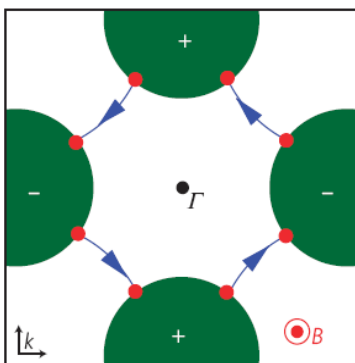


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Квантовые осцилляции – от фермиевских дуг?

Недавние наблюдения осцилляций Шубникова – де Гааза и де Гааза – ван Альфена в $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ однозначно свидетельствуют о наличии в нормальном состоянии купратных ВТСП поверхности Ферми, состоящей из нескольких небольших карманов. Но это противоречит многочисленным данным фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) о том, что поверхность Ферми в ВТСП разбита на не связанные друг с другом сегменты – “фермиевские дуги”. Такое очевидное несоответствие обычно объясняют тем, что ARPES просто “не видит” некоторые участки карманов, ошибочно принимая последние за дуги. В работе [1] теоретиков из Канады, США и Германии предложен принципиально другой подход к данной проблеме. Показано, что для периодических по $1/B$ квантовых осцилляций наличие замкнутых электронных орбит необязательно, а достаточно фермиевских дуг, но при одном условии: эти дуги должны соединять между собой области с отличной от нуля энергетической щелью Δ сверхпроводящей природы. Для количественного описания экспериментов в [1] предложена простая эмпирическая модель электронной структуры недопированных ВТСП (см. рис.). Физической причиной квантовых осцилляций при этом является периодическое возникновение на фермиевских дугах низкоэнергетических связанных состояний андреевского типа. Частота осцилляций определяется не площадью какой-либо поверхности в импульсном пространстве, а длиной дуг и величиной Δ . Для проверки своей модели авторы [1] предлагают использовать туннельную интерференционную спектроскопию. Но независимо от того, какой результат будет получен, все равно останется открытым главный вопрос: о микроскопической природе фермиевских дуг в ВТСП.



Электронная структура металла с фермиевскими дугами (“Fermi-arc metal”). Синие линии – бесщелевые участки поверхности Ферми (фермиевские дуги). В закрашенных областях зоны Бриллюэна сверхпроводящая щель отлична от нуля.

Л.Опенев

1. T.Pereg-Bornea et al., *Nature Phys.* **6**, 44 (2010).

Обратный изотопический эффект в безмедных ВТСП

Зависимость критической температуры T_c от массы атомов M принято считать указанием на важную роль фононов в микроскопическом механизме спаривания носителей. Согласно классической теории БКШ, при фононном механизме $T_c \sim M^{-\alpha}$ с $\alpha = 0.5$.

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

2 Будущее за тонким кремнием!

3 Новый метод моделирования распада атомных кластеров

Молекулярный транзистор

4 Нанотехнологии и общество

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

6 Эффект Нернста и мерность

НАНОМАТЕРИАЛЫ

6 Магнитоэлектрический эффект в графене

7 Магия золота

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

8 Селективность взаимодействия молекул с поверхностью графенов и углеродных нанотрубок

СПИНТРОНИКА

8 Управляемый туннель

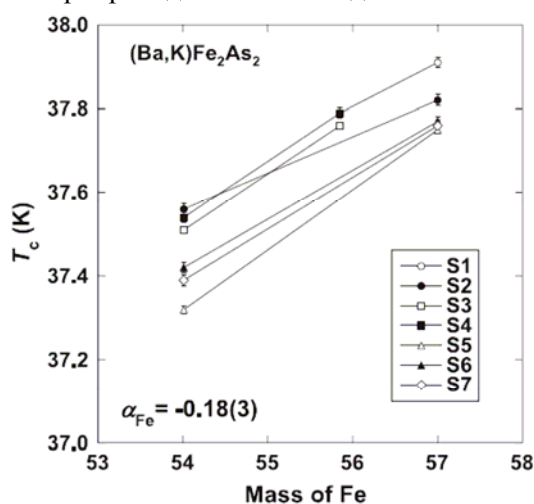
КОНФЕРЕНЦИИ

9 III Международная конференция “Кристаллические материалы 2010” (ICSM2010), 31 мая - 3 июня 2010 г., г. Харьков, Украина

10 1 Workshop “The New Generation in Strongly Correlated Electron Systems”, 20-26th June 2010, Lanzarote, Canary Islands, Spain

Научная сессия ОФН РАН “Спинтроника”, 3 февраля 2010 г.

В большинстве обычных низкотемпературных сверхпроводников показатель степени изотопического эффекта α очень близок к своему БКШ-значению, тогда как в оптимально допированных купратных ВТСП $\alpha \ll 1$. В работе [1] японские физики сообщили о наблюдении “обратного” изотопического эффекта в безмедном ВТСП $(\text{Ba,K})\text{Fe}_2\text{As}_2$ с $T_c \approx 38$ К: при увеличении массы изотопа Fe они наблюдали не уменьшение, а увеличение T_c (см. рис.), что отвечает отрицательной величине $\alpha = -0.18$. Одно из возможных объяснений такого необычного поведения $T_c(M)$ заключается в том, что спаривание носителей заряда в оксипниктидах обусловлено как фононами, так и антиферромагнитными флуктуациями, причем уменьшение фононного вклада (при уменьшении частоты колебаний из-за увеличения M) ведет к росту T_c . Это согласуется с так называемой s_{\pm} -волновой симметрией параметра сверхпроводящего порядка Δ (на разных участках поверхности Ферми Δ имеет разный знак). Детальное количественное описание полученных в [1] результатов может стать ключом к пониманию механизма сверхпроводимости безмедных ВТСП.



Критическая температура $(\text{Ba,K})\text{Fe}_2\text{As}_2$ как функция массы изотопа Fe.

Л. Опенов

I. P.M. Shirage et al., Phys. Rev. Lett. 103, 257003 (2009).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Будущее за тонким кремнием!

В конце каждого года в декабре месяце уже в течение 55 лет в США проводится самая престижная международная конференция по микроэлектронике (International Electron Devices Meeting - IEDM). На нее съезжаются с докладами представители всех ведущих микроэлектронных компаний мира, чтобы обнародовать самые яркие результаты и попытаться заглянуть в будущее. На недавней конференции (Балтимор, декабрь 2009 г.) специалисты компании

IBM во всеуслышание объявили, что ближайшее будущее кремниевой микроэлектроники связано с использованием подложки “кремний на изоляторе” с экстремально тонким (6нм) слоем нелегированного кремния (FD ETSOI) (рис. 1) [1]. Этим типом транзисторов компания успешно занимается, по крайней мере, с 2000 г., и с тех пор ПерсТ за этим следит.

Однако в процессорах до сих пор продолжают использовать транзисторы на объемной подложке. Применение такой подложки вызывает необходимость легирования канала, иначе транзистор имеет слишком большой ток в закрытом состоянии из-за перекрытия областей p-n переходов на контактах истока и стока. Легирование канала имеет естественные негативные последствия по сравнению с нелегированным каналом: время пролета канала увеличивается, сопротивление тоже увеличивается. Отсюда быстродействие транзистора в схеме падает, а энерговыделение растет. Все потребители персональных компьютеров это ощутили на себе. Несмотря на уменьшение размеров транзисторов, быстродействие в последние годы практически не повышается, а охлаждение процессора требуется все мощнее и мощнее. Нет худа без добра. В последнее время совершенствуется архитектура компьютеров: повышения скорости обработки информации добиваются за счет использования многоядерных процессоров и процессоров в видеокартах. Однако всему есть и предел.

IBM считает, что для следующего технологического размера 22нм использование новой технологии неизбежно. Схемы на объемных подложках чересчур разогреваются, и у транзисторов слишком большой разброс параметров из-за флуктуаций количества примесей в легированном канале.

Преимущества предлагаемых FD ETSOI транзисторов уже давно хорошо известны: высокая проводимость канала обусловлена тем, что в нем практически нет рассеяния, кроме того, тонкий канал легко перекрывается потенциалом затвора в закрытом состоянии транзистора. “Упрямство” производителей компьютеров легко объясняется тем, что для массового производства больших интегральных схем на основе FD ETSOI транзисторов требуется разработка новых технологических процессов.

Прежде всего, необходима большая (300мм диаметром) подложка с тонким слоем кремния, толщина которого варьируется в пределах $\pm 5\text{Å}$, т.е. в пределах одного атомного слоя. Такая подложка была недавно создана на фирме Soitec (Франция). Далее возникает проблема сильного легирования областей истока и стока транзистора для создания омических контактов. При имплантации ионы просто проскакивают этот тонкий слой. Предложено наращивать контакты истока и стока (т.н. поднятые контакты –

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 1/2

RSD) и потом проводить имплантацию. У поднятых контактов оказалась слишком большая емкость с затвором, что увеличивает RC-время зарядки затвора, а значит, и быстродействие транзистора. Необходимо контакт отодвинуть. Для этого используется процесс травления, но при этом надо не затронуть тончайший слой кремния, поэтому наращивают не просто кремний, а SiGe, чтобы потом его убирать селективным травлением. В итоге, после всех ухищрений получаются структуры n-канального (NFET) и p-канального (PFET) транзисторов (рис. 1), которые нужны для схем логики.

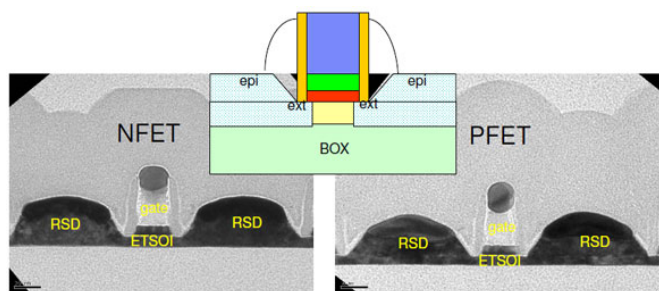


Рис. 1. Разрез структуры n-канального (NFET) и p-канального (PFET) транзисторов.

Необходимо отметить, что в конструкции затвора и подзатворного диэлектрика предполагается использовать high-k диэлектрики и металлы, что уже делается в последних поколениях кремниевых транзисторов.

Увидим ли мы скоро FD ETSOI транзисторы в компьютерах, покажет будущее.

В.Вьюрков

1. *D.Lammers, Semiconductor International (15.12.2009); http://www.semiconductor.net/article/440351-IBM_Gains_Confidence_in_22_nm_ETSOI.php?rssid=20230*

Информация с сайта <http://www.semiconductor.net/>

Новый метод моделирования распада атомных кластеров

Для численного моделирования временной эволюции малых атомных кластеров и их распада при нагревании используется, как правило, метод молекулярной динамики (МД), который позволяет наблюдать “жизнь” кластера в режиме реального времени. Но недостаточное быстродействие современных компьютеров накладывает существенные ограничения на временной интервал, в течение которого удастся проследить за эволюцией кластера: даже для сравнительно небольших систем из < 100 атомов этот интервал ограничен несколькими десятками пикосекунд при использовании для расчета межатомных взаимодействий первопринципных методов и несколькими микросекундами для упрощенных эмпирических потенциалов. Так быстро распад кластера происходит лишь при очень высокой температуре $T = (2000 \div 4000)$ К, поэтому не удается изучить устойчивость кластера при сравни-

тельно низких (отвечающих реальному эксперименту) температурах $T < 1500$ К. Дело здесь в том, что время жизни кластера τ , согласно формуле Аррениуса, экспоненциально увеличивается при понижении T , и поэтому экспоненциально возрастает время, требующееся для проведения численных расчетов.

В работе [1] предложен новый алгоритм моделирования теплового распада атомных кластеров. Он основан на комбинации методов Монте-Карло (МК) и МД. Его суть заключается в том, что область конфигурационного пространства, в которой потенциальная энергия кластера U существенно меньше локального максимума U_0 , ограничивающего исходное состояние, моделируется методом МК, а если (в результате термических флуктуаций) величина U оказывается близка к U_0 , то в ход идет метод МД, который позволяет более точно “прописать” эволюцию системы в таком “опасном состоянии”. Привязка к временной шкале в методе МК проводится, исходя из среднего интервала времени между двумя последовательными флуктуациями U , который предварительно определяется опять же методом МД. Авторы [1] использовали свой алгоритм для моделирования распада фуллерена C_{20} – самого маленького из возможных фуллеренов. Им удалось “опуститься” до температуры 1300 К, при которой время жизни фуллерена C_{20} достигает макроскопической величины $\tau \sim 1$ сек. Для термализованного (находящегося в тепловом контакте с резервуаром) кластера температурная зависимость τ очень хорошо описывается законом Аррениуса с энергией активации, равной высоте препятствующего распаду энергетического барьера. Как показано в [1], эта зависимость довольно-таки существенно отличается от таковой для теплоизолированного кластера (где роль температуры играет средняя кинетическая энергия атомов), что следует учитывать при анализе экспериментальных данных по быстрой фотофрагментации кластеров в разреженной газовой фазе, с одной стороны, и их медленному распаду в плотной среде – с другой.

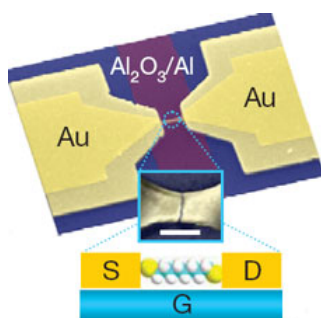
Л.Опенев

1. *К.П.Катин, А.И.Подливаев, ФТТ 52, 407 (2010).*

Молекулярный транзистор

Работа большинства электронных устройств основана на возможности управлять распределением в них заряда посредством внешнего электрического поля. Например, электростатическая модуляция заряда в канале полевого транзистора достигается за счет изменения положения уровня Ферми электрода относительно границ зоны проводимости и валентной зоны. Для целей наноэлектроники необходимо научиться изготавливать подобного рода устройств на молекулярном уровне. В работе [1] специалистов из Южной Кореи и США впервые продемонстрированы основные принципы работы твердо-

тельного молекулярного транзистора, в котором модуляция транспортного тока достигается путем изменения энергий электронных орбиталей органической молекулы за счет напряжения на затворе (см. рис.). При этом, если транспорт электронов осуществляется через нижнюю незаполненную молекулярную орбиталь (LUMO), то имеет место проводимость *n*-типа, а если через верхнюю заполненную (HOMO) – то *p*-типа. Используя спектроскопию неупругого туннелирования электронов (IET), авторы [1] смогли даже определить, через какие конкретно молекулярные орбитали происходит туннелирование носителей заряда. В ближайшем будущем они планируют изготовить и более сложные молекулярные наноприборы.



Схематическое изображение молекулярного полевого транзистора. S – источник, D – сток, G – затвор. Длина масштабной линейки равна 100 нм.

1. H.Song et al., *Nature* **462**, 1039 (2009).

Нанотехнологии и общество

На развитие нанотехнологий большое влияние, и, к сожалению, не обязательно положительное, может оказать общественное мнение. Всем известно, к чему в некоторых странах приводит негативное отношение к ядерной энергетике и биотехнологии. Опасаясь таких же последствий, нанотехнологическое сообщество старается обеспечить открытое обсуждение научных достижений и разрабатываемых продуктов и, кроме того, изучить отношение к нанотехнологиям, прогнозировать восприятие риска нанотехнологий различными слоями общества [1]. В традиционном подходе к исследованиям восприятия рисков обычно изучаются последствия, то есть отклики на произошедшие события - техногенные катастрофы, случаи загрязнения и др. Для развивающихся нанотехнологий очень важен так называемый *upstream* – подход (~“*вверх к истокам*”). Наглядно его можно описать с помощью такого примера. Город загрязняет реку, на которой стоит, своими сточными водами. Что делать городам ниже по течению? Можно бороться с последствиями загрязнения, очищать свою воду, искать другие источники воды (*downstream* - подход), но есть лучший вариант – убедить город выше по течению или не сбрасывать сточные воды в реку, или очищать их, то есть разобраться не с последствиями, а с начальной проблемой (*upstream* - подход). Монито-

ринг восприятия рисков нанотехнологий обществом нужно проводить еще до широкого внедрения продуктов нанотехнологий, до того, как распространятся предположения или сведения о возможных рисках для здоровья.

Недавно исследователи из Univ. of British Columbia (Канада) и Univ. of California at Santa Barbara (США) - группа UBC/UCSB - опубликовали результаты мета-анализа* восприятия риска нанотехнологий населением [2]. Авторы изучили все доступные публикации (22 шт.), в которых представлены результаты опросов, проведенных в 2004-2009 гг. преимущественно в Европе и Северной Америке.

Учитывая результаты предшествующих исследований рисков новых технологий, можно было выдвинуть некоторые гипотезы:

- отношение общества к риску нанотехнологий будет таким же, как и для других новых и неизвестных технологий (например, биотехнологии), объекты которых нельзя “потрогать, понюхать, увидеть, попробовать на вкус”, то есть будет превалировать неприятие риска;
- рост осведомленности не снизит неприятия риска.

Однако анализ [2] неожиданно показал, что с нанотехнологиями всё совсем не так.

Осведомленность населения в целом оказалась низкой – более 51% опрошенных ответили, что совсем ничего не знают о нанотехнологиях (по отдельным исследованиям эта величина колеблется от 25 до 71%, причем разница не связана с годом проведения опроса). Следовательно, в соответствии с первой гипотезой можно было ожидать высокой степени неприятия риска. Однако при оценке соотношения “риск-выгода” людей, считающих, что выгода от нанотехнологий перевешивает риск, оказалось в 3 раза больше, чем тех, кто считает, что риск больше выгоды (рис.1)! Важно также, что около 44% не смогли определиться с ответом. Возможно, это свидетельство “здорового консерватизма суждений” [2]. Но также возможно, что суждения этой части населения изменятся в ту или иную сторону, и, соответственно, надо будет пересмотреть выводы об оценке параметра “риск-выгода”.

Вторая гипотеза состоит в том, что рост осведомленности не снизит неприятие риска. Выводы мета-анализа для нанотехнологий совсем другие: по мере того, как растет уровень знаний, заметно увеличивается доля участников, считающих, что выгода перевесит риск! Увеличение составляет примерно 13 % на каждом этапе осведомленности (“не знаю совсем ничего” → “немножко слышал” → “слышал” → “слышал много”). Пока не ясно, чем объясняется этот эффект – тем, что нанотехнологии находятся на ранней стадии развития, или, по выражению авторов [2], “технологическим оптимизмом” (более осведомлены те люди, которые верят в по-

тенциальные возможности новых технологий и поэтому стремятся узнать о них больше). Неизвестно, как в будущем повлияет рост осведомленности на остальных. Исследователи UBC/UCSB предостерегают от излишнего оптимизма. Положительное отношение общества может измениться в любой момент. На восприятие риска влияют разные факторы. Обычно учитываются пол, раса, образование, доход. (Интересно, что в одном из исследований для США было показано, что с точки зрения белого мужчины, хорошо образованного и с высоким доходом, риск самых сложных технологий гораздо ниже, чем его оценивают в других демо-

графических группах, включая белых женщин и не белых мужчин и женщин). Dan Kahan, профессор Йельского университета, обсуждая результаты мета-анализа, отмечает важную роль “аффективных и когнитивных процессов” в восприятии риска [3]: первая реакция на возможный риск – аффект - кратковременный интенсивный эмоциональный процесс, отражающий субъективную оценку (она может быть и положительной, и отрицательной в зависимости от упомянутых выше и других факторов), затем люди начинают оценивать риск – выгоду, искать и изучать информацию (когнитивный процесс), что может изменить восприятие риска.

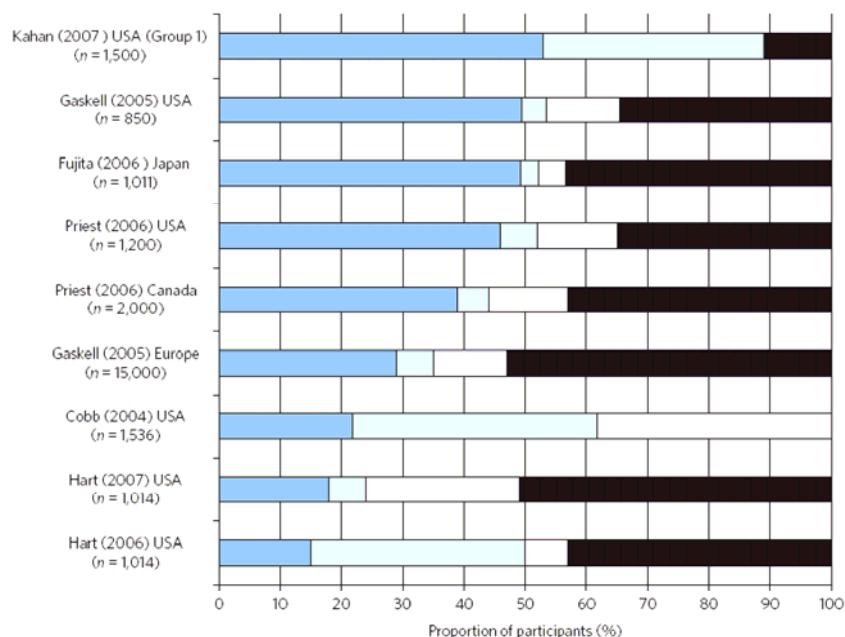


Рис.1. Восприятие соотношения риск-выгода участниками различных опросов [2]. Синий цвет – выгода > риска, голубой – риск > выгоды, белый – риск = выгоде, черный – участники не определились с ответом.

По мере появления продуктов нанотехнологий в нашей жизни, мы, конечно, будем обсуждать друг с другом и вред, и выгоды, будем консультироваться с экспертами, слушать рекламу или критические отзывы (в том числе и заинтересованных лиц). Может произойти так называемое социальное усиление риска – так было с ядерной энергетикой, генетически-модифицированными продуктами, коровьим бешенством, свиным гриппом. Авторы исследований, недавно проведенных в Германии [4], считают, что восприятие риска нанотехнологий может сильно измениться, если в средствах массовой информации появятся сообщения о конкретных примерах вредного воздействия, “живые и пугающие картинки реальной опасности” (по данным [4] сейчас примерно две трети взрослого населения Германии уверены, что выгода от применения нанотехнологий перевесит риск, но при этом более 90% опрошенных считают, что забывать о риске нельзя).

В общем, вопросов, как всегда, гораздо больше, чем ответов. Авторы мета-анализа [2] авторитетно заявляют, что для того, чтобы прогнозировать отношение общества к нанотехнологиям, надо разрабатывать новые методы исследования. Немецкие исследователи считают, что в процессе коммуникации

риска** должны обязательно участвовать организации, которым население доверяет. Для того, чтобы разобраться в вопросах доверия, они провели специальный опрос (рис.2) [4].

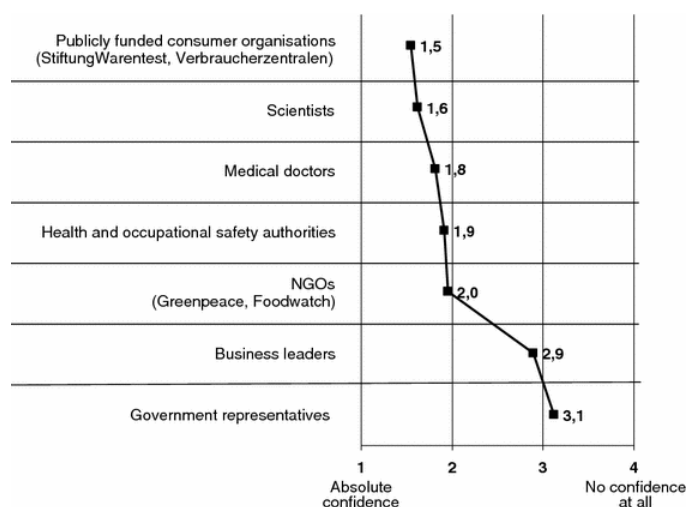


Рис.2. Доверие к различным источникам информации по 4-бальной шкале (1 – абсолютное доверие, 4 – совсем нет доверия).

Как выяснилось, доверием в Германии в первую очередь пользуются авторитетные ассоциации по-

требителей (например, *Stiftung Warentest****) и ученые. Около 50% опрошенных доверяют им полностью, и примерно 40% доверяют в некоторой степени. Немного ниже, но всё же на высоком уровне, доверие к медикам и органам, обеспечивающим охрану профессиональной безопасности и здоровья. А вот к бизнесу (к бизнес-лидерам) и власти доверия практически нет (полностью им доверяют всего 4 и 2 %, соответственно)! Наверное, ситуация в нашей стране очень похожа, хотя данных по изучению восприятия риска нанотехнологий в России, к сожалению, найти не удалось.

* *Мета-анализ – статистический метод, объединяющий результаты различных исследований, посвященных одному и тому же вопросу*

** *Коммуникация риска - обмен информацией о риске или совместное использование этой информации лицом, принимающим решение, и другими причастными сторонами*

*** *Stiftung Warentest является ведущей независимой тестовой лабораторией потребительских товаров в Германии.*

О.Алексеева

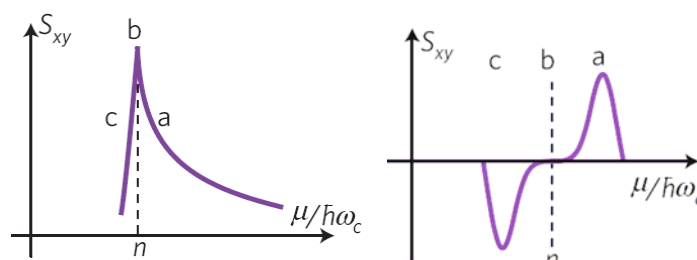
1. "Editorial", *Nature Nanotech.* **4**, 695 (2009).
2. T.Satterfield et al., *Nature Nanotech.* **4**, 752, (2009).
3. D.M.Kahan, *Nature Nanotech.* **4**, 705 (2009).
4. J.Simons et al., *J. Nanoparticle Res.* **11**, 1555 (2009).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Эффект Нернста и мерность

Эффект Нернста заключается в том, что в магнитном поле B перпендикулярном градиенту температуры возникает электрическое поле, перпендикулярное и градиенту, и B . Известно, что при увеличении B на зависимостях многих физических характеристик (удельного сопротивления, магнитной восприимчивости и пр.) от $1/B$ наблюдаются квантовые осцилляции, обусловленные совпадением химического потенциала μ с энергиями E_n уровней Ландау. И сигнал Нернста S_{xy} здесь – не исключение. Но если в двумерных полупроводниковых гетероструктурах и графене S_{xy} имеет минимум при $\mu < E_n$ и максимум при $\mu > E_n$ (так что $S_{xy} = 0$ при $\mu = E_n$), то в трехмерных системах имеют место резкие пики S_{xy} при $\mu = E_n$ с последующим медленным уменьшением по гиперболическому закону (см. рис.). Ранее такое поведение S_{xy} наблюдали в висмуте, а теперь обнаружили еще и в сильно ориентированном пиролитическом графите [1]. Оно обусловлено, по-видимому, изменением топологии поверхности Ферми в сильном магнитном поле и пока не имеет количественного теоретического объяснения. Таким образом, по характеру зависимости S_{xy} от B в квантовом пределе можно судить об эффективной мерности электронной подсистемы того или иного материала.

В дальнейшем было бы, в частности, весьма интересно использовать эффект Нернста для изучения деталей перехода 2D→3D при увеличении числа слоев N в N -слойном графене.



Сигнал Нернста S_{xy} как функция химического потенциала μ в трехмерных (слева) и квазидвумерных (справа) системах. Здесь n – номер одного из уровней Ландау, $\hbar\omega_c \sim B$ – расстояние между соседними уровнями Ландау. Участки a , b и c отвечают различному положению μ относительно E_n при изменении магнитного поля.

I. Z.Zhu et al., *Nature Phys.* **6**, 26 (2010).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Магнитоэлектрический эффект в графене

В конце прошлого года команда китайских ученых с помощью *ab initio* расчетов предсказала магнитоэлектрический эффект в двойном слое графена [1]. Учитывая повышенный интерес как к графену, так и к магнитоэлектрическим эффектам можно ожидать, что эта тема будет звучать и в наступившем году. Поэтому стоит о ней рассказать подробнее.

Авторами [1] рассмотрены свойства ленты графена зигзагообразной формы, для которой ранее предсказывали наличие двух магнитных подрешеток [2], что дает магнитные моменты противоположного знака на краях ленты (рис. 1а). Также появлялись сообщения о скрытых сегнетоэлектрических свойствах такой ленты [3]. Так что вполне логично было задаться вопросом, а не возникает ли в ней под действием электрического поля пропорциональный ему магнитный момент, т.е. имеет ли место линейный магнитоэлектрический эффект?

Оказывается, такой эффект можно смоделировать в системе из двухслойной ленты графена на подложке из кремния (рис. 1б). В этом случае нижний слой ленты образует sp^3 связи с подложкой и не проявляет магнитных свойств, а верхний слой графена, в силу слабости связи с нижележащим слоем, сохраняет свойства свободной ленты и, соответственно, на краях ленты образуются магнитные моменты противоположного знака. Возникает ситуация, при которой, вследствие обменного расщепления, на левом краю электроны со спином вверх формируют валентную зону, а электроны со спином вниз – зону проводимости (у правого края, соответственно, наоборот). Приложение напряжения смещения между подложкой и верхним слоем приводит к тому, что электроны, поступающие из подложки, заполняют преимущественно уровни энергии электронов валентной зоны, тем самым, приводя к изменениям

магнитных моментов обоих краев, пропорциональным приложенному полю.

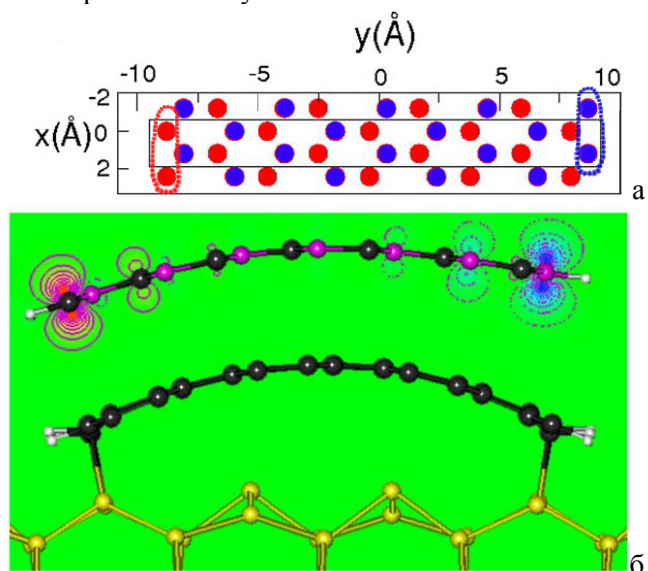


Рис. 1. *а* - Лента графена зигзагообразной формы (вид сверху). Красным и синим обозначены атомы углерода, принадлежащие к разным подрешеткам с противоположным направлением спина, обводкой выделены некомпенсированные магнитные моменты на краях; *б* - двухслойная лента на кремниевой подложке, вид сбоку. Желтые шарики – кремний, черные и сиреневые – разные подрешетки углерода, белые – водород. На краях ленты – магнитные моменты разных знаков.

В отличие от классического линейного магнитоэлектрического эффекта, обусловленного смещением атомов под действием электрического поля (которое, в свою очередь, изменяет зоны перекрытия электронных облаков и обменное взаимодействие магнитных ионов), в данной разновидности магнитоэлектрического эффекта электрическое поле изменяет обменное расщепление электронных состояний на краю ленты. Отметим здесь, что для обычного линейного магнитоэлектрического эффекта характерна обратимость – электрическая поляризация также может быть порождена магнитным полем, но вопрос об обратимости эффекта в графене остался за пределами рассмотрения работы [1]. Что ж, остается ждать экспериментальных работ в этой области.

А.Пятаков

1. Zh.Zhang et al., *Phys. Rev. Lett.* **103**, 187204 (2009).
2. S.Okada, A.Oshiyama, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 146803 (2001).
3. J.Fernández-Rossier, *Phys. Rev. B* **77**, 075430 (2008).

Магия золота

Золотые наночастицы являются одним из наиболее активно обсуждаемых и изучаемых в современном научном сообществе объектов наномира. Перспективы их внедрения в такие области, как медицина и нанoeлектроника сегодня выглядят очень многообещающими: например, диагностика и лечение онко-

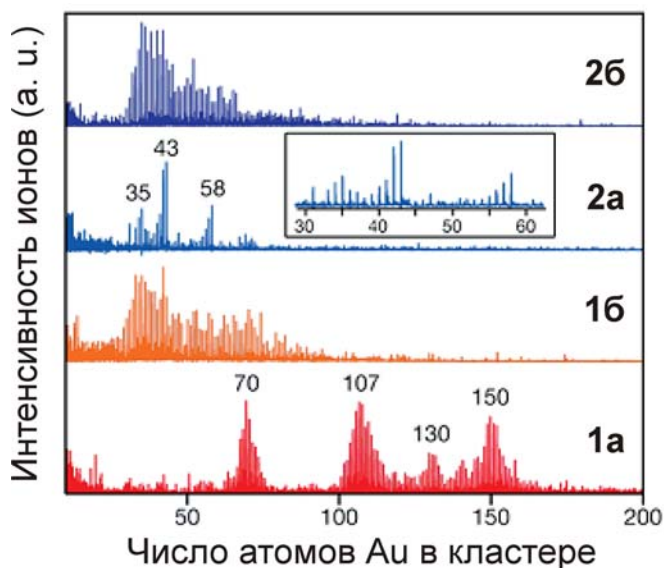
логических заболеваний, адресная доставка лекарств или конструирование микрочипов, всего и не перечислишь. Не стоит также сбрасывать со счетов и каталитические способности кластеров золота.

Работа [1], выполненная японскими исследователями, посвящена кластерам золота, стабилизированным поливинилпирролидоном (PVP), которые проявляют высокую каталитическую активность в реакциях аэробного окисления. Затронув вопрос влияния числа атомов в наночастице на химические свойства Au:PVP, авторам удалось идентифицировать ряд магических чисел для исследуемых образцов. Магическим, называют то число атомов в кластере, при котором последний обладает наибольшей стабильностью. Например, для изолированных кластеров золота имеет место следующая последовательность: 8, 18, 20, 34, 40, 58, 92... Золотые наночастицы, стабилизированные PVP, синтезировали восстановлением AuCl_4^- боргидридом (BH_4^-) в присутствии PVP либо обычным смешением растворов исходных веществ при 313 К и 273 К, либо методом микрокапельного смешения при тех же температурах.

Для идентификации и анализа атомных кластеров использовали масс-спектрометрию с лазерной десорбцией/ионизацией при помощи матрицы (matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry – MALDI-MS). Характерные масс-спектры отрицательно заряженных ионов Au_n^- представлены на рисунке. Авторы отмечают, что размеры получившихся кластеров золота зависят непосредственно от условий синтеза. Если на масс-спектрах для образцов, полученных при температуре 273 К (1б и 2б), наблюдается некоторое “размытие” по размеру кластерного остова, то на спектрах образцов, полученных при более высокой температуре (1а и 2а), напротив, отчетливо видны пики при $n \approx 35, 43, 58, 70, 110, 130$ и 150 . Таким образом, синтез Au:PVP, проводимый при более высоких температурах (313 К), увеличивает относительную популяцию более стабильных кластеров посредством сокращения численности менее стабильных под действием термической деструкции.

Итак, магические числа для Au:PVP образуют следующий ряд: $35 \pm 1, 43 \pm 1, 58 \pm 1, 70 \pm 3, 107 \pm 4, 130 \pm 1$ и 150 ± 2 . Здесь наблюдается интересная особенность: магические числа меньше ~ 70 совпадают с магическими числами для изолированных (“свободных”) кластеров золота и могут быть качественно описаны в рамках оболочечной модели. И, напротив, магические числа больше ~ 100 не соответствуют таковым для изолированных наночастиц. Авторы связывают такое отклонение с изменением электронной и/или геометрической структуры кластера, вызванного взаимодействием с PVP, но более детального ответа пока дать не удастся – такая “магия” чисел до сих пор остается загадкой. Все же авторы надеются, что их работа, в частности предложенная ими методика анализа, поможет реализо-

вать контролируемый синтез золотых наночастиц с заданным числом атомов кластерного остова.



Характерные MALDI масс-спектры отрицательно заряженных ионов для Au:PVP образцов, полученных обычным смешением растворов (1а, 1б) и микрокапельным смешиванием (2а, 2б). На вставке представлен увеличенный участок фрагмента 2а.

М.Маслов

1. *H.Tsunoyama et al., J. Am. Chem. Soc. 131, 18216 (2009).*

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Селективность взаимодействия молекул с поверхностью графенов и углеродных нанотрубок

Как известно, присоединение функциональных групп к поверхности углеродной нанотрубки (УНТ) или графена сопровождается изменением электронной структуры объекта. Это обусловлено явлением передачи электронного заряда при образовании химической связи. В случае если передача заряда происходит от присоединенного радикала к гексагональной поверхности УНТ или графена, указанный радикал является донором, в противоположном случае он акцептор. Влияние присоединенных радикалов на электронную структуру поверхности нанотрубки представляет двойной интерес. С одной стороны, это явление открывает возможность направленного воздействия на электронные свойства рассматриваемых объектов, что в принципе позволяет получать полупроводниковые структуры с заданными электронными характеристиками. С другой стороны, указанное явление может быть положено в основу работы чувствительных миниатюрных сенсоров, электрические характеристики которых изменяются в результате присоединения молекул различного сорта.

Важным параметром, характеризующим взаимодействие присоединенных молекул с поверхностью, является энергия или теплота взаимодействия. В рабо-

те [1], выполненной недавно в Indian Institute of Science, (г. Бангалор, Индия) [1] методом изотермического калориметрического титрования измерены теплоты реакции присоединения некоторых донорных и акцепторных молекул к графену и УНТ. Использовали образцы графенов, полученные методами: термическим расслоением окисленного графита (EG), термическим разложением графита в дуговом разряде водорода (HG). Указанные образцы содержали 3-4 и 5-6 слоев и характеризовались величиной удельной поверхности ~ 1100 и ~ 400 м²/г, соответственно. Используемые в эксперименте однослойные УНТ получали в дуговом разряде с графитовыми электродами и очищали обработкой кислотой и водородом. Наряду с этим были синтезированы однослойные УНТ, обладающие преимущественно металлическими свойствами, для чего над катализатором Ni + Y₂O₃ пропускали насыщенный пентакарбонилем железа Fe(CO)₅ поток гелия.

Для измерения теплот присоединения суспензию, содержащую графен или УНТ в толуоле (1 мг/мл), смешивали с 10 мкл раствора (концентрация 10 мМ) тетрацианоэтилена (TCNE), тетрацианохинодимера (TCNQ), тетратиафульвалена (TTF) или N,N-диметил парафенилендиамин (DMPD) в толуоле.

Табл. Измеренные величины теплоты реакции присоединения молекул к поверхности графена или нанотрубки, ккал/моль.

Тип графена или УНТ	Аддукт				
	TCNE	TCNQ	TNF	DMFD	TIF
EG	-5.88	-0.34	-0.12	-0.60	-0.07
HG	-4.2		-0.30	-0.12	
SWNT	-4.25	-0.32	-0.06	-7.4	-0.18

Результаты измерений приведены в таблице. Значительные различия в величине этого параметра, характеризующего различные молекулы, указывает на селективный характер реакции присоединения исследуемых молекул к поверхности графенов и УНТ. Это подтверждает возможность использования графенов и УНТ в качестве чувствительных элементов сенсоров.

А.Елецкий

1. *N.Varghese et al., J. Phys. Chem. C 113, 16855 (2009).*

СПИНТРОНИКА

Управляемый туннель

При рождении спинтроника получила в приданое гигантский арсенал эффектов, наработанный при исследовании оптических, магнитных и полупроводниковых явлений. Исследователям, ассоциировавшим себя со спинтроникой, достаточно долго хватало упомянутого приданого для успешного

“подавания надежд”. Однако период беззаботности рано или поздно проходит. Пока естественные пределы развития электроники оставались за горизонтом, от спинтроники, пожалуй, никто реальных свершений и не ожидал. Однако, когда впереди у полупроводниковых технологов замаячили квантовые пределы, вопрос о реальности перспектив спинтроники возник сам собой.

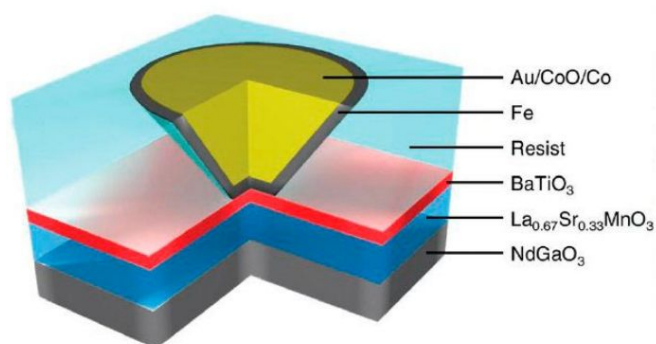
Фундаментальное положение, состоящее в том, что информацию можно кодировать спинами электронов, никто оспаривать не собирался. Но ведь информацию нужно записать, какое-то время хранить, и потом еще и прочитать. К тому же, пока спинтроника выросла, размеры единичного элемента в традиционной электронике стали много меньше длины световой волны. Вследствие этого исходные идеи о записи и чтении информации поляризованным светом стали смотреться как вопиющий анахронизм. Со временем жизни спина тоже было не все гладко, но тут действительность пошла сама навстречу спинтронике – быстродействие электронных схем выросло настолько, что время жизни спина стало казаться в некоторых случаях не столь уж и малым.

Однако главная неприятность, как это часто бывает, состояла в оборотной стороне достоинств. Спин электрона проводимости не взаимодействует с электрическим полем. Это обеспечивает малые энергии управления спином, относительную независимость его от мешающих факторов и т.д. Однако на спин оказывается столь же трудно повлиять при попытке спинового кодирования информации. Конечно, спин безотказно управляется магнитным полем, но можно ли представить себе, что к гипотетическому субмикронному элементу хранения/обработки спиновой информации будет приделана катушечка?

И вот как раз из материалов сообщения [1] в *Science Express* от 14 января сего года следует, что, кажется, можно обойтись без катушечки.

Согласно этому сообщению объединенная группа французских, британских и германских ученых создала элемент, управляющий поляризацией спина проходящих электронов. Элемент представляет собой модифицированный туннельный контакт с ферромагнитным металлом, который достаточно давно рассматривался как реальный элемент спинтроники, (см., например, недавнюю заметку в *ПерсТe* [2]). В обсуждаемой работе исследователи пошли дальше и, по их утверждению, впервые создали устройство, в котором поляризация спинового тока через туннельный переход управляется электрическим полем. Схема устройства приведена на рисунке. Электрическое поле (~1В) прикладывается к тонкому слою (1 нм) сегнетоэлектрического материала – титаната бария, который и служит диэлектриком, образующим туннельный переход. Поляризация титаната бария управляется приложенным

электрическим полем. На спин инжектируемого электрона электрическая поляризация диэлектрического слоя непосредственно не влияет, но, по видимому, как-то взаимодействует с электронами в ферромагнитном металле, являющегося эмиттером туннельного тока. Поляризация туннельного тока детектируется по туннельному магнитосопротивлению. Авторы считают, что ключевым в обнаруженном эффекте является взаимодействие сегнетоэлектрика и ферромагнетика на интерфейсе. Последнее представляется весьма вероятным, т.к. вклад в туннельный ток дают электроны тонкого поверхностного слоя ферромагнитного металла, с толщиной порядка длины экранирования, что в данном случае должно быть порядка нескольких атомных слоев. В дальнейшем авторы намереваются исследовать аналогичные эффекты на интерфейсах других пар материалов.



Теперь, когда эффект обнаружен, “задним умом” понятно, что искать возможности управления спинами нужно именно на стыке материалов с большими электрической и магнитной восприимчивостями. Более того, природа припасла еще кое-какие материалы, в которых обе эти функция заложены изначально – т.н. мультиферроики. Возможно, они еще скажут свое слово в технике манипуляции спинами.

М.Компан

1. *V. Garcia et al., Published Online January 14, 2010 Science DOI: 10.1126/science.1184028*
2. [ПерсТ 16, вып. 24, с.7 \(2009\).](#)

КОНФЕРЕНЦИИ

**III Международная конференция
“Кристаллические материалы 2010”
(ICSM2010), 31 мая - 3 июня 2010 г.,
г. Харьков, Украина.**

Программа конференции включает:

- Фундаментальные аспекты роста кристаллов: теория и эксперимент.
- Получение кристаллических материалов из расплавов, растворов, газовой фазы, эпитаксиальный рост.
- Самоорганизация, биомиметика.

- Новые методы, технологии и аппаратура для выращивания и сертификации кристаллических материалов.

Важные даты

15.04.2010 – конечный срок представления тезисов докладов

19.04.2010 – рассылка 2-го информационного сообщения

30.04.2010 – рассылка приглашений участникам конференции

21.05.2010 – конечный срок перечисления организационного взноса

Контакт

E-mail: iccm2010@isc.kharkov.ua

Web: <http://www.isc.kharkov.com/ICCM2010>

1 Workshop “The New Generation in Strongly Correlated Electron Systems”, 20-26 June 2010, Lanzarote, Canary Islands, Spain

Important dates:

Closing of abstract Submission - **12th** February 2010

Abstract Confirmation - **5th** March 2010

Early Registration Fee Payment - **25th** March 2010

Extended deadline for posters - **23rd** April 2010

(If space available) Late Registration Fee Payment -

30th April 2010

Web: <http://www.icmm.csic.es/ngscs2010>

Научная сессия ОФН РАН “Спинтроника”, 3 февраля 2010 г. (14-00)

(ФИ им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский просп., 53, конференц-зал)

Программа

1. Устинов В.В. (ИФМ УрО РАН)
Металлическая наноспинтроника
2. Кусраев Ю.Г. (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН)
Спиновые явления в полупроводниках: физика и приложения
3. Тарасенко С.А. (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН)
Спиновые фототоки в полупроводниках
4. Аверкиев Н.С., Голуб Л.Е. (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН)
Спиновая релаксация в квантовых полупроводниковых гетероструктурах

Web: <http://www.gpad.ac.ru/>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, В.Вьюрков, А.Елецкий,

М.Компан, М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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