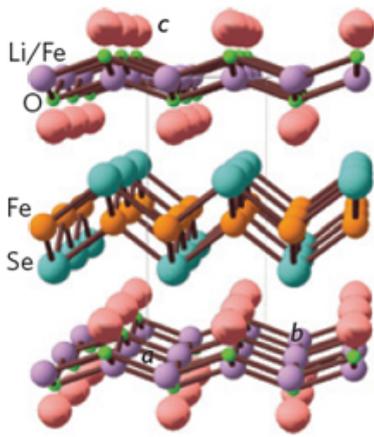


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Сосуществование сверхпроводимости и антиферромагнетизма в $(Li_{0.8}Fe_{0.2})OHFeSe$

В работе [1] (Китай, США) изготовлен новый устойчивый на воздухе сверхпроводящий селенид железа  $(Li_{0.8}Fe_{0.2})OHFeSe$  с  $T_c \approx 40$  К (см. рис.).



Кристаллическая структура  $(Li_{0.8}Fe_{0.2})OHFeSe$ .

Он интересен тем, что сверхпроводимость в нем сосуществует с антиферромагнетизмом. Использованный авторами гидротермический метод синтеза позволяет получить и другие селениды такого типа, исследование которых важно для понимания сверхпроводимости безмедных ВТСП.

*Л. Опенов*

1. X.F.Lu et al., *Nature Mater.* **14**, 325 (2015).

### Сверхпроводящая щель в полупроводнике

В электронных спектрах и полупроводников, и сверхпроводников есть энергетические щели, хотя и фундаментально различной природы. В работе [1] (Дания, США) обнаружено, что сверхпроводниковая оболочка полупроводникового нанопровода InAs (рис. 1, 2) индуцирует в нем сверхпроводящую щель за счет эффекта близости (рис. 3).

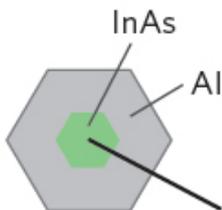


Рис. 1. Поперечное сечение нанопровода InAs/Al.

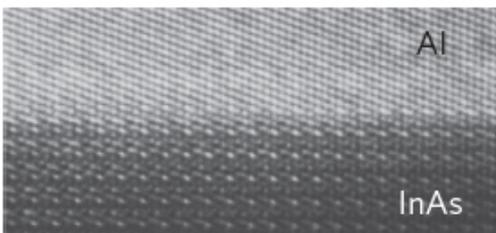


Рис. 2. Граница раздела InAs/Al. Данные просвечивающей электронной микроскопии.

И далее ...

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Перепутывание удаленных спинов в антиферромагнитных цепочках

Когерентные операции с зарядовым кубитом в двойной квантовой точке

### ГРАФЕН

- 3 Графен помогает уничтожать раковые клетки
- 4 Эффективные хемосенсоры на основе нанотрубок и графена

### НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 5 Они слоистые и светятся...  
Силициновые транзисторы

### СНОВА К ОСНОВАМ

- 6 Назло теореме Ирншоу

### ОБЗОРЫ

- 7 Купраты: от квантовой материи к высокотемпературной сверхпроводимости

### КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Первая российская конференция "Графен: молекула и 2D кристалл", 8-12 сентября 2015 г., г. Новосибирск, Россия

Международная конференция "Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах", 24-28 августа 2015 г., г. Челябинск, Россия

2nd Russia-China Workshop on Dielectric and Ferroelectric Materials (Ru-CnWDFM-2), September 11-14, 2015, Voronezh, Russia

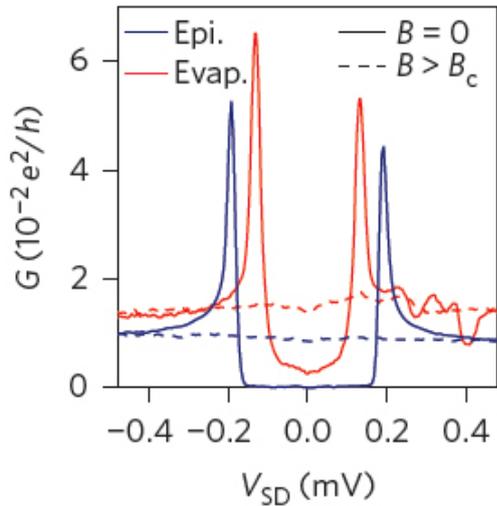


Рис. 3. Дифференциальные ВАХ нанопровода InAs/Al (синяя линия) и контрольного образца, полученного стравливанием алюминиевой оболочки (красная линия).

Это представляет интерес для разработчиков гибридных электронных устройств нового типа.

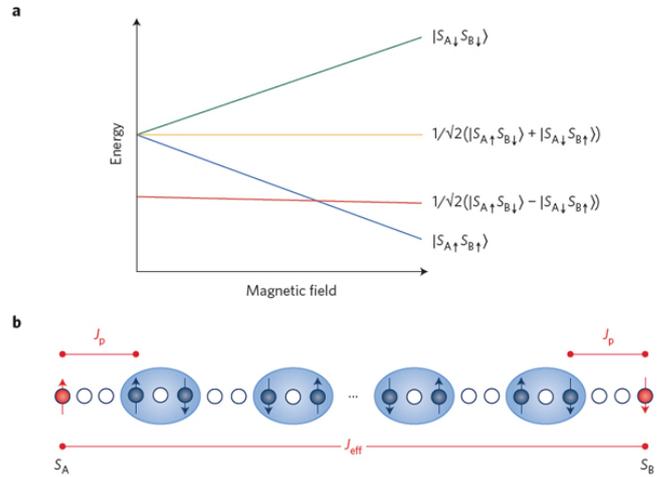
1. *W.Chang et al., Nature Nanotech. 10, 232 (2015).*

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Перепутывание удаленных спинов в антиферромагнитных цепочках

Квантовая запутанность не имеет аналогов в классическом мире и поэтому может показаться противоречащей здравому смыслу. Если две частицы перепутаны, то квантовые состояния каждой из них по отдельности просто не существуют, как бы далеко эти частицы не отстояли друг от друга в пространстве и времени. Запутанность лежит в основе квантовых вычислений и квантовой связи. Для переноса запутанности на большие расстояния лучше всего подходят фотоны, но здесь возникает проблема передачи квантовой информации между физически различными кубитами (например, от ионов в ловушке к фотонам, а от них – к спинам). Согласно современным представлениям, реальный квантовый компьютер будет, по-видимому, гибридной системой, сочетающей в себе оптические и твердотельные компоненты. Последние требуются для соединения нескольких квантовых процессоров, расположенных не слишком далеко друг от друга.

В работе [1] (Франция, Германия) показано, что такими элементами могут быть антиферромагнитные спиновые цепочки (см. рис.). Для демонстрации эффекта перепутывания спиновых состояний крайних атомов цепочки длиной 20-25 нм авторы использовали слоистый купрат  $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ , в котором слои спиновых “лестниц” чередуются со слоями спиновых цепочек. Эксперимент проводили при температуре 2.1 К.

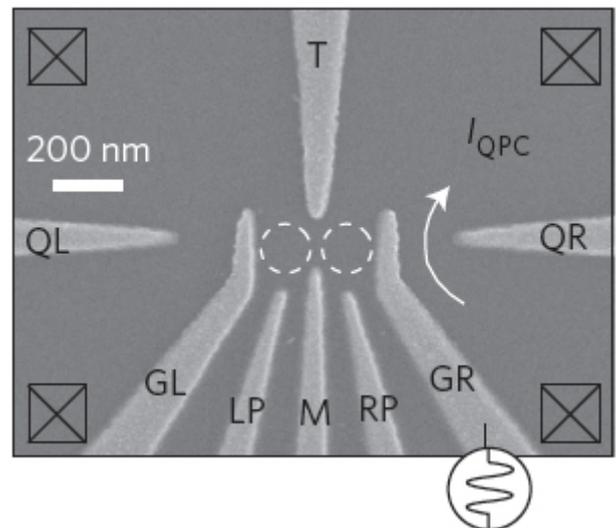


Спиновая запутанность: а – влияние магнитного поля на энергетический спектр пары обменно-взаимодействующих спинов; б – перепутывание спинов на разных концах антиферромагнитной цепочки.

1. *S.Sahling et al., Nature Phys. 11, 255 (2015).*

### Когерентные операции с зарядовым кубитом в двойной квантовой точке

Самый простой (и для интуитивного понимания, и для практической реализации) вариант зарядового кубита – это электрон в двухъямном потенциале. Его логическим нулю и единице отвечают либо локализованные в разных ямах состояния, либо их симметричная и антисимметричная комбинации. У таких кубитов есть как плюсы (большая скорость операций в силу сильного взаимодействия с электрическим полем), так и минусы (быстрая дефазировка из-за зарядового шума).



Гетероструктура Si/SiGe с двумя квантовыми точками (пунктирные линии), сформированными электростатически, путем подачи напряжения на соответствующие электроды (изображение получено методом сканирующей электронной микроскопии).

В работе [1] продемонстрированы универсальные (любые повороты на сфере Блоха) операции с зарядовым кубитом в двойной квантовой точке – двух расположенных поблизости друг от друга кванто-

*ПерТ, 2015, том 22, выпуск 6*

вых точках Si/SiGe (см. рис.), формирующих для электрона потенциальный рельеф с двумя минимумами. В отличие от упомянутого упрощенного случая “один электрон – две ямы”, авторы исследовали структуру с тремя электронами, так что базис кубита образовывали состояния не (1,0) и (0,1), а (2,1) и (1,2). Точность операций, которые осуществлялись посредством воздействия на кубит резонансного СВЧ поля с частотой несколько ГГц, превысила 86%. Время декогерентизации составило чуть более 1 нс.

1. D.Kim et al., *Nature Nanotech.* **10**, 243 (2015).

## ГРАФЕН

### *Графен помогает уничтожать раковые клетки*

Развитие устойчивости к радиотерапии и к препаратам, используемым в химиотерапии, является одним из главных препятствий при лечении рака. Важнейшее свойство опухолевых клеток – нестабильность генома. Даже первично чувствительные клетки в результате спонтанных мутаций могут приобрести резистентность. Исследователи постоянно ищут способы преодоления этой проблемы. Один из предлагаемых подходов – радиочастотная абляция опухолей (РЧА). Этот малоинвазивный и относительно безопасный метод локального термического воздействия сейчас применяется во многих клиниках России, США, Израиля и других стран. Суть его заключается в том, что в опухоль вводится специальный тонкий зонд с электродами. В результате воздействия электромагнитных волн (обычно частотой 450-500 кГц) происходит нагрев опухолевой ткани до 60-90°C (область воздействия до 7 см)

и последующий некроз [1] (существует точка зрения, что важную роль играет и нетермическое воздействие электромагнитного поля). В последнее время стали также использовать волны ВЧ диапазона (13.56 МГц). Эффективность метода может быть достаточно высокой, но имеется ряд ограничений. Важно не повредить соседние структуры и органы; для правильного ввода электрода необходимо использовать один из способов визуализации опухоли (УЗИ, КТ, ЯМР). Многие исследователи считают, что применение наноматериалов позволит расширить возможности РЧА. Были проведены эксперименты с углеродными нанотрубками (УНТ), наночастицами золота, оксида железа. Однако самые большие надежды возлагают на графен, обладающий высокой теплопроводностью, замечательными электрическими характеристиками и биосовместимостью.

Об уникальных возможностях, которые обеспечивают применение графена и графеновых материалов в медицине, уже не раз рассказывал ПерсТ (например, [2,3]). Эти наноматериалы перспективны для создания биосенсоров, систем адресной доставки диагностических и лекарственных средств, фототермического уничтожения опухолей, нейрорегенерации и др. В недавней работе ученые из Индии показали, что конъюгат (т. е. соединение) графена (G) с белком трансферрином (Trf) можно эффективно использовать для РЧА раковых клеток [4]. Известно, что трансферрин связывается на поверхности раковых клеток со своими рецепторами, количество которых в таких клетках существенно возрастает, и таким образом обеспечивает направленную доставку присоединенных к нему лекарств. Схема синтеза конъюгата Trf и карбоксил-функционализованного графена приведена на рис. 1 [4].

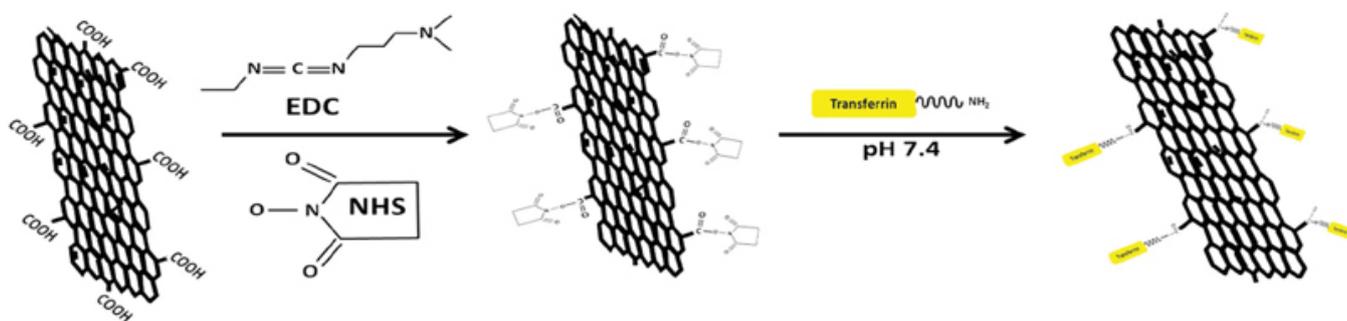


Рис.1. Схема синтеза конъюгата графен-трансферрин (Trf-G).

Тепловые отклики Trf-G на воздействие излучения ВЧ диапазона (13.56 МГц) разной мощности и длительности показаны на рис. 2. Для сравнения авторы [4] привели аналогичные данные для наночастиц Au, углеродных нанотрубок и клеточной среды, в

которой находились все образцы. Видно, что Trf-G имеет высокий потенциал использования в РЧА. В дополнительных экспериментах исследователи убедились, что тепловой отклик не связан с наличием в графене примесей металлов.

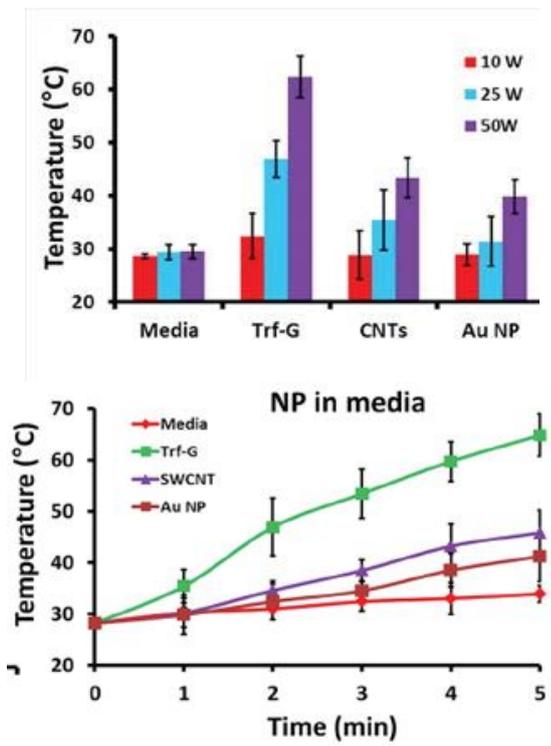


Рис. 2. Тепловой отклик Trf-G, наночастиц Au, УНТ, помещенных в питательную среду для клеток, и самой среды на ВЧ воздействие разной мощности в течение 5 мин (вверху) и разной длительности при 50 Вт (внизу).

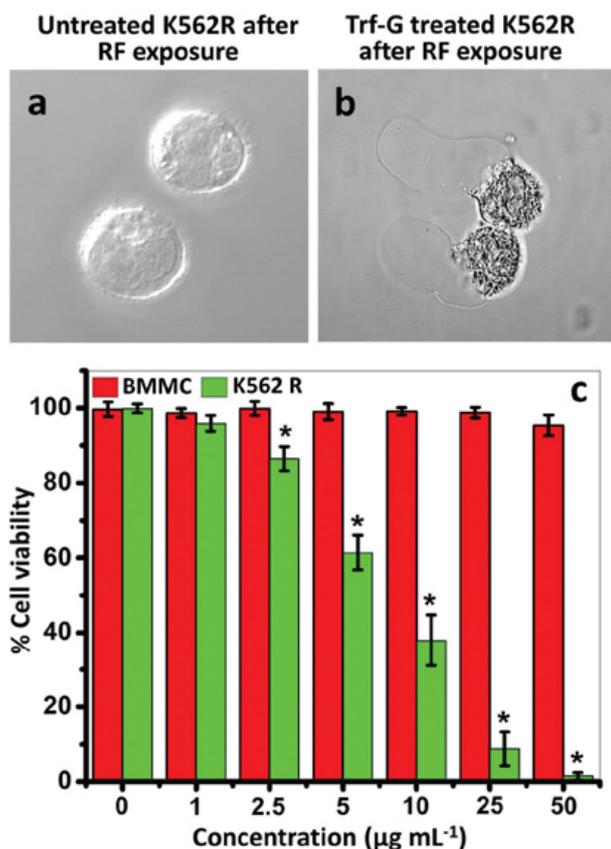


Рис. 3. Изображения клеток K562R после ВЧ воздействия: а – без графена; б – при добавлении Trf-G (10 мкг/мл); с – жизнеспособность раковых K562R и здоровых ВММС клеток в зависимости от концентрации Trf-G при воздействии ВЧ 50 Вт, 5 мин, 13.6 МГц.

Для проверки эффективности Trf-G в радиочастотной абляции авторы использовали опухолевые клетки линии K562R, устойчивые к радиотерапии и препаратам химиотерапии, а также контрольные здоровые клетки костного мозга человека ВММС (рис. 3). На рис. 3b четко видна коагуляция клеточных белков и ядер K562R в присутствии Trf-G (воздействие 50 Вт, 5 мин, 13.6 МГц). Доля погибших раковых клеток зависит от концентрации конъюгата (рис. 3c). На здоровые клетки графен не оказывает вредного воздействия вплоть до концентрации 50 мкг/мл.

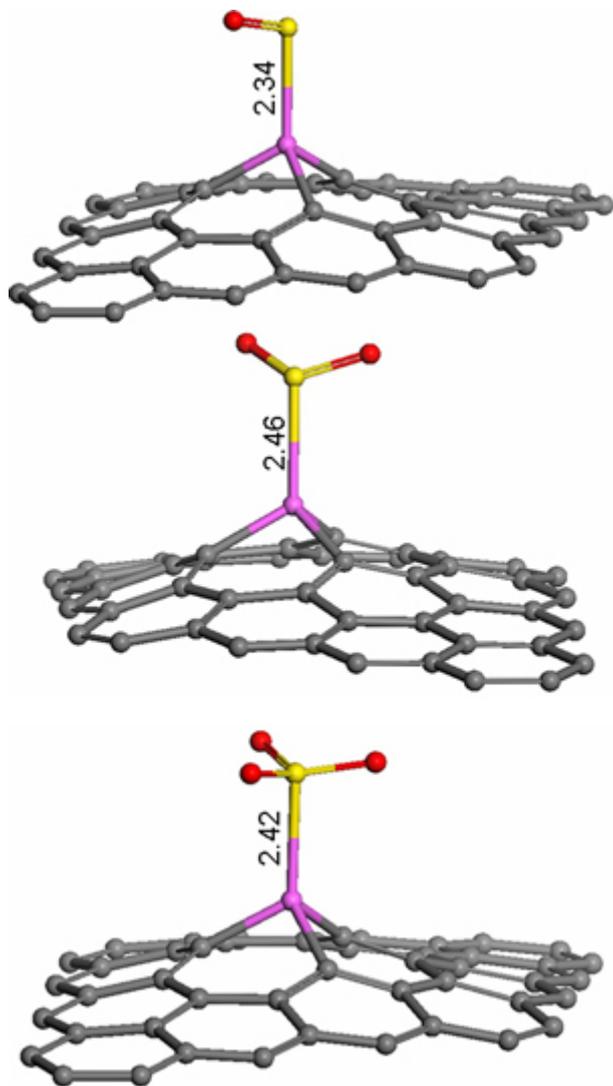
Авторы работы показали, что благодаря графену для уничтожения опухолей, устойчивых к радиотерапии и препаратам химиотерапии, можно использовать ВЧ излучение малой мощности. При этом очень важно, что нагрев происходит только внутри раковых клеток, и риск повреждения здоровых сводится к минимуму.

О. Алексеева

1. Б.И.Долгушин и др., *Практическая онкология* 8, 219 (2007).
2. [ПерсТ 20, вып. 19, с.3 \(2013\).](#)
3. [ПерсТ 21, вып. 13/14, с.3 \(2014\).](#)
4. A.Sasidharan et al., *Adv. Healthcare Mater.* DOI: 10.1002/adhm.201400670 (2015).

### Эффективные хемосенсоры на основе нанотрубок и графена

По мнению исследователей из Саудовской Аравии легированные углеродные нанотрубки (УНТ) и графен вполне могут стать эффективной базой для производства хемосенсоров различных оксидов серы  $SO_x$  ( $x = 1, 2, 3$ ). Достаточно лишь правильно подобрать допанты и хиральность УНТ. В своей работе [1] при помощи расчетов в рамках теории функционала плотности (программный пакет DMol3), авторы показали, что допированные алюминием и кремнием углеродные нанотрубки и графен обладают высокой адсорбционной способностью. При этом присоединение радикала к поверхности УНТ или графена резко уменьшает диэлектрическую щель образца, что в конечном итоге сказывается на проводимости. Таким образом, измеряя сопротивление, можно с легкостью детектировать ядовитые вещества (в данном случае, оксиды серы). В качестве основы будущих детекторов авторы рассмотрели несколько типов возможных функциональных материалов: кресельные и зигзагообразные нанотрубки с индексами хиральности (5,5) и (9,0), соответственно, и фрагмент графена из 142 атомов углерода, пассивированный по краям водородом. В итоге выяснилось, что наибольшей эффективностью в детектировании соединений  $SO_x$  обладают Al-УНТ(9,0). Графен, допированный тем же алюминием, хотя и немного уступает нанотрубкам, согласно приведенным результатам расчетов тоже вполне хорош (рис. 1).



Адсорбированные на допированном алюминием графене молекулы оксидов серы: SO (сверху), SO<sub>2</sub> (в центре), SO<sub>3</sub> (снизу).

В заключение, отметим, что это далеко уже не первый случай, когда графену и нанотрубкам предсказывают большое будущее в качестве основы детекторов химических соединений. Будем надеяться, что выпуск реально работающих устройств уже не за горами.

М. Маслов

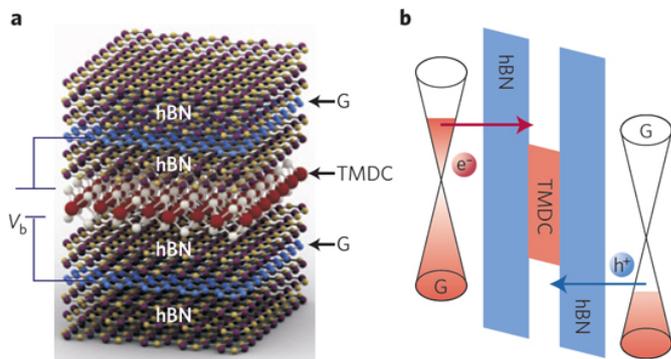
*I. A. Al-Sunaidi et al., Chem. Phys. Lett. 621, 65 (2015).*

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Они слоистые и светятся...

Говоря о гетероструктурах, обычно имеют в виду комбинации двух и более полупроводниковых материалов с различной шириной запрещенной зоны. Они играют ключевую роль в полупроводниковых лазерах с комнатной рабочей температурой, биполярных транзисторах и пр. Как правило, их получают посредством молекулярно-лучевой эпитаксии или химического осаждения паров металлоорганических соединений. В работе [1] (Великобритания, Япония) сообщается об изготовлении (путем про-

стого механического переноса) слоистых гетероструктур из графена, гексагонального нитрида бора (h-BN) и дихалькогенидов переходных металлов (TMDC), в которых связь между слоями осуществляется не благодаря эпитаксии, а за счет слабого вандерваальсовского притяжения (рис. 1а).



а – Схематическое изображение слоистой вандерваальсовской гетероструктуры графен/h-BN/TMDC, использованной в светодиоде. При подаче напряжения на графеновые электроды инжектируемые электроны и дырки рекомбинируют в монослое TMDC с испусканием гамма-квантов.

б – Носители заряда туннелируют в слой TMDC через слои h-BN.

с – Красный вандерваальсовский светодиод (длина масштабной линейки 10 мкм).

Слои h-BN играют роль туннельных барьеров, через которые носители заряда проникают из графена в TMDC (рис. 1б), где рекомбинируют, излучая свет. Из таких гетероструктур авторы [1] изготовили светодиоды (рис. 1с). Длина волны излучения определяется материалом TMDC. Основным преимуществом вандерваальсовских гетероструктур перед эпитаксиальными является отсутствие жестких требований к соответствию периодов решеток соседних слоев.

*По материалам заметки X.Wang, F.Xia, "Stacked 2D materials shed light", Nature Mater. 14, 264 (2015)*

*I. F. Withers et al., Nature Mater. 14, 301 (2015).*

### Силициновые транзисторы

Силицен – кремниевый аналог графена – имеет гексагональную решетку, образованную двумя подрешетками, слегка смещенными относительно друг друга в поперечном направлении (рис. 1). Обладая дираковской зонной структурой и, возможно, небольшой запрещенной зоной, силицен представляет интерес как для прикладных задач (нанoeлектронные устройства), так и для фундаментальной физики (квантовый спиновый эффект Холла, хиральная

сверхпроводимость, гигантское магнитосопротивление).

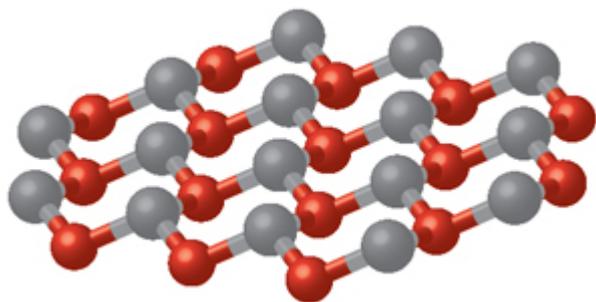


Рис. 1. Структура силицена.

Однако экспериментальные исследования и практическое использование силицена осложняются его быстрой деградацией на воздухе. Чтобы избежать этого, в работе [1] (США, Италия) осажденный на пленку Ag(111) монослой силицена покрывали защитной пленкой  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Измерения показали, что подвижность носителей (и электронов, и дырок) составляет около  $100 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  – примерно как в  $\text{MoS}_2$ , но на три порядка меньше теоретически ожидаемой величины. В электронном спектре имеется запрещенная зона, хотя и довольно узкая (210 мэВ). Авторы использовали монослой силицена для изготовления канала полевого транзистора (рис. 2) с комнатной рабочей температурой.

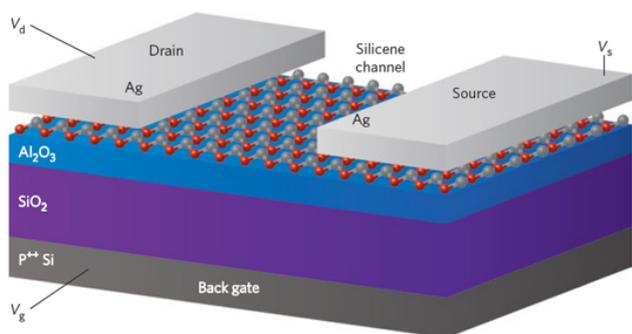


Рис. 2. Полевой транзистор с силициновым каналом.

Может статься, что в электронной промышленности на смену кремнию придет все тот же кремний, только в форме силицена (или его кузенов – германы и станены).

*Л.Опенев*

*1. L. Tao et al., Nature Nanotech. 10, 227 (2015).*

## СНОВА К ОСНОВАМ

### Назло теореме Ирншоу

Английский физик Ирншоу в середине XIX века сформулировал теорему, согласно которой не существует устойчивой равновесной конфигурации тел, взаимодействующих силами Кулона. Она также верна для гравитационных и магнитостатических сил, и ее следствием является невозможность подвесить один магнит над другим. Теорема Ирншоу портит жизнь и медикам, внедряющим новые

способы лечения с помощью магнитных наночастиц – с помощью системы магнитов, находящихся вне тела, нельзя сконцентрировать магнитные наночастицы в глубокозалегающих областях внутри тела (рис. 1А и 1В).

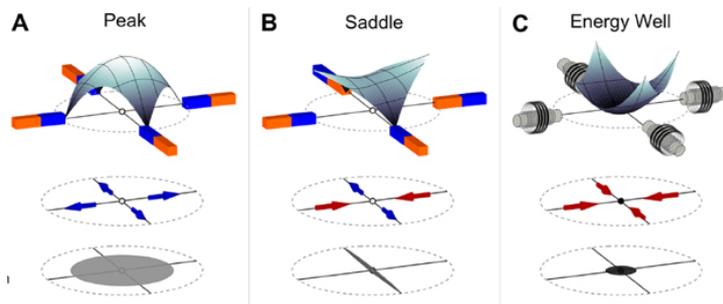


Рис. 1. Как обойти теорему Ирншоу. Эффективный потенциал (верхний ряд), силы, действующие на магнитные частицы (средний ряд), и распределение магнитных частиц (нижний ряд) для полей от различных источников: постоянных магнитов (А и В) и системы динамической магнитной инверсии (С).

Однако в любом правиле есть исключения, пусть и подтверждающие это правило. В данном случае, теорема не распространяется на среды с отрицательной восприимчивостью, и диамагнитный материал может парить над магнитом. К сожалению, возникающие при этом силы весьма малы, поэтому данный фокус получается либо с легкими листочками пиролитического графита, либо в поле сверхсильного магнита, что ставит под сомнение практическую значимость такой левитации (именно за опыт с парящей в сверхпроводящем электромагните лягушкой А. Гейму присудили Шнобелевскую премию).

Но есть и другая возможность: теорема сформулирована для статических полей, а возможность быстрой перестройки не рассматривается. Если магнитные частицы сориентировать в магнитном поле, а затем быстро переключить его полярность, то частицы окажутся в отталкивающем поле, что, при использовании системы магнитов, позволит их собрать в центральной точке (рис. 1С). При этом, конечно, наночастицы начнут разворачиваться другим полюсом к ближайшему магниту. Этого им позволить сделать нельзя, и следует снова переключить полярность магнитов, чтобы выровнять частицы-диполи. Для того чтобы добиться преимущественно поступательного движения наночастиц и предотвратить их разворот, американские ученые [1] предложили использовать наночастицы в виде стержней: за счет большого момента инерции и малого сопротивления среды вдоль оси стержня удастся эти наноразмерные полосовые магниты удерживать постоянно ориентированными против внешнего градиентного поля. Кроме того, подбирается длительность, амплитуда и пространственная неоднородность импульсов магнитного поля: короткий импульс сильного ( $>15\text{A}$ ) тока в катушке градиентного поля сменяется в десять раз большим

по длительности импульсом ориентирующего однородного поля, чтобы частицы успели вернуться к прежней ориентации. Данную процедуру концентрирования наночастиц в области между магнитами авторы [1] назвали динамической магнитной инверсией потенциала и продемонстрировали ее эффективность на взвеси магнитных наночастиц в чашке Петри.

А. Пятаков

1. A.Nacev et al., *Nano Lett.* **15**, 359 (2015).

## ОБЗОРЫ

### Купраты: от квантовой материи к высокотемпературной сверхпроводимости

Открытие в 1986 г. высокотемпературной сверхпроводимости купратов по праву считается одним из основных научных событий 20-го века. Критическая температура  $T_c$  подскочила сразу в несколько раз, значительно превысив  $T_c$  “обычных” сверхпроводников (рис. 1).

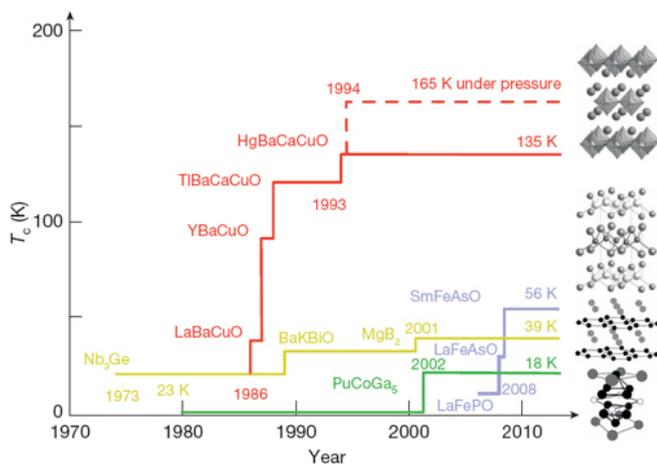


Рис. 1. Рост критической температуры сверхпроводящего перехода на рубеже веков. Красным, желтым, зеленым и фиолетовым цветами показаны, соответственно, данные для купратов, сверхпроводников с фоновым механизмом спаривания, тяжелофермионных соединений и пниктидов железа.

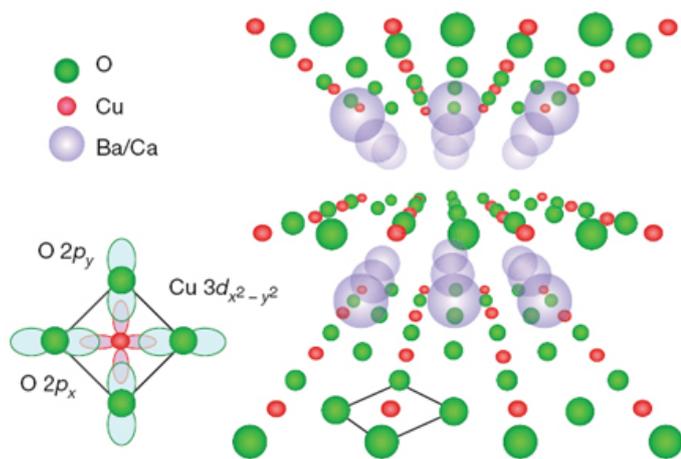


Рис. 2. Купратные ВТСП имеют слоистую кристаллическую структуру, основным элементом которой являются плоскости  $\text{CuO}_2$ .

ПерсТ, 2015, том 22, выпуск 6

По мере накопления экспериментального материала становилось ясно, что многие свойства купратных ВТСП не описываются в рамках стандартной квантовой теории твердых тел. Причина заключается в сильных (благодаря квазидвумерной структуре, рис. 2) электронных корреляциях, которые приводят к исключительно сложной фазовой диаграмме, включающей псевдощелевую фазу, фазу “странного металла” и пр. (рис. 3).

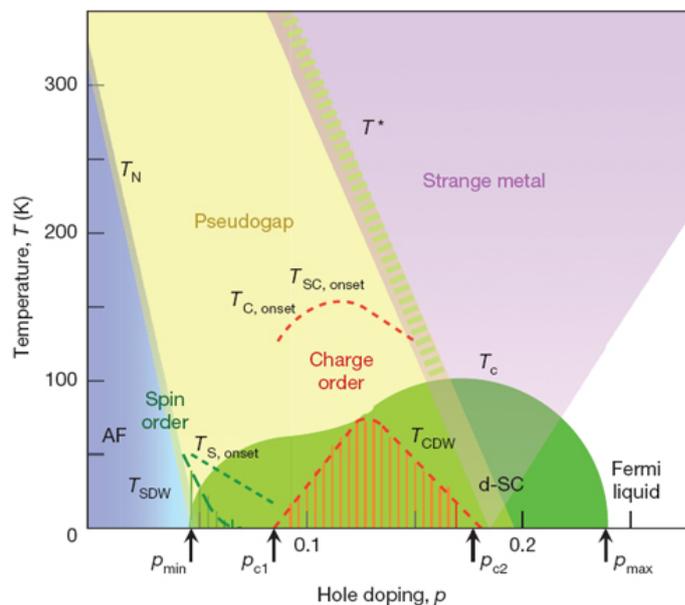


Рис. 3. Фазовая диаграмма купратных ВТСП с дырочным допированием. AF – антиферромагнетизм, SDW – волна спиновой плотности, CDW – волна зарядовой плотности, d-SC –  $d$ -волновая сверхпроводимость. Стрелки указывают положение квантовых критических точек для сверхпроводящего и зарядового порядков.

$T_{S, \text{onset}}$  (штриховая зеленая линия),  $T_{C, \text{onset}}$  и  $T_{SC, \text{onset}}$  (штриховая красная линия общая для обеих температур) описывают соответственно температуры возникновения спиновых, зарядовых и сверхпроводящих флуктуаций, а  $T^*$  отвечает размытому переходу в псевдощелевое состояние.

В обзоре [1] (Германия, США, Япония, Нидерланды) предпринята попытка систематизировать и обобщить, насколько это возможно, имеющуюся информацию. Основное внимание уделено обсуждению вопросов, связанных с ролью кулоновского отталкивания в механизме спаривания, псевдощелью, конкуренцией различных типов порядка (сверхпроводящего, зарядового, спинового, орбитального, нематического), загадочным режимом “плохого металла”, природой квантовых критических точек. Что касается теории сильнокоррелированных систем (не только ВТСП), то здесь пока разброд и шатания, но большие надежды возлагаются на использование математического аппарата теории струн.

1. B.Keimer et al., *Nature* **518**, 179 (2015).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Первая российская конференция “Графен: молекула и 2D кристалл”, 8 - 12 сентября 2015 г., г. Новосибирск, Россия**

### Научные направления

- Графен – состав, структура, слоистость, типы дефектов
- Идентификация и характеристика образцов графена различного происхождения (КР, РФА, АФМ, ПЭМ, СЭМ и др.); метрология
- Методы получения и перспективы производства графена
- Физические свойства графена: проводимость, теплопроводность и др.
- Физика графена; электронное строение, квантовая электродинамика, плазмоники и др.
- Электронные приборы и устройства на основе графена; углеродная наноэлектроника
- Химия графена: гидрирование, фторирование, окисление, функционализация
- Оксид графена, строение, свойства, химия
- Электрохимия графена, суперконденсаторы и Li-ионные батареи
- Графен и катализ
- Графен в биомедицинских исследованиях
- Графен в окружающей среде; экология; токсичность
- Другие 2D-материалы, электронная структура, физические свойства, сэндвичи

### Важные даты

**1 мая 2015** - окончание регистрации и приема тезисов

**30 мая 2015** - уведомление о включении доклада в программу

E-mail: [graphene@niic.nsc.ru](mailto:graphene@niic.nsc.ru)

Сайт: <http://niic.nsc.ru/conferences/graphene/>

**Международная конференция “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, 24-28 августа 2015 г., г. Челябинск, Россия**

### Тематика конференции:

1. Фазовые переходы и критические явления в конденсированных средах
2. Компьютерное моделирование фазовых переходов и критических явлений
3. Нелинейные явления и хаос в конденсированных средах
4. Структурные превращения в углеродных материалах
5. Волновые процессы в области фазовых переходов
6. Математическое моделирование

### Важные даты

**15 апреля 2015** – окончание регистрации;

**1 июня 2015** – окончание приема тезисов докладов;

Регистрационную форму нужно прислать до **15 апреля** по адресу [chelphys@mail.ru](mailto:chelphys@mail.ru).

Сайт: <http://smu.imp.uran.ru/>

**2<sup>nd</sup> Russia-China Workshop on Dielectric and Ferroelectric Materials (Ru-CnWDFM-2), September 11-14, 2015, Voronezh, Russia**

### Topics

1. Growth techniques and characterization
2. Phase transitions and critical phenomena
3. High-performance piezo-/ferroelectric materials and devices
4. Single-phase and composite multiferroics
5. Thin films, interfaces and nanoscale materials
6. New and prospective materials for energy applications
7. Advanced dielectrics

### Important Dates:

Abstract submission: **May 1<sup>st</sup>, 2015**

Website: <http://vorstu.wix.com/conference>

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, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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