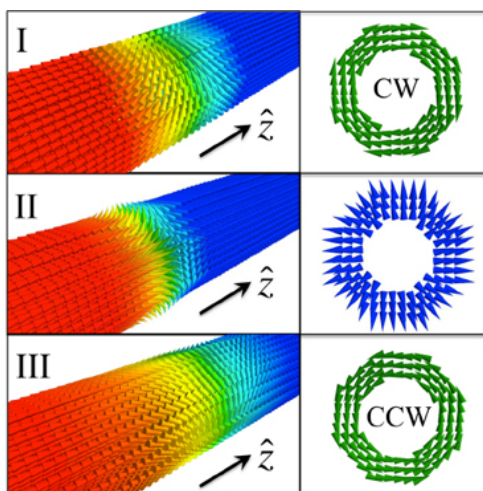


Рис. 4. Результаты численного микромагнитного моделирования, иллюстрирующие право- и левовращающие вихревые доменные стенки (I и III), а также переходное состояние II между ними на поверхности пермаллоевой нанотрубки [4].

Очень сходные результаты (правда, пока только теоретически) были получены при рассмотрении хиральных доменных стенок в нанотрубках пермаллоя [4]. Кроме того, в [4] предсказано существование критического поля, при котором можно превращать левохиральные доменные стенки в правохиральные, если его длительность достаточна для этого превращения (рис. 4).

О.Коплак

1. L. K. Bogart et al., *Phys. Rev. B* **79**, 054414 (2009).
2. D.S.Eastwood et al., *J. Appl. Phys.* **109**, 013903 (2011).
3. D.S.Eastwood et al., *Acta Phys. Polonica A* **118**, 719 (2010).
4. J.A.Otalora et al., *Appl. Phys. Lett.* **100**, 072407 (2012).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Миниатюрный источник рентгеновского излучения с катодом из УНТ

Миниатюризация источников рентгеновского излучения является одной из насущных проблем современного медицинского приборостроения. Эффективный путь решения этой проблемы связан с использованием катодов на основе углеродных нанотрубок (УНТ), которые благодаря высокому ас-

пектному отношению (порядка 10^3) обеспечивают значительный эффект усиления электрического поля. Это открывает возможность получения достаточно высоких токов электронного пучка при весьма миниатюрных размерах прибора. Тем самым существенно расширяется область использования рентгеновских приборов, которые благодаря своим миниатюрным размерам могут применяться не только в стационарных клиниках, но также в домашних условиях и даже на транспорте. Особую привлекательность приборы такого типа имеют из-за того, что создают тонкий сфокусированный пучок электронов и, соответственно, рентгеновского излучения, позволяющий получать изображение объекта с более высоким пространственным разрешением.

Одна из основных проблем, возникающих на пути разработки подобного прибора, заключается в необходимости обеспечения однородного распределения плотности тока эмиссии по сечению электронного пучка. Эффективный способ преодоления этой проблемы предложен недавно исследователями из Korea Advanced Institute of Science and Technology (Южная Корея) [1], которые в качестве подложки для нанотрубок использовали плоский срез вольфрамовой проволоки диаметром около 0.8 мм. Для нанесения УНТ на торцевую поверхность проволоки использовали суспензию на основе дихлорбензола, содержащую 4% (по массе) многослойных нанотрубок и 2% наночастиц серебра. Каплю этой суспензии наносили на торцевую поверхность проволоки и затем отжигали при температуре 800°C в вакууме в течение двух часов. Это приводило к плавлению частиц серебра и образованию тонкой пленки, к которой УНТ были надежно прикреплены. Для исследования распределения плотности электронного пучка по поверхности анода последнюю покрывали люминофором, интенсивность свечения которого пропорциональна плотности тока. Измерения показали, что диаметр пятна на поверхности анода, создаваемого электронным пучком, составляет 2.5 мм. Измерения вольт-амперной характеристики (ВАХ) эмиттера проводили при межэлектродном расстоянии 1.3 мм. Результаты измерений показаны на рис. 1.

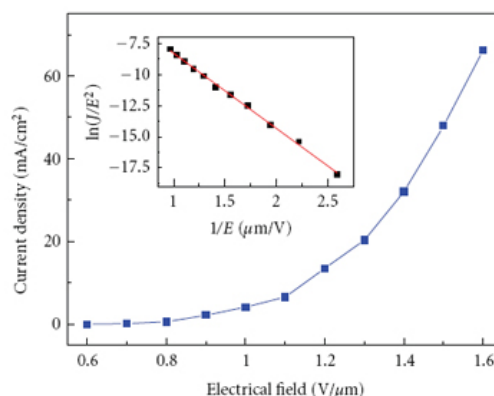


Рис. 1. Результаты измерения вольт-амперных эмиссионных характеристик катода

Эта зависимость, выраженная в координатах Фаулера-Нордгейма (на вставке), ложится на прямую линию, что указывает на полевой характер эмиссии. Пороговое поле, при котором достигается плотность тока 10 mA/cm^2 , составляет 1.15 В/мкм . Величина коэффициента усиления электрического поля, определенная на основании обработки эмиссионной характеристики, составила примерно 12050.

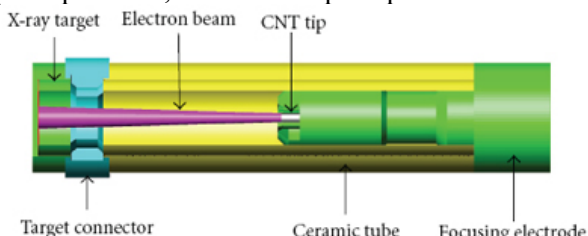


Рис. 2. Схематическое изображение миниатюрного источника рентгеновского излучения

Описанный выше катод был использован для создания миниатюрного источника рентгеновского излучения. Конструкция прибора схематически показана на рис. 2. Отпаянная трубка длиной 40 мм содержит внутри себя эмиттер на основе УНТ, фокусирующий электрод и молибденовую мишень (для получения рентгеновского излучения и действующую одновременно в качестве анода). Прибор работает при напряжениях до 50 кВ и токах электронов, достигающих поверхности мишени, до 200 мкА. При этом в спектре излучения прибора преобладают линии $\text{Mo K}_{\alpha 1}$ и $\text{Mo K}_{\beta 1}$ с энергией 17.48 и 19.61 эВ, соответственно. Изображения модельного объекта, полученные с помощью данного рентгеновского источника, характеризуются разрешением на уровне 0.1 мм.

А.Елецкий

I. H.J.Kim et al., J. Nanomaterials 2012, 854602 (2012).

КОНФЕРЕНЦИИ

International Workshop on Relaxor Ferroelectrics, 1-6 July 2013, St. Petersburg, Russia

Topics:

Basic principles. Polymeric and biopolymeric relaxors. Progress in theory. Optical and neutron spectroscopy. Structure of relaxors. Magnetic relaxors. Polar nanoregions and nanodomains. Films.

Important Dates

Registration Deadline March 1, 2013.

Abstract Submission Deadline March 15, 2013.

E-mail: iwrf@mail.ioffe.ru

Website: <http://www.iwrf.ru>, www.ioffe.ru/iwrf2013

Семинар по физике конденсированного состояния, 20 февраля 2013 г.

(17.00, многофункциональный зал библиотеки физического факультета МГУ, 5 этаж)

Чл.-корр. НАН Беларуси Игорь Олегович Троянчук (Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников Национальной академии наук Беларуси, Минск)

“Колоссальное магнитосопротивление и обменные взаимодействия в манганитах и кобальтитах”

Пропуск на физический факультет слушателей семинара будет осуществляться по предъявлению паспорта. Предварительная запись на семинар на сайте <http://nano.msu.ru/education/seminars> (до 15:00 дня семинара).

Для расширения возможностей участия в семинаре предполагается обеспечить прямую он-лайн трансляцию заседаний через сайт <http://nano.msu.ru/video.php>

Дополнительная информация:

тел. +7(495)939-1151

E-mail: khokhlov@mig.phys.msu.ru

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

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а