

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Флуктуирующие волны зарядовой плотности в купратных ВТСП

В купратных ВТСП наблюдаются различные типы зарядового и спинового порядка, но пока не вполне понятна та роль, которую они играют в формировании высокотемпературной сверхпроводимости: то ли они с ней конкурируют, то ли, напротив, являются ее причиной. К настоящему времени дифракционными методами установлено, что при определенном уровне допирования или во внешнем магнитном поле в ВТСП имеются статические волны зарядовой плотности (ВЗП). Неоднократно высказывались предположения, что, наряду со статическими, в ВТСП могут быть также и динамические (то есть флуктуирующие во времени) ВЗП (рис. 1а). Вопрос – как их обнаружить. В работе [1] сотрудников Massachusetts Inst. of Technology и Brookhaven Natl. Lab. (США) для этой цели использована лазерная спектроскопия, позволяющая изучить коллективные моды возбуждений ВЗП (рис. 1б,с) и определить характерное время флуктуаций τ_F .

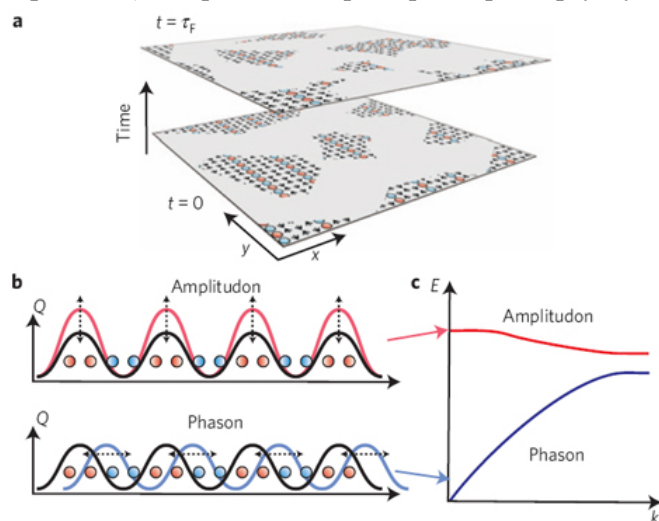


Рис. 1. а – Схематическая иллюстрация динамики флуктуирующей волны зарядовой плотности: пространственное распределение заряда изменяется за время флуктуации τ_F ; б – две коллективные моды возбуждений волны зарядовой плотности: амплитудная (амплитудон) и фазовая (фазон); в – дисперсия амплитудона и фазона.

Так, в частности, было установлено, что в недодопированных пленках $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ с $T_c = 26$ К динамические ВЗП присутствуют вплоть до температуры $T = 100$ К, причем τ_F уменьшается от 2 пс при $T = 5$ К до 0.5 пс при $T = 100$ К. Напротив, в оптимально допированных пленках $\text{La}_{1.84}\text{Sr}_{0.16}\text{CuO}_4$ с максимальной $T_c = 38.5$ К флуктуирующих ВЗП нет ни при какой температуре. Из этого авторы [1] делают вывод, что ВЗП, мягко говоря, не способствуют сверхпроводимости, а уж тем более не лежат в ее основе.

Л.Опенев

I. D.H.Torchinsky et al., *Nature Mater.* **12**, 387 (2013).

И далее ...

2 Сверхрешетки из сверхпроводящих пниктидов

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Прецизионный контроль ядерных спиновых кубитов в кремнии

Перепутывание твердотельных кубитов на расстоянии три метра

ГРАФЕН

3 Гигантское усиление спин-орбитального взаимодействия в слабо гидрогенизированном графене

Несовершенство дальних родственников графена

НАНОМАТЕРИАЛЫ

3 Наногубки очистят кровь от токсинов

СПИНТРОНИКА

5 Проектирование спиновых структур

МАГНИТЫ

6 Иероглифы квантовой логики

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

7 Модификация полиамидного волокна в результате введения углеродных нанотрубок и графена

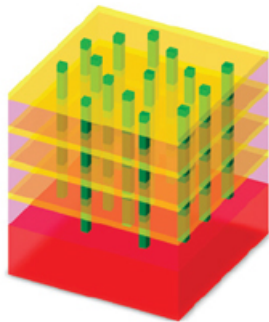
НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

8 Поляритонный лазер с электрической накачкой

КОНФЕРЕНЦИИ

Сверхрешетки из сверхпроводящих пниктидов

В работе [1] сообщается об изготовлении сверхрешеток $\text{BaFe}_2\text{As}_2/\text{Ba}(\text{Fe},\text{Co})_2\text{As}_2$ на основе безмедных ВТСП. Эти сверхрешетки, состоящие из чередующихся сверхпроводящих и металлических слоев, содержат вытянутые вдоль оси c дефекты (“нанопрутики”, см. рис.), которые играют роль эффективных центров пиннинга магнитных вихрей.



Схематическое изображение сверхрешеток $\text{Ba122}/\text{Ba122-Co}$ с дефектами.

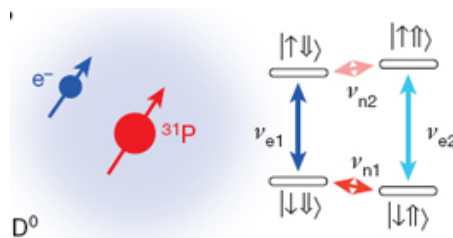
Наличие таких дефектов приводит к существенному увеличению значений критического тока $J_c(H)$ и поля необратимости $H_{irr}(T)$ при различных ориентациях магнитного поля. Характеристики сверхрешеток можно регулировать, изменяя толщину слоев и их количество. Авторы [1] полагают, что подобного рода гетероструктуры могут не только найти разнообразное практическое применение (например, в туннельных контактах), но и пригодятся для фундаментальных исследований механизма сверхпроводимости пниктидов железа.

1. S.Lee et al., *Nature Mater.* **12**, 392 (2013).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Прецизионный контроль ядерных спиновых кубитов в кремнии

Задача о регистрации прецессии ядерных спинов возникает в самых различных областях, включая химию, материаловедение, биологию, медицину и т.д. Ее решение становится возможным благодаря хорошей изоляции таких спинов от их окружения, даже в твердых телах. По этой причине ядерные спины доноров ^{31}P в кремнии считаются одними из основных кандидатов в квантовые биты (кубиты) для масштабируемых квантовых информационных устройств. Из-за измерительных сложностей эксперименты до недавнего времени проводили только с большими ансамблями донорных спинов ($\sim 10^9$), между тем как интерес представляет поведение изолированного кубита. В работе [1] (Австралия, Великобритания) представлены результаты измерения состояния одного-единственного ядерного спина ^{31}P в изотопически чистом кремнии ^{28}Si , а также реализовано когерентное управление таким спином. Для этих целей использованы методики электронного спинового и ядерного магнитного резонансов (см. рис.). Точность определения состояния ядерного спина превысила 99.8%, что для твердотельных кубитов на сегодняшний день является рекордом и сопоставимо только с данными для ионов в магнитной ловушке. Время декогерентизации ядерных спиновых кубитов составило 60 мс.



Для контроля ядерного спина используется его взаимодействие со спином электрона того же атома. На схеме энергетических уровней показаны переходы для ЭПР (синие стрелки) и ЯМР (красные стрелки). $\uparrow$ и $\downarrow$ — состояния электронных спинов, $\uparrow\uparrow$ и $\downarrow\downarrow$ — состояния ядерных спинов.

1. J.J.Pla et al., *Nature* **496**, 334 (2013).

Перепутывание твердотельных кубитов на расстоянии три метра

Квантовая запутанность между пространственно разделенными объектами — одно из наиболее удивительных явлений в физике. Результаты независимых измерений состояний перепутанных частиц характеризуются специфическими корреляциями, которые не поддаются объяснению в рамках классических представлений. Помимо фундаментальной значимости, запутанность является уникальным ресурсом для квантовой информатики и квантовой связи. Перепутанные квантовые биты (кубиты) можно использовать для передачи конфиденциальной информации и для осуществления квантовых логических операций. Особое внимание сейчас уделяется изучению возможности перепутывания далеко отстоящих друг от друга кубитов, что позволит организовывать распределенные квантовые вычисления и конструировать большие квантовые сети (квантовый интернет?). Физическими носителями кубитов, в принципе, могут быть самые различные объекты (даже фотоны), но с точки зрения удобства инициализации, контроля и измерения преимущество отдается твердотельным кубитам, таким как дефекты азот-вакансия в алмазе (NV-центры). Каждый NV-центр имеет электронный спин $S=1$, а базисные состояния кубита $|\uparrow\rangle$ и $|\downarrow\rangle$ соответствуют разным спиновым подуровням (например, $m_s=0$ и $m_s=-1$).

В работе [1] (Нидерланды, Великобритания, Канада) сообщается об успешном перепутывании двух таких спиновых кубитов на расстоянии 3 метра. Речь, конечно, не идет об огромном алмазе величиной с комнату. NV-центры располагались в двух небольших, тщательно очищенных от примесей алмазных образцах, а связь между ними осуществлялась оптическим методом (см. рис.). Каждый кубит перепутывался с фотоном, и последующее совместное измерение двухфотонного состояния приводило к формированию запутанного спинового состояния пары NV-центров. Наличие у этого состояния нелокальных квантовых корреляций подтверждено путем однокубитных измерений в различных базисах.

Если получится “перенести” такое состояние с электронных спинов на ядерные, то время его жизни возрастет от нескольких миллисекунд до десятков секунд.

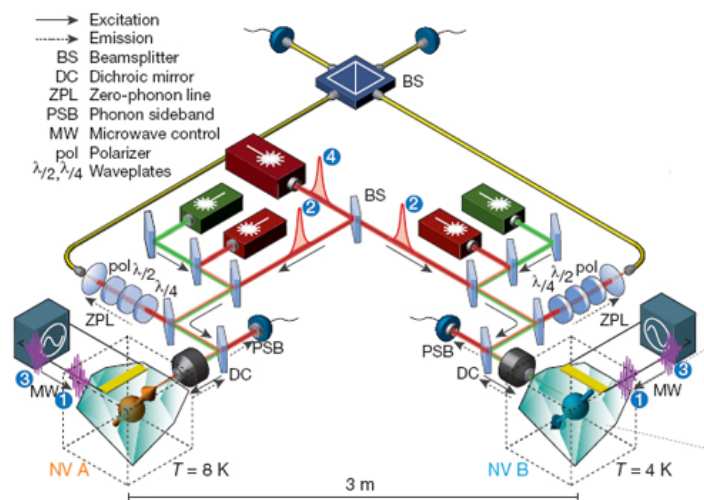


Схема эксперимента из работы [1].

I. H. Bernien et al., *Nature* **497**, 86 (2013).

ГРАФЕН

Гигантское усиление спин-орбитального взаимодействия в слабо гидрогенизированном графене

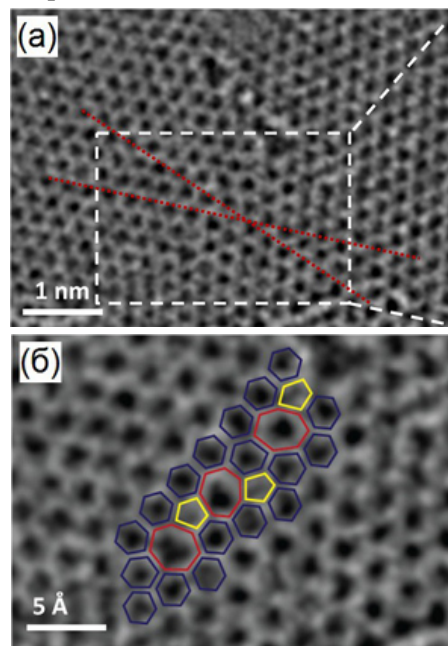
Чрезвычайно слабое спин-орбитальное взаимодействие (СОВ) в графене делает невозможным его использование для исследования многих интересных квантовых эффектов. В работе [1] обнаружено, что адсорбция на графен небольшого количества атомарного водорода (0.02 – 0.05 % от числа атомов углерода) приводит к резкому усилению СОВ примерно на три порядка величины. Это связано с локальным искажением электронной структуры графена в окрестности адсорбированных атомов водорода и появлением sp^3 -гибридизованных связей C–C. В таком частично гидрогенизированном графене авторы [1] смогли наблюдать спиновый эффект Холла при комнатной температуре без внешнего магнитного поля. Полученные результаты представляют интерес с точки зрения практического использования графена в спинтронике.

I. J. Balakrishnan et al., *Nature Phys.* **9**, 284 (2013).

Несовершенство дальних родственников графена

Сотрудники знаменитой Лоуренсовской лаборатории в Беркли (США) опубликовали результаты исследования динамики дефектов в аллотропной модификации бинарного соединения бора и азота – монослойного гексагонального нитрида бора (h-BN), который по своей структуре идентичен графену [1]. С помощью просвечивающего электронного микроскопа авторы рассмотрели поликристаллические структуры h-BN, синтезированные осаждением из газовой фазы. При этом температура

образца во время получения изображений была значительно выше комнатной. Особое внимание авторы уделили межзерненным границам, содержащим пяти- и семичленные кольца (см. рис.), что подразумевает наличие связей между отдельными атомами бора или азота.



а – Межзеренная граница монослоя h-BN с углом разориентации 21°; б – увеличенное изображение структуры дефекта: шести-, семи- и пятиугольники обозначены синим, красным и желтым цветами, соответственно.

По утверждению исследователей, подобные дефекты экспериментально идентифицированы ими впервые и ранее в литературе не рассматривались. Дальнейшее детальное изучение их миграции по поверхности h-BN показало, что изначально искривленная структура монослоя в результате перераспределения атомов (в том числе, с помощью серии трансформаций Стоуна-Уэльса) стремится принять плоскую форму. Авторы предполагают, что данное характерное упорядочение атомов на межзеренных границах в h-BN позволит изменять физико-химические свойства нитрида бора, например, настраивать ширину диэлектрической щели или влиять на реакционную способность материала.

М. Маслов

I. A. L. Gibb et al., *J. Am. Chem. Soc.* **135**, 6758 (2013).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наногубки очистят кровь от токсинов

Исследователи из Univ. of California (San Diego, США) предложили использовать для удаления токсинов биомиметические (то есть созданные на основе принципов живой природы) наногубки [1]. Эти новые наноматериалы представляют собой полимерные наночастицы, покрытые эритроцитарными мембранами (натуральными мембранами эритроцитов). Способ получения таких наночастиц, схематически показанный на рис. 1, был разработан

авторами в предыдущей работе [2]. Используется обработка эритроцитов в гипотоническом растворе и экстразия.

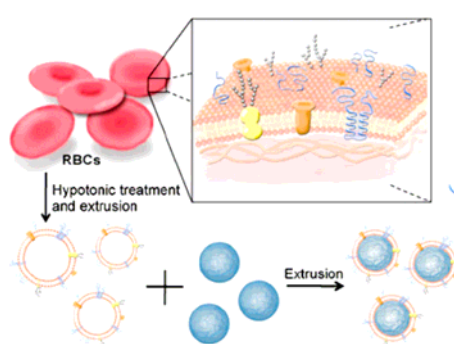


Рис. 1. Схема получения наногубок. RBCs-erythrocytes (красные кровяные тельца). В гипотоническом растворе из них выходит гемоглобин, но клеточные мембраны сохраняются и покрывают полимерные полилактид-ко-гликолидные (PLGA) наночастицы (голубые шарики). [2].

Наногубки, разработанные авторами [1], способны нейтрализовать различные пороформирующие токсины, то есть токсины, которые встраиваются в клеточные мембраны, образуют в них поры и тем самым запускают механизмы клеточной гибели. Следует заметить, что белковые соединения, формирующие поры, синтезируются в большинстве живых организмов. Они выполняют разные функции – служат для защиты от врагов, для умерщвления и обеззараживания добычи, являются важными компонентами иммунной системы, антимикробными агентами и др. [3]. К сожалению, многие из них очень опасны для людей. Идентифицировано более 80 семейств пороформирующих токсинов [1]. Типичными представителями являются мелиттин, входящий в состав яда пчел, ос, пауков, скорпионов, и альфа-гемолизин (α -токсин), который вырабатывают вредные бактерии (стрептококки, стафилококки). Исследования [1] показали, что эти и другие токсины внедряются в натуральную оболочку наногубки как в мембрану настоящего эритроцита, и удерживаются там. Полимерное ядро наногубки стабилизирует оболочку и обеспечивает длительную циркуляцию в крови. Наногубки продолжают впитывать токсины, а эритроциты остаются неповрежденными (рис. 2а). Диаметр наногубки по данным ТЕМ составляет примерно 85 нм (рис. 2б).

Для проверки эффективности *in vitro* раствор наногубок смешивали с α -токсинами и добавляли к эритроцитам мыши. В контрольных экспериментах использовали эквивалентные количества липосом и отдельно “ядер” и “оболочек” наногубок, то есть полилактид-ко-гликолидных (PLGA) наночастиц и пузырьков – эритроцитарных мембранных оболочек. PLGA и липосомы были покрыты полиэтиленгликолем (ПЭГ) для стабильности. Как видно на рис. 3, только наногубки (правая пробирка) спасают эритроциты от разрушения (гемоглобин не выделяется).

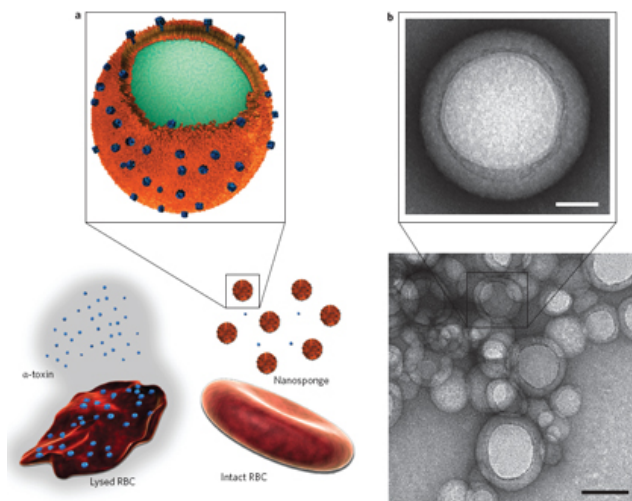


Рис. 2. а – α -Токсины, поражающие эритроцит (RBC), и нейтрализация α -токсинов наногубками; б – ТЕМ изображения наногубок, смешанных с α -токсином (шкала 80 нм). Вверху выделено увеличенное изображение единичной наногубки (шкала 20 нм).

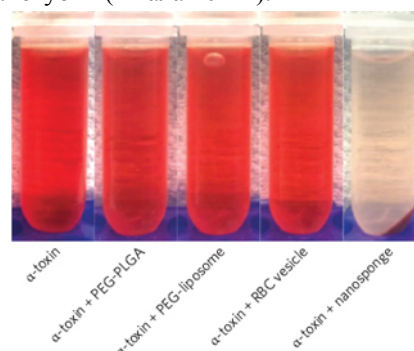


Рис. 3. Эритроциты после инкубации с α -токсинами и с α -токсинами, смешанными с PLGA, липосомами, эритроцитарными оболочками, наногубками (слева направо).

В экспериментах с другими токсинами – мелиттином и стрептококковым стрептолизин-О – результаты были аналогичными. По оценкам каждая наногубка может нейтрализовать приблизительно 85 α -токсинов, 30 токсинов стрептолизин-О или 850 мономеров мелиттина. Следовательно, наногубки можно использовать против пороформирующих токсинов с различной молекулярной структурой.

Все смеси после инкубации профильтровали и обнаружили, что наногубки и эритроцитарные мембранные оболочки поглотили 90.2 и 95.3% α -токсинов; PLGA и липосомы (те и другие покрытые ПЭГ) практически не абсорбировали токсины. Однако оказалось, что хотя мембранные пузырьки способны поглощать токсины, они не снижают их вредное воздействие, т.к. происходит слияние этих нестабильных мембранных оболочек с эритроцитами. Наногубки благодаря наличию полимерного ядра действуют по-другому. Они не только захватывают токсины, но и удерживают их в межклеточном пространстве на безопасном для эритроцитов расстоянии.

Далее авторы [1] продемонстрировали способность наногубок нейтрализовать токсины в экспериментах на мышах *in vivo*. Были сделаны подкожные

инъекции α -токсинов и их смеси с наногубками. Через 72 ч после инъекции токсины вызвали у мышей тяжелые поражения (рис. 4а). Добавление наногубок (токсин:наногубка $\sim 70:1$) нейтрализовало токсины (рис. 4б).

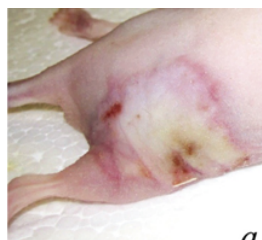
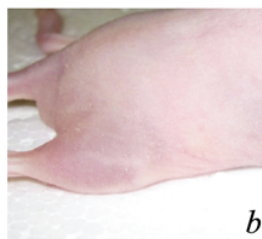


Рис. 4. Мышь через 3 суток после инъекции α -токсинов (а) и смеси токсинов с наногубками (б).



Затем через хвостовую вену группе мышей ввели летальную дозу токсинов (75 мкг на кг веса тела). В двух других группах за 2 мин до и через 2 мин после инъекции α -токсинов мышам ввели наногубки (80 мг на кг веса тела). Результаты представлены на рис.5. Токсины вызвали 100% гибель мышей через 6 ч. В

группе, которой ввели наногубки до токсинов, смертность снизилась до 11%, в группе, которой наногубки ввели после токсинов – до 56%. Предварительное введение как полимерных наночастиц, так и мембранных пузырьков мышам не спасло.

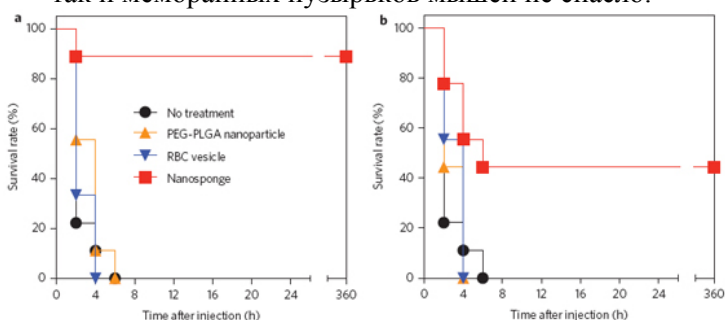


Рис. 5. Детоксикация *in vivo*. Выживаемость мышей через 15 дней после внутривенной инъекции α -токсинов (75 мкг/кг). 80 мг наногубок на кг веса тела, пузырьки мембран эритроцитов и полимерные наночастицы были введены внутривенно за 2 мин до (а) или через 2 мин после (б) инъекций токсина

Изучение биораспределения наногубок, поглотивших токсины, в организме мышей показало, что они в основном аккумулируются в печени, не вызывая при этом никаких нарушений ее функций. По-видимому, токсины удаляются путем безопасного метаболизма (возможно, поглощаются макрофагами).

Биоразлагаемые, биосовместимые наногубки, способные эффективно нейтрализовать самые разные пороформирующие токсины, могут оказаться чрезвычайно важными для развития методов детоксикации в современной медицине.

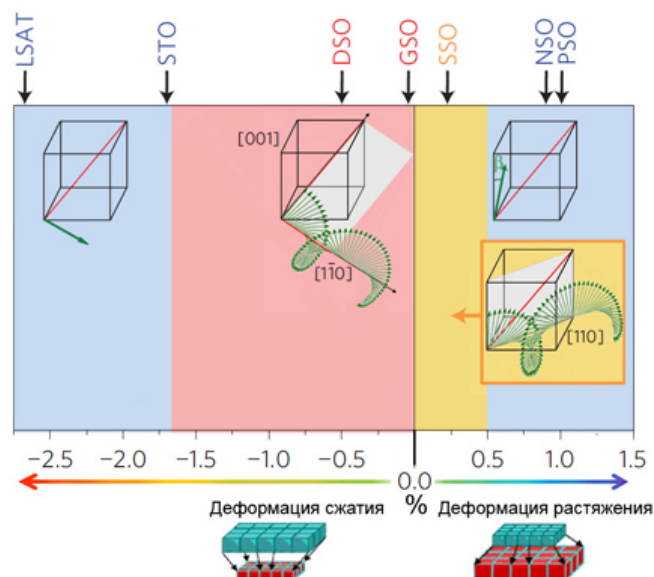
О.Алексеева

1. Che-Ming J. Hu et al., *Nature Nanotech.* **8**, 336 (2013).
2. Che-Ming J. Hu et al., *PNAS* **108**, 10980 (2011).
3. Ж.И. Андреева-Ковалевская и др., *Успехи биол. наук* **48**, 267 (2008).

СПИНТРОНИКА

Проектирование спиновых структур

При проектировании мостов и стальных конструкций наука о механических нагрузках служит краеугольным камнем всех инженерных расчетов. При изучении тонких пленок кристаллов механические напряжения, возникающие при эпитаксиальном росте, столь же важны: они приводят к возникновению сегнетоэлектричества, подавлению магнетизма, изменению подвижности носителей зарядов в полупроводниках и другим необычным явлениям. Технология изготовления материалов с заданными свойствами получает мощный инструмент – проектирование за счет создания механических деформаций (strain engineering). В недавней работе, опубликованной в *Nature Materials*, та же стратегия используется для дизайна спиновых структур в магнитном кристалле и настройки с помощью них работы устройств спинтроники и магноники [1].



Различные фазы, реализующиеся в пленках феррита висмута, выращенных на подложках с ориентацией (001) из материалов: $(\text{LaAlO}_3)_{0.3}(\text{Sr}_2\text{AlTaO}_6)_{0.7}$ (LSAT); SrTiO_3 (STO); NdScO_3 (NSO); PrScO_3 (PSO); DyScO_3 (DSO), GdScO_3 (GSO), SmScO_3 (SSO). Зелеными стрелками показано направление вектора антиферромагнетизма в феррите висмута.

Классическим примером пространственно модулированной спиновой структуры является спиновая циклоида в антиферромагнетике феррите висмута, о чем неоднократно писалось в ПерсТе [2, 3]. Именно наличие спиновой циклоиды долгое время не позволяло обнаружить предсказываемые симметричным анализом кристалла феррита висмута линейный магнитоэлектрический эффект и слабый ферромагнетизм, что заставляло искать различные способы подавления циклоиды [3]. Одним из таких способов как раз и может быть использование механических напряжений в эпитаксиальных пленках: при критических величинах сжатия или растяжения пленка феррита висмута переходит, соответственно, в легкоплоскостное или в легкоосное однород-

ные магнитные состояния (см. рис.). При этом, как показали измерения мёсбауровских спектров, распределение спинов в циклоиде, а также ориентация плоскости циклоиды относительно кристаллографических осей зависит от величины и знака механического напряжения [1].

В духе афоризма “кто нам мешает, тот нам поможет” авторы работы [1] используют спиновую циклоиду и зависимость ее формы и ориентации от деформации для того, чтобы регулировать величину обменного взаимодействия с ферромагнитным слоем, осажденным на феррит висмута (что проявляется в изменении магнитосопротивления данной структуры), а также для настройки спектров магнетонных мод в пленке антиферромагнетика. Это открывает новые перспективы для создания на основе феррита висмута устройств спиновой электроники и магноники.

А.Пятаков

1. D.Sando et al., *Nature Mat.* DOI: 10.1038/NMAT3629 (28 April 2013)
2. *ПерсТ* 20, вып. 3 (2013).
3. *ПерсТ* 16, вып. 15/16 (2009).
4. А.М. Кадомцева и др., *Письма в ЖЭТФ* 79, 705 (2004).

МАГНИТЫ

Иероглифы квантовой логики

Различие между логическими кодами современных компьютеров и способом квантовой записи информации напоминает разницу между алфавитом и иероглифами. В случае квантового подхода волновые функции многих частиц образуют единую волновую функцию ансамбля. При этом “запоминание” происходит не по очереди, в виде отдельных разрядов-частиц, изменяющих свое состояние, а одновременно во всем ансамбле. Сохраняемая информация затрагивает волновые функции всех частиц одновременно и представляет собой квантовый штрих-код. Одним из самых перспективных носителей этого штрих-кода является кремний [1]. Ситуация сходна с рисунком (иероглифом), обозначающим какое-либо японское слово, например “магнит” (рис. 1).



Рис. 1. Японский иероглиф (Jishyaku – магнит) объединяет два иероглифа: “магнитный” (первый иероглиф) и “камень” (второй иероглиф). Первый иероглиф участвует во всех словах, сообщающих о магнетизме (магнитная восприимчивость, ферромагнетизм, стрелка компаса и др.).

Элементы этого рисунка не читаются по отдельности, а информация, переносимая иероглифом, считывается глазом одновременно и включает в себя значительно больше, чем то, что можно пе-

редать с помощью одной буквы. Иероглиф – исторически сложившийся штрих-код, комбинация первоначальных рисунков-представлений о мире и, своего рода, “волновая функция” человеческого сознания, компилирующая простые образы.

По иронии судьбы именно японские ученые (в соавторстве с американскими) первыми создали полностью кремниевые кубиты [2-4]. Сначала было показано, что различие между ядерными спинами I изотопов кремния ($I=1/2$ для ^{29}Si , но $I=0$ для ^{28}Si и ^{30}Si) сильно изменяет физико-химические свойства наноструктур. Впервые в мире были созданы образцы, в которых тонкие слои (1-3 нм), обогащенные различными изотопами (^{28}Si , ^{29}Si и ^{30}Si), чередовались в очень аккуратной сверхрешетке, выполненной с нанометровой точностью [2] (рис. 2а).

Такие структуры позволили обнаружить чудесные особенности химических реакций и их зависимость от наличия магнитного изотопа, т.е. магнитный изотопный эффект [5, 6], а также увеличить точность дизайна логического симулятора CMOS-процессора (complementary metal-oxide-semiconductor), нужного для создания кремниевой микросхемы памяти. Это повлекло за собой развитие изотопной спиновой инженерии кремния и развитие новых инструментов для спинтроники.

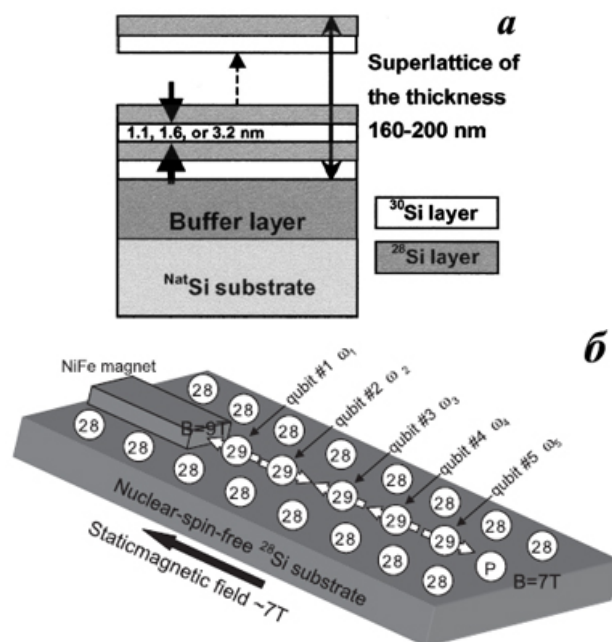


Рис. 2. а – Гетероструктура, состоящая из чередующихся слоев кремния магнитного и немагнитного изотопов; б – схема ядерного спинового процессора на изотопах кремния [4] (указаны номера кубитов и их рабочие частоты ω_i)

Идея применения одиночного атома кремния с магнитным ядром в качестве бита и процессора была предложена в [4]. Усовершенствованная версия этой концепции показана на рис. 2б. В этом устройстве ориентация и фаза каждого спина ядра ^{29}Si в цепочке эквивалентна биту информации. Ключом к считыванию является атом фосфора с электронным

спином, помещенный на конце цепочки и “считывающий” информацию, записанную в цепочке ядерных спинов кремния. Реализация такого квантово-механического устройства оказалась возможна благодаря выполнению следующих условий:

1) Изотопно-очищенный кремний без парамагнитных примесей обладает гигантским временем удержания квантовой информации – при комнатной температуре спины ядер ^{29}Si остаются ориентированными 25 с [7]. Этого времени вполне достаточно, чтобы произвести миллиарды логических операций.

2) Спиновая когерентность электронного спина фосфора допускает передачу информации о состоянии кубитов через сверхтонкое взаимодействие с ядрами ^{29}Si [8]. Таким образом, электронный спин фосфора на конце цепочки дирижирует работой всех кубитов в ней.

3) Цепочки ядер ^{29}Si удалось создать и доказать их согласованную работу [9].

4) Инициализация прибора (ориентирование всех спинов в одном направлении) осуществлялась оптической накачкой [10], а также динамической ядерной поляризацией с помощью электронного спина фосфора. Манипуляция спинами ядер кремния была произведена с помощью ядерного магнитного резонанса.

5) Для считывания с ансамбля ядерных спинов ^{31}P были использованы два метода: оптический и электрический. При электрическом методе считывания (разработан с участием российских ученых из ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН [11]) был использован факт передачи информации от цепочки кремниевых ядер к ядру фосфора. Для считывания информации с ядра фосфора использовали электродипольный магнитный резонанс в небольшом магнитном поле (~ 200 Э), который создавал запутанные состояния Бэлла между ядерной подсистемой и электронным спином, т.е. под действием микроволнового электрического поля возникали квантовые иероглифы – штрих-коды, нужные для обработки информации и установления одновременно и электронных и ядерных спиновых состояний [11].

Таким образом, создание реального устройства квантовой памяти требует выполнения целого ряда вышеперечисленных высокотехнологичных условий, реализуемых только в рамках нанотехнологий и оборудования, пригодного для манипулирования одиночными атомами. Одним из главных условий записи-считывания информации (общения с кубитной памятью) является надежное и сильное влияние ядерных спинов на состояния электронных спинов в считывающем устройстве. Этот элемент (называемый “ключом”) в [2-10] предлагается выполнить в виде концевой атома фосфора, обладающего электронным и ядерным спинами, связанными эффективным сверхтонким взаимодействием (рис. 2б).

Отметим, что и здесь продолжается аналогия с японским языком. “Ключом” в первом иероглифе на рис. 1 называют изображение второго иероглифа (“камень”), включенного также и в первый иероглиф. Именно по нему находят это слово в словаре и относят к определенной группе иероглифов. “Ключ” одинаково открывает двери в семантический анализ информации в японском языке и при считывании квантового “слова”. Аналогия между иероглифами (продуктом человеческого сознания) и квантовой памятью (объектом, способным существовать вне сознания) нами выбрана не случайно. Вероятно, аналогия стала возможна потому, что принципы работы компьютера постепенно приближаются к неизвестным до сих пор принципам работы человеческого мозга.

О.Коплак

1. J.J.Pla et al., *Nature* **496**, 334 (2013).
2. T.Kojima et al., *Appl. Phys. Lett.* **83**, 2318 (2003).
3. E.Abe et al., *Phys. Rev. Lett.* **89**, 017901 (2002).
4. K.M.Itoh, *Solid State Comm.* **133**, 747 (2005).
5. K.Ibano et al., *J. Appl. Phys.* **103**, 026101 (2008).
6. Y.Shimizu et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 095901 (2007).
7. T.D.Ladd et al., *Phys. Rev. B* **71**, 014401 (2005).
8. E.Abe et al., *Phys. Rev. B* **70**, 033204 (2004).
9. T. Sekiguchi et al., *Appl. Phys.* **101**, 081702 (2007).
10. A.S.Verhulst et al., *Phys. Rev. B* **71**, 235206 (2005).
11. H.Morishita et al., *Phys. Rev. B* **80**, 205206 (2009).

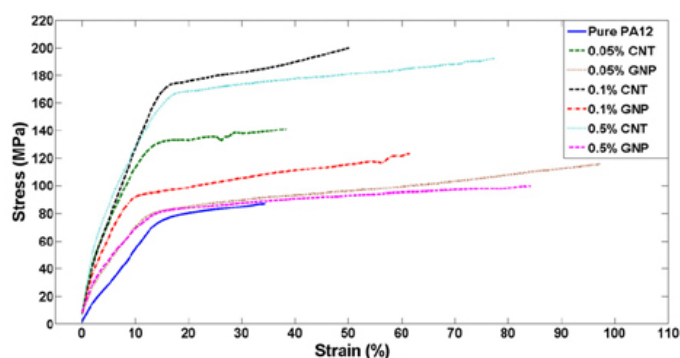
ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Модификация полиамидного волокна в результате введения углеродных нанотрубок и графена

Как известно, введение в полимер наноуглеродных материалов, таких как углеродные нанотрубки (УНТ) или графен приводит к существенному изменению электрических, механических и оптических свойств полученного композита. Достаточно введения небольшого, менее 1%, количества УНТ для того, чтобы перевести композит в класс проводящих материалов. Такой эффект обусловлен высокой проводимостью и высоким аспектным отношением УНТ, благодаря которому перколяционный перенос заряда происходит уже при весьма небольшом содержании УНТ. Наряду с проводимостью, наноуглеродные частицы обладают рекордными механическими характеристиками, что открывает возможность их использования в качестве присадки для модификации механических свойств полимеров. Работы в этом направлении, проводимые во многих лабораториях мира, не привели пока к значительным достижениям, что связано с трудностью решения проблемы механического сопряжения поверхности УНТ или графена с полимерной матрицей. Однако исследования, выполненные недавно группой специалистов из Швейцарии [1], показали, что наряду с прямым механизмом изменения механических характеристик полимерного ма-

териала в результате введения нанокуглеродных частиц, имеется также косвенный механизм, связанный с повышением степени кристалличности полимера в результате такого процесса. Нанокуглеродные частицы способствуют повышению среднего размера полимерных молекул, что приводит к изменению механических свойств композита.

В качестве присадки к полимеру авторы использовали многослойные УНТ диаметром 10-20 нм и длиной более 1 мкм, а также графеновые нанопластины (ГНП) толщиной 6-15 нм и средним диаметром 25 мкм. В качестве полимера использовали полиамидную смолу PA12. Сначала таблетки PA12 массой 4 г в течение 48 ч прогревали при 60°C, а затем вместе с присадкой помещали в гомогенизатор (время - 180 с, температура - 190°C, скорость - 180 об./мин). Массовое содержание присадки УНТ либо ГНП в образцах составляло 0.05 %, 0.1 % и 0.5 %. Полученный композитный материал свивали стандартным способом в волокна при температуре 220°C. Образцы волокон исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа, оптического микроскопа, широкоугольного рентгеновского дифрактометра, а также стандартного оборудования для механических испытаний. Результаты этих исследований указывают на существование значительных (размером до 10 мкм) областей агломерации примесных наночастиц, что должно отрицательно влиять на механические характеристики композита. Несмотря на это испытания продемонстрировали значительное, до четырехкратного, увеличение механической прочности волокна в результате добавления менее 1% нанокуглеродных частиц. Этот результат можно видеть из представленных на рисунке зависимостей растяжения от усилия, полученных для композитов различного состава.



Как видно, введение присадки приводит к многократному увеличению модуля Юнга (отношение усилия к растяжению) композита. При этом наибольший эффект наблюдается в случае композита с присадкой 0.5% ГНП. Результаты рентгенографических измерений показывают, что данный эффект связан с увеличением степени кристалличности полимера, сопровождающем повышение содержания присадки в композите. По мнению авторов, углеродные наночастицы служат центрами кристаллизации полимера, поэтому их добавление способст-

вует увеличению длины полимерных цепей. При этом УНТ в качестве присадки оказываются более эффективными, чем ГНП.

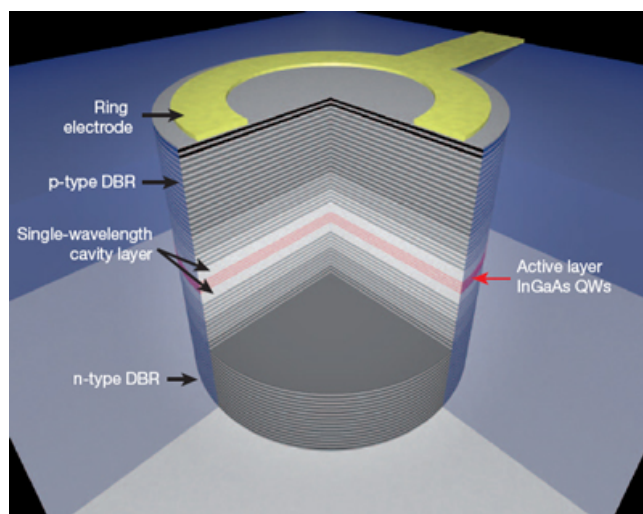
А.Елецкий

1. S.Chatterjee et al, Chem. Phys. Lett. 557, 92 (2013).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Поляритонный лазер с электрической накачкой

Экситон-поляритоны в микрорезонаторах с квантовыми ямами (см. рис.) возникают в режиме сильного экситон-фотонного взаимодействия и представляют собой композитные бозоны, которые состоят частично из света, а частично – из вещества.



Микрорезонатор с квантовыми ямами.

Если их концентрация превышает определенную критическую величину, они образуют бозе-конденсат, в котором распадаются с испусканием фотонов, что приводит к возникновению монохроматического когерентного излучения. В работе [1] интернационального коллектива из Германии, США, Японии, Исландии, Сингапура и России (ИФТТ РАН) этот эффект использован для создания поляритонного лазера с электрической накачкой. Его основу составляет слоистая полупроводниковая структура GaAs/AlAs/InGaAs.

1. C.Schneider et al., Nature 497, 348 (2013).

КОНФЕРЕНЦИИ

XVI National Conference of Superconductivity and Strongly Correlated Systems, 7-12 October, 2013, Zakopane, Poland

Topics:

- Unconventional superconductivity and magnetism. Their coexistence.
- High Tc superconductivity
- Heavy fermion systems
- Graphene with induced superconductivity
- Selected strongly correlated systems

Important dates

The abstract submission begins: **June 1, 2013**

The abstract submission ends: **September 10, 2013**

Contact

E-mail: condensed.matter@uj.edu.pl

Website: <http://th->

www.if.uj.edu.pl/zims/eng/conference.php



58th Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference, 4-8 November 2013, Denver, Colorado, USA

Topics

- I. Fundamental Properties and Cooperative Phenomena
- II. Magnetoelectronic Materials and Effects
- III. Spintronics: Fundamentals and Devices
- IV. Magnetization Dynamics and Micromagnetics
- V. Soft Magnetic Materials and Applications
- VI. Hard Magnetic Materials and Applications
- VII. Structured Materials
- VIII. Special Magnetic Materials
- IX. Magnetic Recording
- X. Sensors (not magnetic recording), High Frequency and Power Devices
- XI. Magnetic Microscopy, Imaging, and Interdisciplinary Topics

Important dates

Abstract submission opens - **12 June 2013**

Abstract submission closes - **26 June 2013**

Contact

E-mail: magnet@aip.org

Website: www.magnetism.org

II Международный молодежный симпозиум “Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (анализ современного состояния и перспективы развития)”. (LFPM- 2013), 2-6 сентября 2013 г., г. Туапсе, Краснодарский край, Россия

Для участия в работе Симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по электронному адресу до **15 июня 2013 года**.

E-mail: org.lfpm@gmail.com

Website: <http://ip.sfedu.ru/>

IV Междисциплинарный, международный симпозиум “Среды со структурным и магнитным упорядочением” (Multiferroics-4), 4-7 сентября 2013 г., г. Туапсе, Краснодарский край, Россия

Для участия в работе Симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по электронному адресу до **15 июня 2013 года**.

E-mail: org.multiferroics@gmail.com

Website: <http://ip.sfedu.ru/>

XVI Междисциплинарный, международный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-16), 7-12 сентября 2013г., г. Туапсе, Краснодарский край, Россия

Для участия в работе Симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по электронному адресу до **15 июня 2013 года**.

E-mail: org.oma.odpo@gmail.com

Website: <http://ip.sfedu.ru/>

XVI Междисциплинарный, международный симпозиум “Упорядочение в минералах и сплавах” (ОМА -16), 12-17 сентября 2012 г., г. Туапсе, Краснодарский край, Россия

Для участия в работе Симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по электронному адресу до **15 июня 2013 года**.

E-mail: org.oma.odpo@gmail.com

Website: <http://ip.sfedu.ru/>

III Междисциплинарный международный симпозиум “Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы” (PSP & PT), 17-21 сентября 2013 г., г. Туапсе, Краснодарский край, Россия

Для участия в работе Симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по электронному адресу до **15 июня 2013 года**.

E-mail: org.pspt@gmail.com

Website: <http://ip.sfedu.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.Опенков, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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