

В этом выпуске:

ПРОРЫВ

Увидеть спин и не умереть...?

Физики уже давно научились “видеть” отдельные атомы. Для этого они используют сканирующую туннельную микроскопию. Ее существенным недостатком, однако, является то, что она позволяет различать лишь поверхностные атомы. Что при этом творится внутри объекта, остается загадкой. Заглянуть под поверхность можно, используя методику получения изображений с помощью магнитного резонанса (*MRI*). Эта методика хорошо отлажена и широко используется, например, в медико-биологических исследованиях. Она основана на прямой пропорциональности между частотой прецессии спина в магнитном поле и напряженностью этого поля в точке расположения спина. Так как магнитное поле легко проникает в толщу образца, то удается воссоздать трехмерное изображение изучаемого объекта. Главный минус *MRI* – низкое пространственное разрешение: в лучшем случае – около одного микрона. Связано это с недостаточной чувствительностью индуктивных детекторов. Чтобы можно было различить элемент объема внутри образца, он должен содержать не менее 10^{12} ядерных спинов (или не менее 10^7 электронных спинов при электронном спиновом резонансе).

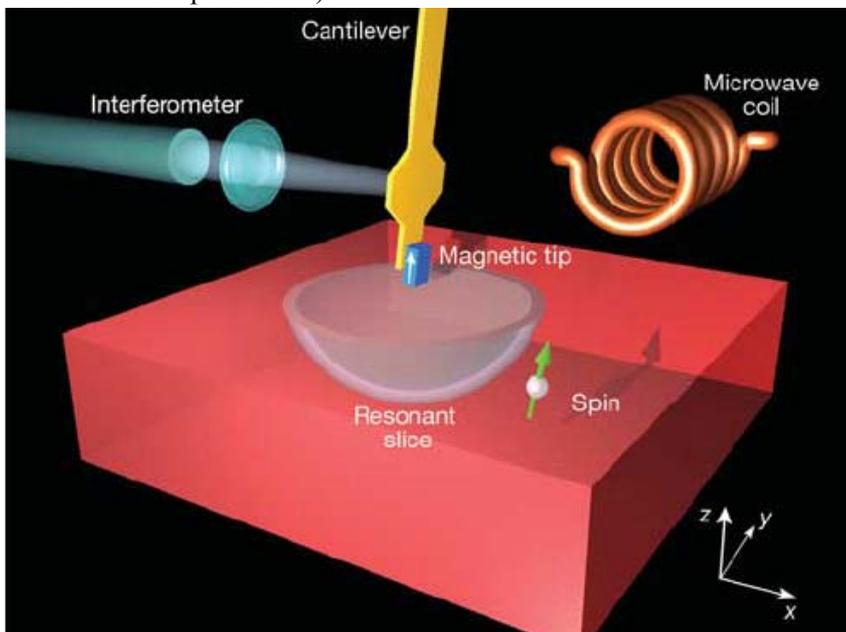


Рис.1 Схематическое изображение установки для регистрации сигнала от спина одного электрона [1].

Первыми спин отдельного электрона “разглядели” сотрудники IBM Research Division (Калифорния, США), тем самым одним махом повысив чувствительность аж в 10^7 раз [1]. Для этого они использовали гибридную *MRI* и атомной силовой микроскопии (*AFM*) – так называемую магнитную резонансную силовую микроскопию (*MRFM*). Методика *MRFM* была впервые предложена в работе [2]

И далее ...

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 3 Новый рекорд для холодных катодов на нанотрубках
- 4 Селекция однослойных нанотрубок определенной хиральности

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- 4 Пауки – дизайнеры новых материалов
- 6 Эта загадочная пластичность

СНОВА К ОСНОВАМ

- 7 Эхо Большого Взрыва

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 7 Марш-бросок на наноматериалы
- 8 Закон Мура сохраняется усилиями Intel

более 10 лет тому назад. Суть ее такова (см. Рис.1). Микромагнитная игла монтируется на краю ультразвукочувствительного кантилевера и подводится к образцу. В присутствии градиента создаваемого иглой статического поля дополнительное высокочастотное поле возбуждает прецессию электронного спина, имеющего соответствующую резонансную частоту (а значит – находящегося на определенном расстоянии от поверхности). Вращение спина (то есть фактически – собственного магнитного момента электрона) приводит к его хоть и слабому, но все же поддающемуся регистрации воздействию на кантилевер. В работе [1] градиент поля иглы составил около 2Гс/нм, а миниатюрный кантилевер имел длину 85мкм, ширину 100нм и реагировал на мизерную силу 10^{-18} Н со стороны спина. Это позволило регистрировать индивидуальные спины в SiO_2 на глубине до 100нм (около 400 атомных слоев) с разрешением 25нм. Пока, к сожалению, процесс измерения очень медленный: на сканирование 170-нанометрового участка требуется несколько недель. Но принцип продемонстрирован, и теперь дело лишь за техническими усовершенствованиями.

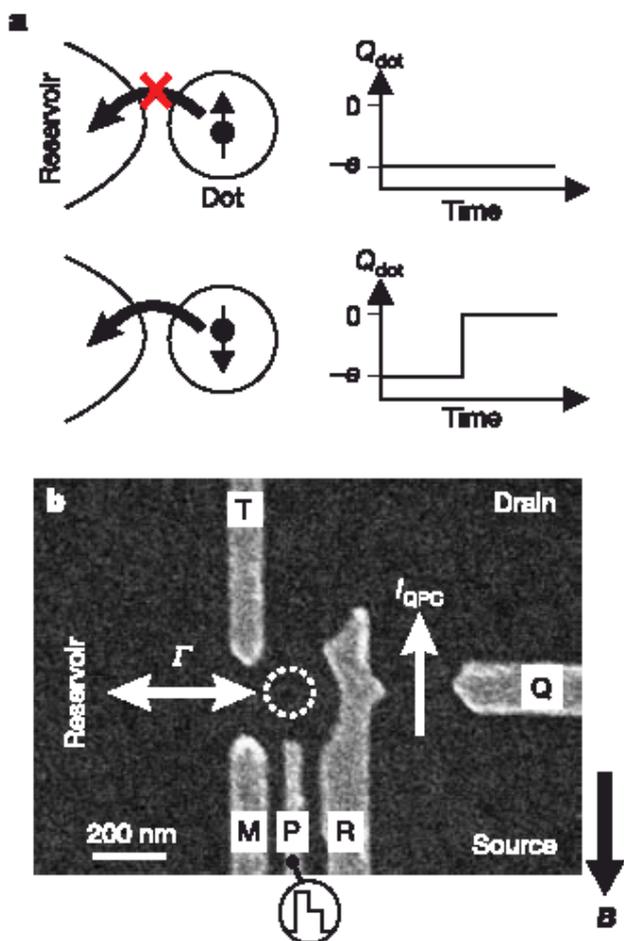


Рис.2. Принцип конверсии спина в заряд [3]

Искусство регистрации отдельных спинов несет с собой не только возможность получения “фотографий” внутренности образца с разрешением, близким к атомному. Методика *MRFM* имеет, например, хорошие перспективы в быстро развивающейся спинтронике. Кроме того, открываются новые горизонты для манипуляций устойчивыми к декогеренции спиновыми кубитами при обработке квантовой информации.

Нужно только еще чуть-чуть повысить разрешение и сократить время, затрачиваемое на измерение. Если удастся сделать его меньше времени спиновой релаксации (760мс), то станет возможным наблюдать за динамикой квантового спинового состояния. Для этого в первую очередь требуется увеличить градиент поля, над чем сейчас и работает калифорнийская группа.

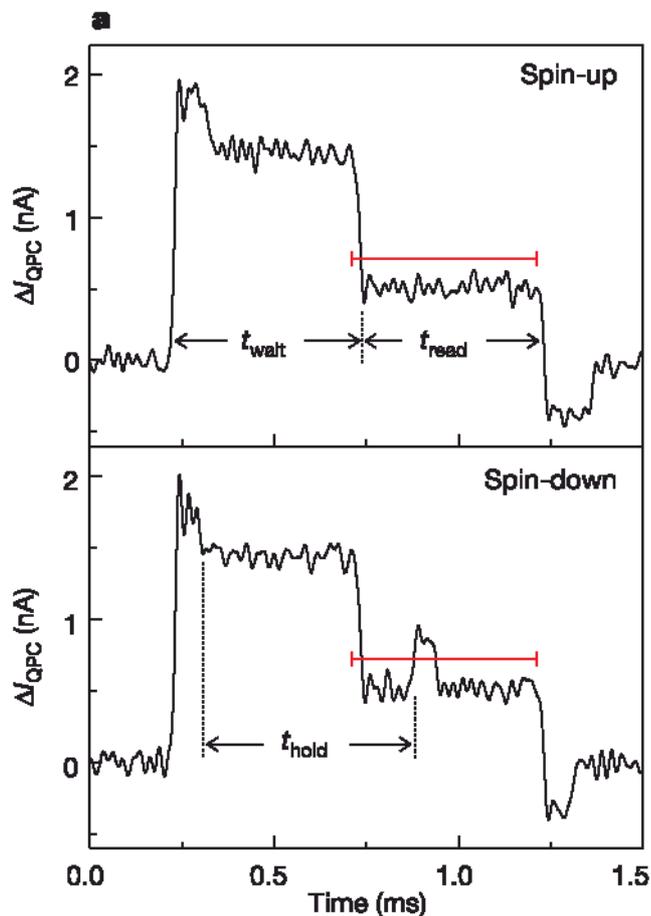


Рис.3. Ток через квантовый точечный контакт для разной ориентации спина электрона в квантовой точке [3].

Буквально через неделю после публикации [1] в журнале *Nature* появились еще две статьи [3,4], посвященные регистрации спинового состояния одиночного электрона. В работе [3] голландской группы продемонстрирована возможность определения состояния спина электрона (“по полю” или “против поля”) в полупроводниковой квантовой точке. Основу методики составляет эффект “конверсии” спина в заряд (Рис.2). Квантовую точку формировали в двумерном электронном газе гетероструктуры *GaAs/AlGaAs*. Напряжения на соответствующих затворах подбирали так, чтобы в точке был один электрон. К точке прикладывали параллельное границе раздела магнитное поле с $H = 10$ Тл, в результате чего зеемановское расщепление орбитальных электронных уровней составляло $\Delta E \approx 200$ мкэВ, то есть было больше тепловой энергии $k_B T \approx 25$ мкэВ, но меньше расстояния между орбитальными уровнями

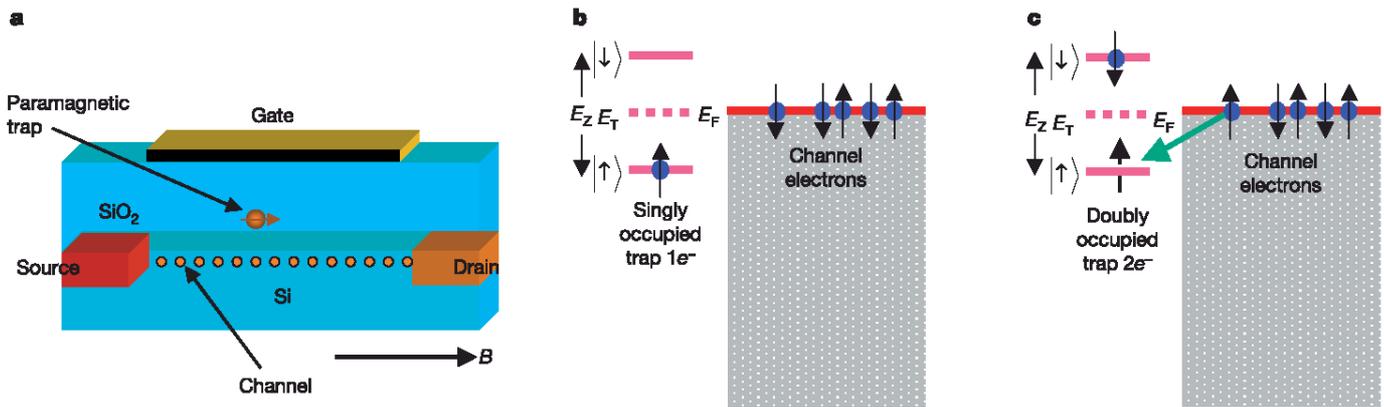


Рис.4 Схема эксперимента по регистрации переворота спина при электронном спиновом резонансе [4].

(1.1мэВ) и энергии зарядки (2.5мэВ). При этом уровень энергии для электрона со спином “вверх” был ниже энергии Ферми соседствующего с точкой резервуара, а уровень энергии для электрона со спином “вниз” – выше ее. Поэтому, если в квантовой точке оказывался электрон со спином “вниз”, то он за время ≈ 0.05 мс туннелировал из точки в резервуар, что приводило к изменению заряда точки и регистрировалось квантовым точечным контактом, расположенным по соседству с точкой (Рис.3). Если же электрон имел спин “вверх”, то он оставался в точке, и переноса заряда не происходило. Анализ полученных результатов показал, что время релаксации спина очень велико (0.85мс при $H = 8$ Тл). Это – веский аргумент для использования спиновых состояний в качестве носителей квантовой информации.

В работе [4] ученых из Калифорнийского университета и Лос-Аламоской национальной лаборатории все тот же эффект “конверсии” спина в заряд был задействован для регистрации переворота спина одиночного электрона в кремниевом полевом транзисторе. При этом функцию “приемника” электрона выполнял парамагнитный спиновый центр (Рис.4). Таким образом, жаркий июль 2004 года имеет все шансы войти в истории физики как “односпиновый”.

Л. Опенов

1. D.Rugar et al., Nature, 2004, 430, 329
2. A.Sidles, Appl.Phys.Lett, 1991, 58, 2854
3. J.M.Eizerman et al., Nature, 2004, 430, 431
4. M.Xiao et al., Nature, 2004, 430, 435

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Новый рекорд для холодных катодов на нанотрубках

Для практических приложений углеродных нанотрубок (УНТ) в холодных эмиссионных катодах сохраняется задача достижения высокой пространственной однородности эмиссионных характеристик УНТ и снижения пороговой напряженности электрического поля. Различные подходы к решению этой задачи у разных групп разработчиков отличаются как способом получения УНТ, так и типом подложки. Группа авторов из нескольких универси-

тетов США [1] испытала в качестве подложки коммерчески доступную углеродную ткань. Катализатором роста УНТ служила пленка из нержавеющей стали толщиной 30нм, которую осаждали на ткань методом магнетронного распыления при постоянном токе и затем отжигали в течение 1.5 часов при 660°C в потоке смеси водорода с азотом до образования частиц требуемых размеров. Нанотрубки выращивали в течение часа в потоке C_2H_2 при той же температуре. В некоторых экспериментах углеродную ткань перед осаждением пленки из нержавеющей стали покрывали пленкой хрома. Для сравнения в качестве эмиттера использовали также тонкую графитовую пленку, покрытую нанотрубками.

Эмиссионные характеристики катодов исследовали в условиях глубокого вакуума ($<3 \cdot 10^{-7}$ Торр) при межэлектродных расстояниях 0.26, 1, 2 и 3мм. Средние значения напряженности электрического поля, при которых регистрировали плотность тока электронной эмиссии на уровне 1 mA/cm^2 , указаны в Таблице. Результат 0.2В/мкм является рекордным среди всех полевых эмиттеров.

№ п/п	Тип катода	Напряженность, В/мм
1.	Углеродная ткань	1.48
2.	УНТ на углеродной ткани	0.34
3.	УНТ на углеродной ткани, покрытой пленкой хрома	0.65
4.	УНТ на графитовой фольге	3.62
5.	УНТ на углеродной ткани, покрытой пленкой нержавеющей стали	0.20

Обработка вольт-амперных эмиссионных характеристик исследуемого катода, представленных в координатах Фаулера-Нордгейма, дает значения коэффициента усиления электрического поля в пределах $(0.86 - 1.9) \times 10^4$ в предположении, что работа выхода эмиттера на основе УНТ равна 5эВ, как в случае графита. Столь высокое значение коэффициента усиления авторы объясняют комбинирован-

ным влиянием аспектного отношения нанотрубок и высокой степенью шероховатости поверхности. Кроме того, обнаруженная при большом увеличении высокая плотность дефектов в структуре нанотрубок, выращенных на углеродной ткани, также может быть дополнительной причиной аномально высокого значения коэффициента усиления электрического поля.

А.В.Елецкий

1. *Appl. Phys. Lett.* 2004, **85**, 810

Селекция однослойных нанотрубок определенной хиральности

Интерес к углеродным нанотрубкам (УНТ) связан, в частности, с их уникальными электронными характеристиками, благодаря которым нанотрубка представляет собой готовый наиболее миниатюрный элемент наноэлектроники. Наиболее перспективны для наноэлектроники однослойные УНТ, электронные характеристики которых (ширина запрещенной зоны, плотность заполненных состояний, положение уровня Ферми) определяются диаметром и углом хиральности нанотрубки (хиральность определяется углом ориентации графитовой плоскости, из которой свернута нанотрубка, относительно ее оси). При синтезе УНТ в макроскопических количествах образуются нанотрубки с различным диаметром и хиральностью, поэтому их электронные свойства изменяются в довольно широком диапазоне - от металлических до полупроводниковых. Это препятствует созданию на основе УНТ реально действующих электронных устройств нанометровых размеров. Для реализации потенциальных возможностей УНТ необходимо научиться выделять нанотрубки с одинаковыми электронными характеристиками.

Существенный шаг в этом направлении сделан недавно группой исследователей из университета Осака (Япония), разработавших метод селективного лазерного удаления УНТ определенной хиральности. В основе метода лежит резонансная зависимость коэффициента поглощения интенсивного лазерного излучения от угла хиральности нанотрубки. Тем самым, облучая образец, содержащий нанотрубки различной хиральности, лазерным излучением определенной частоты, можно добиться селективного нагрева и термического испарения УНТ определенной хиральности.

В эксперименте однослойные УНТ с диаметром в диапазоне 1 – 2 нм синтезированы методом химического осаждения из паров этанола на кремниевую подложку с использованием катализатора *Fe/Mo/Al*. Распределение нанотрубок по диаметру определяли по спектрам комбинационного рассеяния (КР), которые измеряли с помощью *Ar* ионного лазера с $\lambda = 457.9, 488.0$ и 514.5 нм. Анализ КР спектров указы-

вал на сильную зависимость интенсивности сигнала, соответствующего радиальным дышащим модам, от длины волны возбуждающего лазерного излучения. Эту зависимость, обусловленную резонансной связью частоты сигнала КР от угла хиральности УНТ, авторы использовали для селекции нанотрубок определенной хиральности. Селекцию осуществляли облучением образца излучением лазера с $\lambda = 514.5$ нм повышенной интенсивности. Факт селекции регистрировали сравнением КР спектров образца, полученных до и после интенсивного облучения при использовании лазерного излучения с $\lambda = 457.9, 488.0$ и 514.5 нм малой интенсивности. Сравнение показывает, что облучение образца с интенсивностью 10 кВ/см^2 приводит почти к двукратному уменьшению содержания нанотрубок, резонансно взаимодействующих с излучением с $\lambda = 514.5$ нм. Увеличение интенсивности облучения выше указанного значения приводит к снижению степени селективности удаления нанотрубок, поскольку при этом происходит перераспределение поглощенной энергии по всем нанотрубкам, составляющим образец.

А.В.Елецкий

1. *Appl. Phys. Lett.* 2004, **85**, 858

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Пауки – дизайнеры новых материалов

Функциональные свойства белковых тканей в организмах во многом определяются микромеханикой отдельных молекул. Жизненно важные функции белков осуществляются путем движения и перемещения отдельных групп атомов и переключением конформаций молекулы. Некоторые, уже расшифрованные «механические узлы» молекул можно уподобить простейшим устройствам, совершающим конечный набор простых движений, чем-то похожих на следующий процесс: «открыл затвор, дослал патрон, выстрелил, выбросил гильзу». Однако мы еще далеки от понимания механизмов, управляющих этими процессами, и их роли в функционировании белков. Ответы лежат на пути исследования механических свойств белковых структур. В недавно вышедшей монографии [1] представлен широкий спектр таких исследований, включающих эксперименты по изучению биополимеров, в частности, паутины. Механические свойства паутины могут варьироваться в очень широком диапазоне в зависимости от условий и биологической необходимости. В [2] исследования были сконцентрированы на двух типах паутины, приготовляемой пауком-самкой *araneus diadematus*:

- 1) тягучая, покрытая клееподобным составом и скрученная в круглые сети для отлова жертв;
- 2) «канатная», используемая для поддержки тела паука и обрамления ловушек.

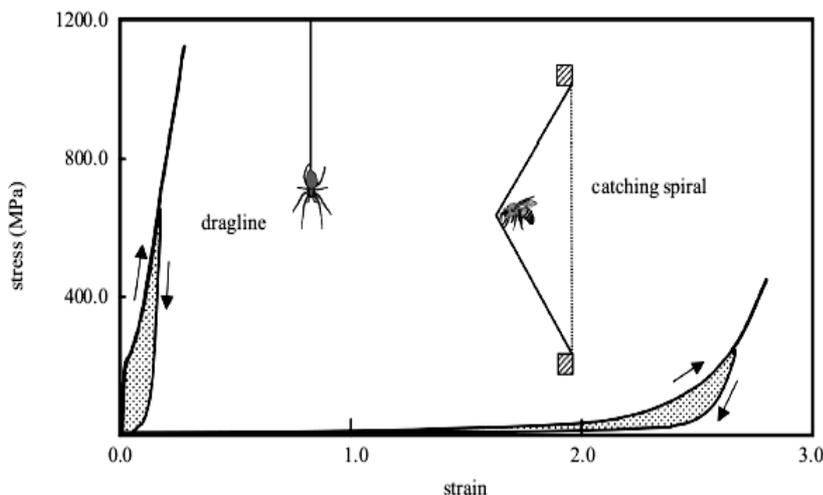


Рис. 1. Диаграммы нагружения и разгрузки паутины двух типов: «ловушечной» и «канатной».

Испытания механических свойств паутин были проведены с помощью серийно выпускаемой машины Instron, которая задает темп деформации и измеряет нагрузку, которую приходится для этого обеспечивать. По данным [2], первый тип паутины имеет высокую растяжимость и выдерживает нагрузки, большие, чем большинство биополимеров, до 450 МПа. Такая высокая растяжимость объясняется высокой гигроскопической способностью и повышенной молекулярной подвижностью из-за присутствия молекул воды. В сухом состоянии эта паутина хрупкая и ломкая. Второй тип паутины не такой тянущийся. Его исходный (до растяжения) модуль упругости составляет $E = 3 \text{ ГПа}$ (для сравнения, у полистирола $E = 2 \text{ ГПа}$). Эти свойства являются прямым отражением того, что данный белковый материал высушен на воздухе и белок в волокнах находится не в эластичном состоянии. Хотя растяжимость второго типа паутины составляет 30%, т.е. превышает эту характеристику в кевларе (полимер, из которого изготавливают пуленепробиваемые жилеты и непрокальваемые шины), она оказывается меньшей, чем у других белковых материалов.

Такая труднообъяснимая разница в механических свойствах различных типов паутины, а также интерес к механизму запасания энергии в белках инициируют эксперименты по изучению обратимости и гистерезиса деформации белков. Из рисунка 1 можно видеть, что в первом цикле нагрузки-разгрузки оба типа паутины проявляют необратимость, в то время как при последующих циклах необратимость исчезает (белковое волокно «привыкает» к нагружению). Оба типа паутины восстанавливаются после первого нагружения лишь на 30-40%.

Возможность эффективно превращать механическую энергию в тепловую делает привлекательным использование паутины и аналогичных ей материалов для создания приборов, аккумулирующих упругую энергию. В биологическом отношении это поглощение механической энергии важно для того,

чтобы минимизировать отскок жертвы. Оба типа паутины демпфируют удар при точечном нагружении и рассеивают механическую энергию в виде тепла. Сравнение ударопрочности паутины с современными продуктами high-tech показывает, что у паутины она выше в 3-4 раза! Еще одно важное свойство паутины - возрастание прочности и упругого модуля в несколько раз при увеличении скорости нагружения. Аппаратура Instron не позволила авторам [2] полностью про-

моделировать ударное нагружение паутины, однако оценки показывают, что паутина не разрывается при ударе с энергией до 10 ГДж/м^3 (равно энергии пули, рассеиваемой при контакте в объеме 1 мм^3). По утверждению авторов, это делает паутину самым крепким материалом из известных человечеству.

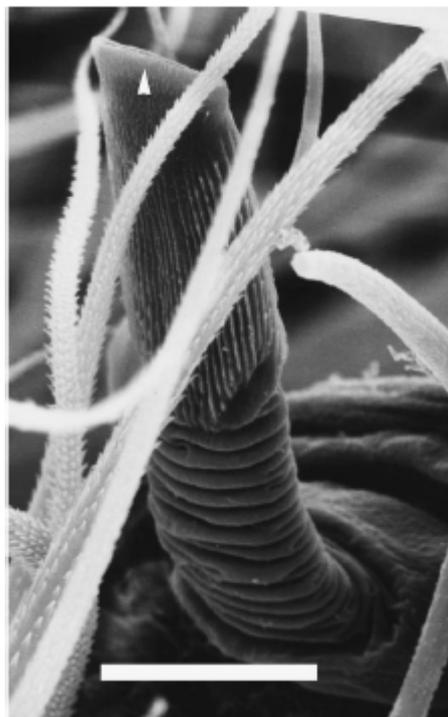


Рис. 2. Экструзия паутины производится пауком с помощью этого органа, сфотографированного с помощью сканирующего электронного микроскопа

Однако одним из существенных недостатков паутины является ее высокая чувствительность к окружающей среде и, в частности, к влажности. Надежда на то, что Природа должна была мудро распорядиться устройством биополимеров, делает привлекательным исследование их свойств для воссоздания их в искусственных биополимерах с уникальными механическими свойствами, объединяющими высокую эластичность, прочность и растяжимость.

Р. Моргунов

1. Elastomeric proteins: structures, biomechanical properties and biological roles, Cambridge

University press and the Royal Society, edited by P. Shevry, A. Tatham, A. Bailey, 2002.

2. Gosline, J. M., Denny, M. W. & DeMont, M. E. Spider silk as rubber. *Nature*, 1984, **309**, 551–552.

Эта загадочная пластичность

It always seems to me remarkable that our first understanding of the ductility of metals in terms of atomic movements came *after* the discovery of the neutron.

Nevill Mott, *Electrons in Glass*, Nobel Lecture, 8 December, 1977

ПерсТ всегда уделял внимание различным аспектам проблемы пластичности материалов. В наше время, когда исследовательская мысль проникает в глубины Вселенной и в мир элементарных частиц, такое, казалось бы, «обыденное» свойство кристалла как пластичность не представляется особенно интригующим. А между тем, тема эта хранит немало загадок и сюрпризов. Несмотря на древнюю историю вопроса (собственно, обтесывая камень для топора, наш далекий предок начал первые эксперименты по механической обработке твердого тела) и активное технологическое применение процессов деформации, наука относительно недавно начала понимать физику этих процессов. Так, существование и основополагающая роль дислокаций, линейных протяженных дефектов кристаллической решетки, в пластической деформации были доказаны и признаны научным сообществом «лишь» около полувека назад. Табл. 1 [1] кратко представляет историю развития знаний о природе пластической деформации.

Дислокация [2], посредством перемещения которой в основном осуществляется пластическая деформация кристалла, является уникальным по своим свойствам объектом. Она имеет макроскопические размеры по одному измерению и микроскопические (порядка параметра решетки) по двум остальным. При этом она может обладать механическим аналогом заряда (вектор Бюргерса), изгибаться, сворачиваться в спираль, замыкаться в петлю, соединяться с другой дислокацией и формировать объемные сетки (топологически аналогичны ей разве что квантовые магнитные вихри или гипотетические суперструны, но ни те, ни другие не образуют объемных структур.) При этом детальное изучение свойств индивидуальной дислокации не дало ключа к адекватному описанию поведения системы в целом, поскольку из-за существенного взаимодействия всех компонентов для дислокационной системы в общем случае не работает «одночастичное» приближение. Самоорганизация в ансамбле дефектов может приводить к достаточно сложному поведению системы на разных масштабных уровнях.

Долго казалось, что состояние и поведение такой «тонкой» подсистемы кристалла, как электронная, не может влиять на «грубый» процесс пластической

деформации. Открытия фотопластического эффекта [3], увлечения электронами проводимости движущимися дислокациями [4] и других эффектов взаимодействия электронов с дислокациями доказало тесное взаимовлияние этих подсистем. Открытие ряда магнитопластических эффектов в различных типах немагнитных кристаллов [5], а затем экспериментально доказанное участие в них спинов [1,6,7] и вовсе выводит описание процесса пластической деформации на уровень квантовой механики.

Пластически деформируемый кристалл можно в какой-то мере уподобить химическому реактору, содержащему множество взаимодействующих компонентов, вклады которых в общее поведение системы очень трудно, а иногда и невозможно, вычленишь. Так, помимо дислокаций в процессе участвуют точечные дефекты различных типов – вакансии и примесные атомы замещения или внедрения, которые могут также объединяться в кластеры и неразрывные примесно-вакансионные диполи; двух- и трехмерные дефекты: дефекты упаковки (stack fault), двойники, границы зерен и блоков, преципитаты. Все они могут так или иначе участвовать в процессе пластической деформации. И химическая аналогия здесь вовсе не натянута: пластическая деформация всегда сопровождается разрывом связей между атомами кристалла и образованием новых. Поэтому термины и понятия, развитые в химии, в частности спиновой, в наше время находят все более широкое применение в физике пластичности. Несомненно, физика пластичности таит еще немало неизведанного и удивительного.

Таблица 1.

Ретроспектива знаний о природе пластической деформации

Макроскопический уровень изучения пластичности — XIX век

Сравнение твердости минералов методом «кто кого» (шкала Мооса), склерометрические испытания, создание испытательных машин для растяжения и сжатия, получение и качественный анализ кривых деформирования.



Развитие мезоскопического подхода к исследованию пластичности — первая половина XX века

Исследование скачкообразного деформирования, обнаружение «волн» пластичности, развитие представлений о самоорганизации пластического течения.



Атомарные представления о пластической деформации — вторая половина XX века

Экспериментальные подтверждения существования дислокаций — элементарных носителей пластической деформации в кристаллах. Применение термоактивационного анализа к исследованию пластичности. Развитие атомарных представлений о механизмах движения дислокаций.



Электронные и спиновые процессы в пластичности — последняя четверть XX века

Радиационное упрочнение и фотопластический эффект, рекомбинация электронов на оборванных связях в дислокационном ядре, магнитопластические эффекты в металлах, полупроводниках, диэлектриках и полимерах.

Л. Дунин-Барковский

1. Ю. И. Головин, Р. Б. Моргунов, *Магниторезонансное разупрочнение кристаллов, Природа*, **8**, 49 (2002)
2. Например, Ж. Фридель, *Дислокации*, М.: Мир (1967); J. Friedel, *Dislocations*, Oxford-London-Edinburgh-New York-Paris-Frankfurt: Pergamon Press (1964)
3. Интервью Ю.А. Осипьяна, *ПерсТ*, т. **10**, вып. 4 (28 февраля 2003)
4. В. С. Бобров, М. А. Лебедкин, *ФТТ*, **35** (7), 1881 (1993)
5. Ю. И. Головин, *Магнитопластичность твердых тел, ФТТ*, **46** (5), 769 (2004)
6. Р. Б. Моргунов, *Спиновая микромеханика в физике пластичности, УФН*, **174** (2), 131 (2004)
7. Спины причастны к электропластичности металлов? *ПерсТ*, т. **9**, вып. 20 (30 октября 2002)

СНОВА К ОСНОВАМ Эхо Большого Взрыва

Как назвать? Подобная проблема редко является основным затруднением для исследователей. Увидеть, понять, иногда — сделать, но главное — обеспечить возможность работы — вот основной спектр проблем, с которыми сталкиваются исследователи. Но и у тех, у которых отсутствуют привычные для нас проблемы финансирования, есть свои специфические трудности — “...богатые тоже плачут...”.

С проблемой “как назвать” столкнулся коллектив исследователей, работающих на ускорителе RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) в Брукхейвене [1]. С 2000 г. на этом ускорителе исследуются столкновения тяжелых ионов (золота), разогнанных до 10^8 эВ. В отличие от обычных коллайдеров, в которых реализуется столкновение протонов и антипротонов, в ускорителе RHIC в отдельном столкновении участвует около 300 протонов и нейтронов. Это качественно новая экспериментальная ситуация, чем-то подобная той, что, по оценкам, могла происходить в эпоху “Большого Взрыва”.

И теоретики, и экспериментаторы согласны, что в результате этого столкновения создается *новая форма материи*. Но...какая? Вот эти-то образующиеся при столкновениях маленькие “новые Вселенные” — разлетающиеся объекты, перегретые до $2 \cdot 10^8$ К, и стали предметом филологического кризиса. Наиболее отчаянные из теоретиков употребляют по отношению к этим объектам название “кварк-глюонная плазма”, однако более осторожные исследователи (естественно — экспериментаторы) пока ограничиваются тем, что, не давая никаких названий, честно признаются, что “...это не то, что когда-либо предсказывалось...”. Один из теоретиков, комментируя отсутствие доминирующего взаимодействия, которое могло бы дать ключ к распутыванию ситуации, заявил в чисто американском духе “...there is no smoking gun...” — вроде того — “...не видно, откуда стреляли...”.

В заголовке статьи в “*Нью-Йорк Таймс*”, посвященной этим исследованиям, упоминается “эхо Большого Взрыва”. Так что физика высоких энергий, которая достаточно давно вышла из фокуса общественного внимания, снова привлекает к себе интерес неспециалистов.

М.Компан

1. *Nature*, 2004, **430**, p.498

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК Марш-бросок на наноматериалы

Наноматериалы обладают значительно большей удельной площадью поверхности в сравнении с традиционными материалами. Это особенность наноматериалов привлекает внимание химиков возможностью превращать инертные материалы (такие как платина) во взрывчатые, а материалы, не обладающие каталитическими свойствами, в суперкатализаторы. В наноструктурных материалах можно в несколько раз улучшить электрические или тепловые свойства по сравнению с традиционными материалами. По мере обнаружения уникальных свойств наноматериалов военные специалисты все более нетерпеливо ожидают их использования в ратном деле. Так, в Военно-морском флоте США уже применяют покрытия из керамических наноматериалов для валов винтов и перископов, повышая их износостойкость, и во всех узлах механизмов, работающих в суровых коррозионных условиях, к тому же нанотехнологические покрытия обеспечивают большую гибкость и сопротивление удару. Более 150 применений нашли покрытия, сделанные на основе керамических наноматериалов, производимые Inframat Corp., нанотехнологической фирмой (Farmington, Connecticut, США). В ближайших планах фирмы — использовать дешевые нановолокна из MnO_2 в качестве фильтров для очистки питьевой воды от мышьяка и свинца. Уже в ближайшее время объем продаж таких изделий составит около 1 млрд. долл. Позже фирма займется использованием своих керамических наноматериалов в медицине:

покрытия в стоматологии и имплантанты в ортопедии. В перспективе объем рынка биомедицинских наноматериалов составит 1 млрд. долл. В дальней перспективе ф. Inframat будет производить нанопокрывания для реактивных и дизельных двигателей, что значительно улучшит их рабочие характеристики. Рынок этих изделий оценивается в 500 млн. долл.

Фирма U.S. Global Nanospace Inc. (Arlington, Texas, США) производит тонкий материал, сотканый из пластиковых волокон, - прочное защитное покрытие для военной техники, которое позволяет наполовину уменьшить вес и в два раза увеличить прочность боевой техники. Итальянская ф. Agusta, выпускающая вертолеты, купила радиолокационную антенну, покрытую таким защитным материалом, для своих военных вертолетов серии AB 412. Фирма U.S. Global изготавливает также воздушные фильтры из нановолокон для очистки воздуха от таких ультратонких частиц, как вирусы атипичной пневмонии (SARS). Фирма придерживается тактики – заинтересовать лиц в погонах и в галстуках своими новейшими достижениями в нанотехнологии, чтобы уже сейчас получать обоюдную выгоду, а не ждать 8-10 лет.

Фирма Integrated Nano-Technologies (Menrietta, N.Y., США) разрабатывает сенсоры для обнаружения биологического оружия. Биосенсоры загружены молекулами ДНК, сопрягающимися с такими микроорганизмами, как, например, вирус сибирской язвы. Рабочие ДНК наносятся поверх электродов. Как только появляется вирусная ДНК, она прикрепляется к сенсорной ДНК (вставляется как ключ в замок), создавая переемычку между двумя электродами. Сопротивление сенсора изменяется в 10000 раз, даже если присутствует одна болезнетворная молекула. Используемые сегодня сенсоры биологического оружия обладают такими недостатками, как малое быстродействие, трудность в использовании, неточность распознавания. Военные действия в Ираке показали, что солдаты пренебрежительно относятся к сегодняшним биосенсорам, не обращают внимания на предупреждающие сигналы сенсоров, т.к. сигналы часто были ложными. Солдаты вообще отказались надевать биозащитную

форму, т.к. в пустыне в ней было слишком жарко и некомфортно.

Фирма Nanoplex Technologies (Menlo Park, California, США) изготавливает так называемые нанострихкоды – металлические цилиндры диаметром менее 100нм, используемые в виде нашивок. Изменяя длину и количество нашивок, можно вносить самую разную информацию в виде штрихкодов: от результатов бейсбольных игр и валютных курсов до агентов биологического оружия. На основе последних штрихкодов можно строить биосенсоры.

Л.Журавлева

1. http://www.smalltimes.com/print_doc/cfm?doc_id=7954

Закон Мура сохраняется усилиями Intel

Фирма Intel заявила, что преодолены два существенных рубежа на пути к освоению EUV (экстремальный ультрафиолет) технологий производства субмикронных БИС. Как сообщил представитель Intel, фирма развернула первую в мире коммерческую линию литографии в экстремальном ультрафиолете и установила пилотную линию по изготовлению масок для такого производства. Тем самым, обозначен переход от исследований и разработок к непосредственному производству. Полномасштабное производство БИС с использованием EUV технологий Intel планирует развернуть к 2009 г.

Сегодняшние технологические возможности основываются на использовании лазера с длиной волны 193нм, что обеспечивает разрешение в 50нм. Новая техника будет использовать излучение с длиной волны 135нм, что позволит снизить разрешение на изделия до 30нм (до 32нм в производственных условиях). “Этот технологический прорыв позволит нам следовать закону Мура (*Moore's Law*) еще и следующее десятилетие” - заявил глава отделения Intel по производству компонент, – как будто именно это и было основной целью всей деятельности.

<http://optics.org/articles/news/10/8/8/1>

Экспресс-бюллетень ПерсТ выходит

при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ,

Научных Советов Российских научно-технических программ:

“Актуальные направления в физике конденсированных сред”,

“Перспективные технологии и устройства микро- и нанoeлектроники”, “Физика твердотельных наноструктур”

Редактор: С.Корецкая тел: (095) 930 3389, e-mail: stk@issp.ras.ru

В подготовке выпуска принимали участие:

А.В.Елецкий, Л.Дунин-Барковский, Л.Журавлева, Р.Моргунов, М.Компан, Л.Опенос

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64