

В этом выпуске:

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Фемтосекундная рентгеновская голография

Для изучения динамики нанобъектов в режиме реального времени необходимо сочетание строго синхронизированных ультракоротких импульсов излучения с очень высоким пространственным разрешением. При этом, чтобы по дифракционной картине восстановить форму объекта в каждый момент времени, нужно решать сложную задачу обратного преобразования Фурье. Альтернативой является голографическая методика, основанная на интерференции двух лучей, которые рассеиваются на объекте с некоторой задержкой по времени. Одну из модификаций этой методики группа ученых из США, Германии и Швеции применила для исследования процесса разрушения наночастиц полистирола [1]. Были использованы импульсы рентгеновского излучения с длиной волны 32.5 нм и длительностью 25 фс от лазера на свободных электронах (около 10^{12} фотонов в одном импульсе с энергией 10 мкДж). Большое количество почти идентичных сферических наночастиц диаметром 140 нм наносили на мембрану из SiN, расположенную на расстоянии $l = (30 \div 1200)$ мкм от зеркала. Падая на частицу, рентгеновский пучок, с одной стороны, рассеивается на ней, а с другой – инициирует ее распад ("испарение") за счет практически мгновенного нагрева до $\sim 10^5$ К. Отражаясь затем от зеркала, этот пучок вторично рассеивается на частице (структура которой за время $t = 2l/c = 0.2 \div 8$ пс уже успела измениться) и интерферирует с первично рассеянным пучком (рис.1).

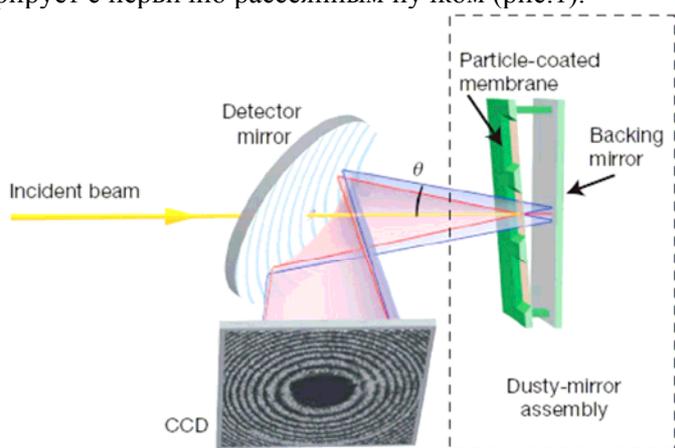


Рис.1. Схема эксперимента по рентгеновской голографии с фемтосекундным временным разрешением. Наночастицы полистирола покрывают мембрану, расположенную перед зеркалом.

Формирующаяся при этом голограмма представляет собой когерентную суперпозицию голографических узоров от ≈ 1000 наночастиц, оказавшихся в области действия пучка, ширина которого составляет около 20 мкм. Она содержит информацию о структуре наночастиц в момент времени $t = 2l/c$ после начала распада. Ее компьютерный анализ позволяет определить форму наночастиц, а также распределение плотности в наночастицах (рис.2).

И далее ...

- 2 Двухкубитные операции с нейтральными атомами в оптической решетке
- НАНОСТРУКТУРЫ,
НАНОТЕХНОЛОГИИ,
НАНОЭЛЕКТРОНИКА**
- 2 Новая модификация атомного силового микроскопа
 - 3 Играем в наношахматы
- СПИНТРОНИКА**
- 4 Еще раз про кремниевую спинтронику
- ФУЛЛЕРЕНЫ И
НАНОТРУБКИ**
- 5 Рентгеновская трубка с высоким пространственным разрешением на основе УНТ катода
 - 6 Газовый сенсор на основе углеродных нанотрубок
- ФИНАНСИРОВАНИЕ И
РЫНОК**
- 7 Нанотехнология не спринт, а марафон
 - 8 Информационный Инкубатор Инновационных Идей («Система 4i»)

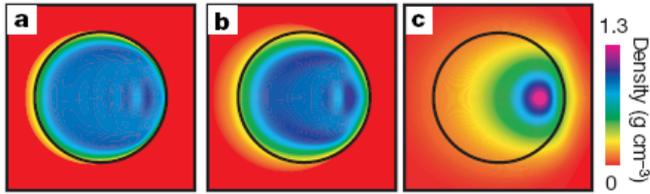


Рис.2. Профили плотности изначально однородной сферической наночастицы спустя время 0.5 пс (a), 0.9 пс (b) и 3.2 пс (c) после воздействия рентгеновского импульса.

Сейчас минимальная длина волны использованного авторами лазера (DESY, Гамбург) составляет около 2 нм. Можно надеяться, что ее уменьшение до десятых долей нанометра и менее позволит уже в обозримом будущем усовершенствовать лазерную голографию так, чтобы исследовать динамику биологических объектов, атомных кластеров и отдельных молекул, а также изучать сверхбыстрые фазовые переходы, ход химических реакций и детали процессов плавления, абляции, образования плазмы.

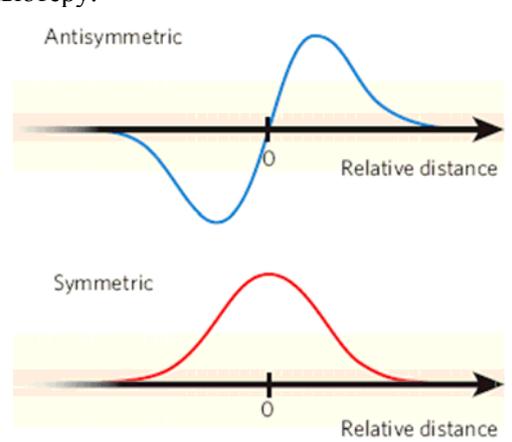
1. *H.N.Chapman et al., Nature 448, 676 (2007).*

Двухкубитные операции с нейтральными атомами в оптической решетке

Системы нейтральных атомов, охлажденных до низких температур и находящихся в узлах оптической решетки (которая образуется при интерференции лазерных пучков), считаются перспективными кандидатами для хранения квантовой информации из-за их очень слабого взаимодействия с внешним окружением и, следовательно, большого времени декогерентизации. При этом с каждым атомом ассоциируется один квантовый бит (кубит), логические состояния $|0\rangle$ и $|1\rangle$ которого отвечают различным проекциям полного спина. В работе [1] предложен и реализован способ контролируемого перепутывания спиновых состояний двух атомов ^{87}Rb , расположенных в соседних минимумах потенциала оптической решетки. Он основан на использовании симметрии волновой функции двух тождественных бозонов (каковыми являются атомы ^{87}Rb) относительно их перестановки (обмена местами). Полная двухчастичная волновая функция представляет собой произведение спиновой (описывающей внутренние состояния атомов) и координатной (описывающей их расположение в пространстве) компонент. Симметрия полной волновой функции накладывает определенные ограничения на симметрии этих компонент: если спиновая часть симметрична, то координатная – тоже симметрична, а если антисимметрична, то и координатная – антисимметрична. Существенно, что в состоянии с антисимметричной координатной волновой функцией два атома не могут находиться в одной точке, а вероятность того, что они окажутся близко друг к другу, очень мала. Напротив, симметричная координатная волновая функция благо-

приятствует сближению атомов (см. рис.), а значит – и их взаимодействию между собой. Такую взаимозависимость спиновой и координатной функций авторы [1] и использовали для осуществления двухкубитных операций: при понижении барьера между двумя минимумами потенциала решетки оба атома ^{87}Rb оказываются в одной потенциальной яме, занимая в ней основную и первый возбужденный колебательные уровни. При этом они находятся в суперпозиции состояний с разными спиновыми (и, соответственно, координатными) волновыми функциями. Взаимодействие атомов имеет место только в состоянии с симметричной координатной функцией, что приводит к квантовым осцилляциям между различными спиновыми состояниями. В результате удается осуществить двухкубитную операцию SWAP: $|01\rangle \rightarrow |10\rangle$. Время этой операции в [1] составило $t_{\text{SWAP}} \sim 0.1$ мс, что на два порядка меньше времени декогерентизации (~ 10 мс). Эволюция двух кубитов при операции SWAP происходит таким образом, что через время $t_{\text{SWAP}}/2$ формируется запутанное состояние: $|01\rangle \rightarrow (|01\rangle - i|10\rangle)/\sqrt{2}$

(эта операция называется $\sqrt{\text{SWAP}}$). Совместно с однокубитными поворотами она образует набор универсальных операций для квантовых вычислений. Сделан еще один шаг по пути к квантовому компьютеру.



Антисимметричная и симметричная координатные волновые функции двух частиц.

1. *M.Anderlini et al., Nature 448, 452 (2007).*

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Новая модификация атомного силового микроскопа

Атомный силовой микроскоп (АСМ) делает возможным исследование поверхности твердых тел на нанометровой шкале. В режиме модуляции амплитуды ("tapping mode") острая игла АСМ, расположенная на конце длинного кантилевера, колеблется с резонансной частотой, то приближаясь к поверхности, то удаляясь от нее. Периодическая сила, действующая на иглу со стороны поверхностных атомов, зависит от химического состава поверхно-

Перст, 2007, том 14, выпуск 16

сти и ее механических характеристик. Она влияет на колебания кантилевера, индуцируя в них дополнительные гармоники, что регистрируется фотодетектором, на который попадает отраженный от обратной стороны кантилевера луч лазера (рис.1а) (амплитуда колебаний при этом поддерживается постоянной за счет обратной связи). Анализ полного частотного спектра колебаний в принципе позволяет (путем решения обратной задачи) определить зависимость действующей на иглу силы от времени и сделать заключение о свойствах участка поверхности, находящегося непосредственно под иглой (и таким образом, отсканировать ту или иную область поверхности с нанометровым разрешением). Проблема, однако, заключается в малой величине отношения сигнал/шум для высоких гармоник, в результате чего точность определения сил оказывается очень низкой.

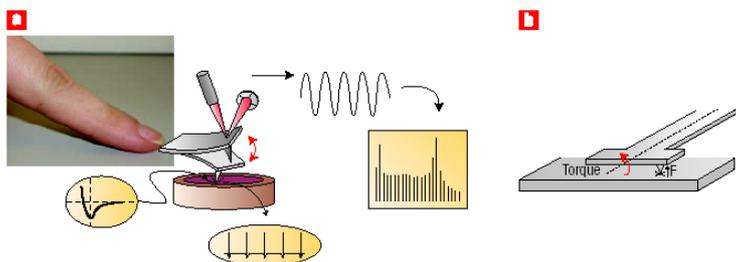


Рис.1. (а) Игла АСМ выполняет функцию "искусственного пальца", который "чувствует" структуру поверхности. Левая вставка: сила, действующая на иглу, как функция расстояния между иглой и поверхностью. Нижняя вставка: действующая на иглу сила периодически зависит от времени из-за колебаний кантилевера. Правая вставка: частотный спектр колебаний. (б) В работе [1] игла АСМ смещена в сторону от оси кантилевера, что приводит к его крутильным колебаниям.

В работе [1] предложена новая конструкция измерительного узла АСМ: игла смещена в сторону относительно продольной оси АСМ (рис.1б). Это делается для того, чтобы наряду с перпендикулярными поверхности образца колебаниями кантилевера возбудить также его крутильные (вокруг продольной оси) колебания, которые возникают из-за крутильного момента, появляющегося при взаимодействии иглы с поверхностью. У этих колебаний резонансная частота гораздо больше, чем у перпендикулярных, что облегчает анализ частотного спектра и позволяет, в конечном итоге, определить действующую на иглу силу с очень высокой точностью, сравнимой с точностью, которая достигается при работе АСМ в "контактном режиме" (но за время меньшее в 50 тысяч раз!). Отладив свою методику на пиролютическом графите, авторы [1] использовали ее для исследования топографии двухкомпонентной полимерной пленки (рис.2) и определения температурных зависимостей модулей Юнга каждой из компонент (рис.3). В дальнейшем уменьшение размеров кантилевера позволит еще больше увеличить резонансную частоту и повысить

Перст, 2007, том 14, выпуск 16

тем самым быстродействие АСМ. Идеи работы [1] могут быть использованы, в частности, для конструирования "органов чувств" у нанороботов.

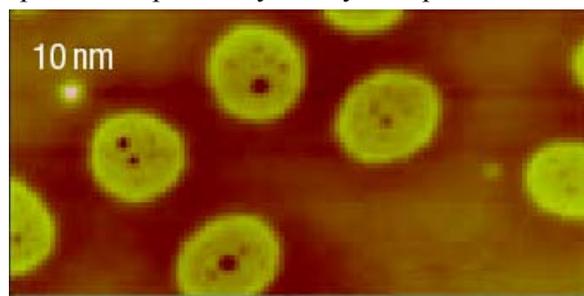


Рис.2. Топография участка поверхности полимерной пленки из полиметилметакрилата (округлые области) и полистирола (матрица).

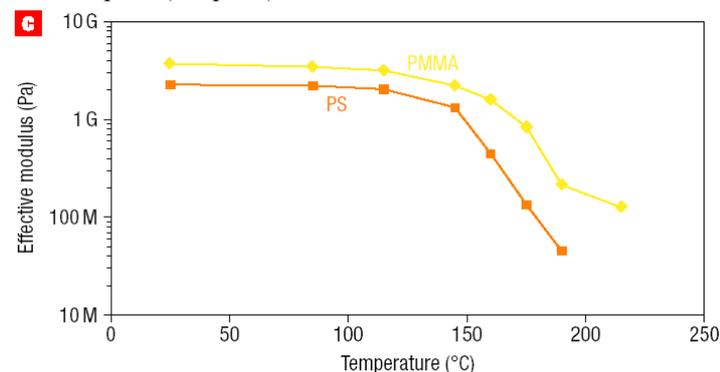


Рис.3. Модули Юнга областей полистирола (PS) и полиметилметакрилата (PMMA) в полимерной пленке PS/PMMA.

Л.Опенев

I. O.Sahin et al., Nature Nanotechnol. 2, 507 (2007).

Играем в наношахматы

При синтезе новых материалов часто возникает ситуация, когда вещество с требуемыми свойствами не удастся получить в чистом виде из-за его расслоения на термодинамически более устойчивые фазы. Бывает, впрочем, и так, что фазовое расслоение играет положительную роль и приводит к улучшению тех или иных характеристик (например, повышению прочности сплавов и керамик) или к образованию композитов, свойства которых существенно отличаются от свойств исходных однофазных соединений. Так, спонтанное формирование наночастиц с избытком атомов Cr в системе $(Zn_{1-x}Cr_x)Te$ ведет к резкому росту температуры ферромагнитного упорядочения [1], а при расслоении термоэлектрического материала $Ag_{1-x}Pb_xSbTe_{m+2}$ на фазы $AgSbTe_2$ и $PbTe$ сильно уменьшается теплопроводность [2], что важно для практического применения. Во всех известных случаях фазового расслоения на нанометровом масштабе области различных фаз имеют "неправильную" форму и расположены друг относительно друга нерегулярно ("спинодальный распад") (рис.1а). Немногочисленные исключения представляют собой нанокompозиты, в которых сферические наночастицы одной фазы образуют периодическую структуру в матрице из другой фазы [3].

Но такие материалы очень трудно изготовить, так как они чрезвычайно чувствительны к внешним воздействиям и являются метастабильными (время их жизни не превышает нескольких недель [3]).

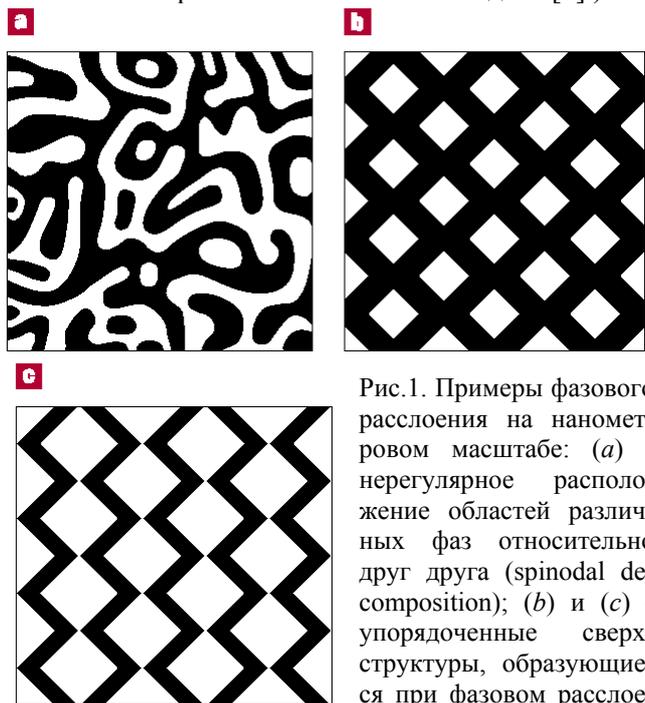


Рис.1. Примеры фазового расслоения на нанометровом масштабе: (a) - нерегулярное расположение областей различных фаз относительно друг друга (spinodal decomposition); (b) и (c) - упорядоченные сверхструктуры, образующиеся при фазовом расслоении перовскита

$(\text{Nd}_{2/3-x}\text{Li}_{3x})\text{TiO}_3$ с $x \approx 0.05$ (b) и 0.12 (c). Черные области – фаза $\text{Nd}_{2/3}\text{TiO}_3$, белые области – фаза $\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$.

В работе [4] сообщается о наблюдении упорядоченной сверхструктуры, спонтанно образующейся в плоскости a - b при расслоении перовскита $(\text{Nd}_{2/3-x}\text{Li}_{3x})\text{TiO}_3$ на фазы $\text{Nd}_{2/3}\text{TiO}_3$ и $\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$. Эта сверхструктура имеет форму "шахматной нанодоски", у которой размеры квадратиков могут варьироваться в пределах (5 ÷ 11) нм просто путем изменения содержания Li (рис.1b,c). Отношение периодов двумерной элементарной ячейки также определяется величиной x (рис.2).

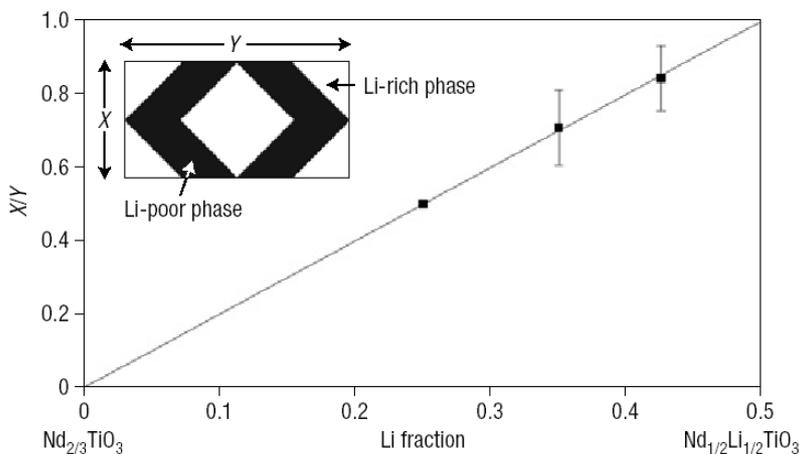


Рис.2. Зависимость отношения периодов X и Y элементарной ячейки сверхструктуры $\text{Nd}_{2/3}\text{TiO}_3/\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$ в системе $(\text{Nd}_{2/3-x}\text{Li}_{3x})\text{TiO}_3$ от содержания лития ($3x$).

Интересно, что ни фаза $\text{Nd}_{2/3}\text{TiO}_3$, ни фаза $\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$ в нормальных условиях не существуют сами по себе. Поэтому, строго говоря, фор-

мирование сверхструктуры $\text{Nd}_{2/3}\text{TiO}_3/\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$ в системе $(\text{Nd}_{2/3-x}\text{Li}_{3x})\text{TiO}_3$ правильнее было бы называть не фазовым расслоением, а взаимной стабилизацией двух фаз. Эти фазы будучи по отдельности метастабильными, вместе образуют устойчивый наноккомпозит, да еще и с дальним порядком в расположении фаз. Физический механизм такой стабилизации заключается, по-видимому, в понижении энергии кулоновского отталкивания пар ионов Li^+-Li^+ и $\text{Li}^+-\text{Nd}^{3+}$, поскольку только в фазе $\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$ ионы Li^+ и Nd^{3+} расположены в разных (чередующихся) кристаллографических слоях (001). Фазовому расслоению способствует также различие радиусов ионов Li^+ и Nd^{3+} и высокая подвижность ионов Li^+ [5]. Авторы [4] подчеркивают, что для изготовления периодических наноккомпозитов $\text{Nd}_{2/3}\text{TiO}_3/\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2}\text{TiO}_3$ не требуется жесткого контроля за температурой синтеза, скоростью охлаждения и другими технологическими параметрами. Нужно лишь строго следить за химическим составом, который в конечном итоге и определяет период сверхструктуры. Одно из возможных применений таких наноккомпозитов – их использование в качестве подложек при изготовлении квазидвумерных наноструктур и молекулярных нанослоев с периодической модуляцией структуры и/или стехиометрии. В дальнейшем было бы интересно посмотреть, есть ли фазовое расслоение в системах $(\text{Ln}_{2/3-x}\text{Li}_{3x})\text{TiO}_3$ с $\text{Ln} = \text{La}, \text{Pr}$ и других соединениях со структурой перовскита.

Л. Опенов

1. S.Kuroda et al., *Nature Mater.* **6**, 440 (2007).
2. E.Quarez et al., *J. Amer. Chem. Soc.* **127**, 9177 (2005).
3. E.V.Shevchenko et al., *Nature* **439**, 55 (2006).
4. B.S.Guñon, P.K.Davies, *Nature Mater.* **6**, 586 (2007).
5. P.M.Woodward, *Nature Mater.* **6**, 549 (2007).

СПИНТРОНИКА

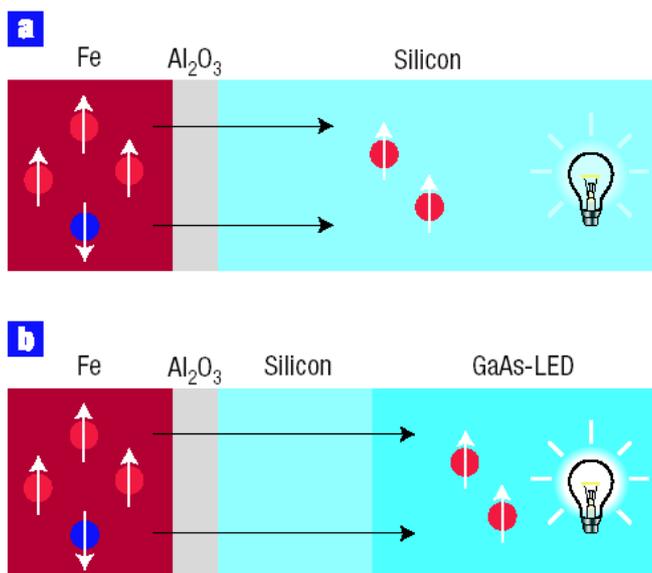
Еще раз про кремниевую спинтронику

На протяжении нескольких десятков лет фундаментом информационных технологий служила полупроводниковая электроника, основанная на операциях с электрическими зарядами электронов. Но улучшать характеристики полупроводниковых интегральных схем с каждым годом становится все труднее и труднее. "Зарядовая электроника" почти исчерпала свои ресурсы. Одной из возможных альтернатив является "спиновая электроника" – спинтроника, в которой функции зарядов выполняют электронные спины. Существенный прогресс достигнут в экспериментах со спиновым током в полупроводнике GaAs [1]. Но для широкомасштабного коммерческого использования идей спинтроники требуется гораздо более технологичный материал, в идеале – все тот же кремний.

Задача инъекции спин-поляризованного тока из ферромагнитного электрода в полупроводник ка-

жется простой лишь на первый взгляд. Она осложняется сильным различием электрических проводимостей полупроводника и ферромагнитного металла, из-за чего приложенное к контакту напряжение падает в полупроводнике почти до нуля. Выход состоит в использовании туннельного барьера, сопротивление которого велико и зависит от направления спина электрона. Это относится ко всем полупроводникам. Что касается собственно кремния, то с ним связана и еще одна проблема, обусловленная спецификой его электронной зонной структуры, а именно – непрямыми межзонами переходами носителей. Это (в отличие от GaAs) препятствует непосредственному количественному анализу поляризации электронных спинов путем измерения поляризации света, испускаемого при излучательной рекомбинации инжектированных в кремний электронов с дырками.

Первое убедительное экспериментальное доказательство возможности инжекции спинов из ферромагнетика в кремний было получено лишь недавно [2], (см. ПерсТ, т. 14, вып. 10, 2007). Однако спин-поляризованный ток при этом оказался очень небольшим из-за сложной конструкции использованной в [2] многослойной структуры. В работе [3] сотрудникам Naval Research Laboratory (США) удалось добиться как минимум 10-процентного различия между силами токов, создаваемых электронами с разной ориентацией спинов при их туннелировании в кремний из контакта Fe через барьер Al_2O_3 . Более того, вырастив структуру Fe/ Al_2O_3 /Si на светодиоде GaAs, авторы [3] показали, что спины остаются поляризованными и после прохождения границы Si/GaAs (см. рис.), причем вплоть до $T = 125$ К.



Демонстрация инжекции спин-поляризованного тока в кремний и – далее – в светодиод из GaAs.

В дальнейшем, изменяя толщину слоя Si, можно будет определить характерную длину, на которой сохраняется спиновая поляризация. Разработанная в [3] методика инжекции спинов в кремний позво-

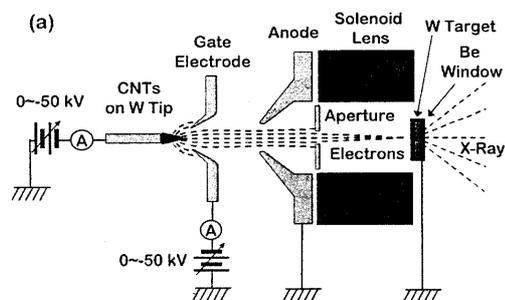
ляет вплотную приступить к конструированию новых кремниевых спин-электронных устройств, например, спиновых полевых транзисторов, в которых проводимость определяется относительной намагниченностью ферромагнитных контактов [4].

Л.Опенев

1. X.Lou et al., *Nature Phys.* **3**, 197 (2007).
2. I.Appelbaum et al., *Nature* **447**, 2995 (2007).
3. B.T.Jonker et al., *Nature Phys.* **3**, 542 (2007).
4. R.Jansen, *Nature Phys.* **3**, 521 (2007).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ Рентгеновская трубка с высоким пространственным разрешением на основе УНТ катода

Создание катодов на основе углеродных нанотрубок (УНТ) открыло новые возможности для разработки портативных источников рентгеновского излучения. Это связано со способностью УНТ, благодаря тому, что их длина значительно больше поперечных размеров, многократно усиливать напряженность электрического поля в окрестности наконечника, что позволяет создавать миниатюрные рентгеновские трубки, не прибегая к громоздким генераторам напряжения. Один из приборов подобного типа, созданный недавно в Институте передовых технологий (Корея), является источником узконаправленного рентгеновского луча (диаметр около 5 мкм), позволяющего исследовать структуру объектов с высокой степенью пространственного разрешения. Схема прибора представлена на рисунке.



Схематическое изображение устройства источника рентгеновского излучения с катодом на основе УНТ.

В качестве источника электронного пучка использовался катод, представляющий собой вольфрамовый наконечник с радиусом кривизны 5 мкм, на котором методом CVD выращен массив многослойных УНТ. Электронный пучок, эмитируемый катодом, управляется затвором и анодом. Фокусировка электронного пучка производится за счет специальной конфигурации электродов и магнитной линзы, а также в результате использования диафрагмы диаметром от 4 до 10 мм. В качестве источника рентгеновского излучения использовалась вольфрамовая мишень, нанесенная на тонкое бериллиевое окно толщиной 500 мкм и диаметром

20 мм. Источник работает в просвечивающем режиме, т. е. направление распространения излучения совпадает с направлением пучка. Оптимальная толщина вольфрамового слоя для электронов с энергией 40 кэВ составляет около 1 мкм. Она выбирается, с одной стороны, чтобы обеспечить достаточно высокую степень поглощения электронного пучка, а с другой, чтобы ограничить потери рентгеновского излучения в материале мишени. Вольт-амперная характеристика катода на основе УНТ находится в соответствии с классическим выражением Фаулера-Нордгейма, так что плотность тока эмиссии 10 mA/cm^2 достигается при напряженности электрического поля $1,6 \text{ В/мкм}$. Оцененное с помощью указанного выражения значение коэффициента усиления электрического поля составляет 2700 при площади эмитирующей поверхности $1,6 \times 10^{-6} \text{ см}^2$. Измерения показывают, что около 90% эмитируемых электронов достигают мишени. Высокая разрешающая способность описанного источника рентгеновского излучения была продемонстрирована на примере исследования изображения дифракционной решетки, образованной золотыми полосками шириной 6 мкм, находящимися на расстоянии 25 мкм друг от друга. Данная структура неразрешима при использовании обычного рентгеновского источника, в то время как описанный прибор позволяет получить достаточно адекватное изображение.

А.В.Елецкий

1. *S.H.Neo et al. Appl. Phys. Lett. 90, 183109 (2007)*

Газовый сенсор на основе углеродных нанотрубок

Высокая чувствительность электронных характеристик к присутствию молекул, сорбированных на поверхности, а также рекордная величина удельной поверхности, способствующая такой сорбции, делают углеродные нанотрубки (УНТ) перспективной основой для создания сверхминиатюрных сенсоров, определяющих содержание газовых примесей в атмосфере. Известно множество попыток создания сенсора на основе единичной УНТ. Принцип работы таких сенсоров основан на изменении вольт-амперных характеристик нанотрубки в результате сорбции газовых молекул определенного сорта на ее поверхности. Однако изготовление такого устройства в коммерческом масштабе наталкивается на трудности, связанные с обеспечением хорошего контакта нанотрубки с измерительным устройством, а также со значительным разбросом электрических параметров индивидуальных УНТ. В этой связи более привлекательными с практической точки зрения представляются устройства, содержащие большое количество нанотрубок. Такие устройства при сохранении миниатюрных размеров существенно проще в изготовлении и обладают более стабильными рабочими характеристиками. Интересный механизм действия

одного из подобных устройств был продемонстрирован недавно группой сотрудников Исследовательского Центра Тулузы (Франция), которые обнаружили существенную зависимость характера пропускания микроволнового излучения материала, содержащего двухслойные нанотрубки, от содержания примесей в атмосфере.

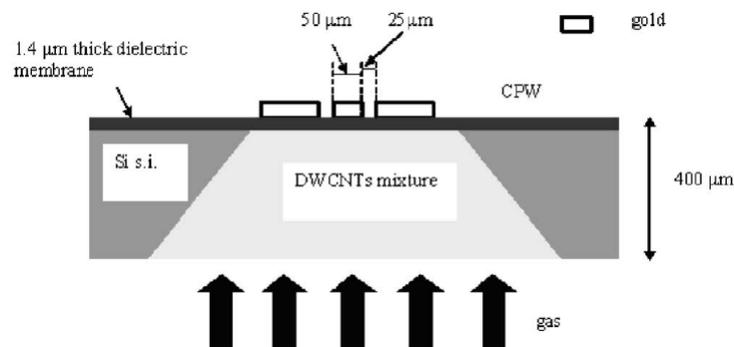


Схема сенсорного устройства на основе массива двухслойных нанотрубок

Образцы двухслойных нанотрубок диаметром около 2 нм и длиной порядка 10 мкм, отличающиеся повышенной чистотой и высокой воспроизводимостью электрических, магнитных и оптических характеристик, были получены в результате термического разложения метана над катализатором на основе CoMo-MgO . Нанотрубки в виде порошка вводили в полость копланарного волновода (CPW), изготовленного из кремния и укрепленного на тонкой диэлектрической мембране. Мембрана характеризуется диэлектрической постоянной, близкой к единице, и высоким коэффициентом пропускания для микроволнового излучения в диапазоне частот 1–110 ГГц. С целью исследования сенсорных характеристик устройство выдерживали в течение 15 часов при давлении азота 5 атмосфер. Результаты измерений коэффициента пропускания микроволнового излучения, а также фазового сдвига волны в указанном спектральном диапазоне указывают на существенные изменения этих параметров в результате сорбции газа. Так, для излучения частотой 60 ГГц изменение коэффициента пропускания составляет 2 дБ, а для фазового сдвига это изменение составляет 25 градусов. Время восстановления исходных характеристик прибора составляет несколько часов при комнатной температуре. Это время, однако, может быть многократно сокращено в результате прогрева прибора.

А.В.Елецкий

1. *M.Dragoman et al. J. Appl. Phys. 101 106103 (2007)*

Ионный источник с катодом на основе углеродных нанотрубок

Полевые эмиссионные катоды на основе углеродных нанотрубок (УНТ) хорошо себя зарекомендовали как компактные высокоэффективные источники электронов, работающие при умеренных на-

пряжениях питания. Это связано с высоким аспектным отношением УНТ, благодаря которому происходит значительное усиление электрического поля вблизи наконечника нанотрубки. В настоящее время разрабатывается целый ряд вакуумных электронных приборов с катодом на основе УНТ, которые по многим параметрам превосходят аналогичные устройства с металлическими или оксидными катодами. В качестве одного из удачных примеров можно привести вакуумный прибор, разработанный недавно в одном из университетов Северной Калифорнии (США).

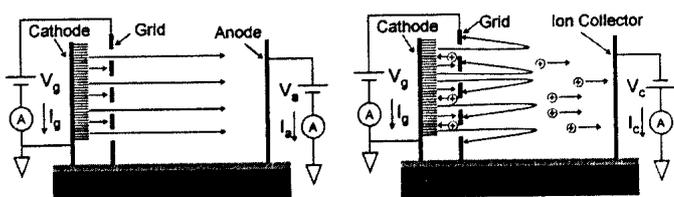


Схема работы вакуумного электронного прибора с катодом на основе УНТ, используемого в качестве триода (а) и ионного источника (б)

Схема прибора представлена на рисунке, где показаны две возможные конфигурации устройства. Одна из этих конфигураций (а) представляет собой вакуумный триод, в котором как сетка, так и анод имеют положительный потенциал относительно заземленного катода. Другая конфигурация (б) представляет собой источник ионов, которые образуются в результате соударений электронов с частицами остаточного газа. В этом случае потенциал сетки, ускоряющей электроны, имеет положительный знак по отношению к катоду, в то время как потенциал ионного коллектора отрицательный. Тем самым обеспечивается поток ионов на коллектор. В качестве подложки для катода использовали слой диоксида кремния толщиной 10 мкм. Многослойные нанотрубки диаметром около 30 нм выращивали на подложке методом плазмохимического осаждения паров с использованием смеси CH_4/NH_3 в качестве исходного реагента и тонкой пленки железа (5 нм) в качестве катализатора. Длина УНТ регулировалась временем роста. Расстояние между катодом и сеткой составляло 30 мкм, а между сеткой и коллектором – 280 мкм. Площадь катода составляла $70 \times 70 \text{ мкм}^2$, в то время, как площадь единичной ячейки сетки составляла $20 \times 20 \text{ мкм}^2$. Испытания прибора в режиме ионного источника проводили в условиях заполнения инертными газами (He, Ar, Xe) в диапазоне давлений от 10^{-4} до 10^{-1} Тор. Во всех случаях наблюдалась линейная возрастающая зависимость ионного тока на коллектор от давления инертного газа. Максимальная плотность ионного тока (50 мА/см^2) наблюдалась в случае Xe при давлении 0,1 Тор. Линейная зависимость ионного тока от давления газа указывает на возможность использования данного устройства в качестве датчи-

ка давления газа. Прибор сохраняет стабильные показания, по крайней мере, в течение часа работы. При этом желательно использование прибора в импульсном режиме, поскольку часть ионов попадает на поверхность катода, что может привести к его деградации.

А.В.Елецкий

I. C.A.Bower et al. Appl. Phys. Lett. 90 124102 (2007)

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК Нанотехнология не спринт, а марафон

Нанотехнология по-прежнему остается модным словечком. Многие компании, которые включились в nanoисследования и разработки, продолжают привлекать частные и бюджетные инвестиции. Вопрос в том, действительно ли это «топливо» питает уверенно стартующую к новой продукции компанию (т.н. стартап¹) или непомерное финансирование повергает их в опасное состояние летаргии? Число компаний, имеющих «nano» в своем названии, непомерно велико и иногда их связь с нанотехнологией, в лучшем случае, едва уловима. Часто префикс «nano» используют только в маркетинговых целях, и у несведущих эта уловка определенно срабатывает. Другие считают, что это - начало большого мыльного пузыря, не отличимого от бума с так называемыми «дотками»². И, когда эти дутые фирмы лопнут, инвесторы потеряют деньги и, как следствие, доверие ко всему нанотехнологическому бизнесу. Это особенно относится к ситуации, когда сами заявители заведомо зная, что предлагаемый проект откровенно не реализуем, заявляют о будущих непомерных доходах. Эта ситуация опасна, потому что подрывает доверие к тем компаниям, которые, используя нанотехнологии, действительно создают для рынка инновационную прорывную продукцию.

Несмотря на усердную рекламу, nanoисследования и разработки в течение последних лет не принесли заметной прибыли. У некоторых инвесторов наступило разочарование.

В 2005 году в нанотехнологические стартапные компании в США инвестировано более 1 млрд. долл., а в 2006 – всего 650 млн. долл. Сегодня США остаются в лидерах, но наблюдается медленное ослабление их позиции. Несмотря на то, что объем корпоративного финансирования нанотехнологий в США самый высокий, в сравнении с любой другой страной, в период с 2005 по 2006 год он вырос всего на 9%; в то время как другие ведущие игроки, такие как Япония и Южная Корея, увеличили этот показатель на 29% и 30%,

¹ Стартап (англ. Start-up) – устоявшееся наименование для новых инновационных компаний

² Дотком (англ. Dotcom) - наименование коммерческих Интернет-компаний, возникшее от расширения их Интернет адреса - .com (точка - dot); в свое время было создано огромное количество этих компаний, но многие из них оказались дутыми, что привело к кризису

соответственно, а общее увеличение в мире составило 19%. Но этот показатель (объем национального финансирования) неоднозначен. Это связано с глобализацией наноисследований. Так, германский химический гигант *BASF* анонсировал заключение соглашения с сингапурской компанией *NanoMaterials Technology* о совместных разработках наночастиц цинкида, а американская *Dow Corning* установила стратегическое партнерство с германским разработчиком наночастиц компанией *Nanogate*; *General Electric* установила оборудование для наноисследований в Китае и Индии; материаловедческий гигант *Rohm & Hass* открыл технический центр на Тайване; ирландский разработчик лекарств *Elan* сотрудничает с американскими компаниями *Merck* и *Abbott*.

Появились сообщения, что США могут уступить первенство в нанотехнологиях развивающимся экономикам, например Китаю. В обзоре компании *Lux Research*, озаглавленном «Китай второй после США в нано», утверждается, что некоторые страны, включая Китай, начинают теснить ведущие нации, такие как США и Япония. При этом США по-прежнему остается самым большим транжирой в области нанотехнологий. Китай занимает 6-е и 5-е место в мире по государственному и корпоративному финансированию наноразработок, соответственно. Китай сфокусировался на малозатратных разработках, таких как наноструктурированные материалы и различные химические реактивы, но в этих областях ожидается меньшая прибыль, чем, например, в биотехнологиях.

В обзоре *Lux Research* страны ранжированы по способности преобразовывать наноинновации в коммерческий продукт: Япония, Германия, Южная Корея в совместных разработках с США сильны и в исследованиях, и в коммерции; Китай совместно с Великобританией и Францией в исследованиях; Сингапур, Тайвань и Израиль имеют большой потенциал в производстве.

Инвесторам, прочесывающим нанотехнологическую информацию в поисках прибыльных вложений, полезно сориентироваться на многонациональные объединения, способные проводить глубокие фундаментальные исследования в области нанотехнологий. Вложив в них на начальной стадии, инвесторы могут в будущем не только преуспеть в создании инновационных продуктов, но и навести мосты для глобального нанорынка.

Сегодняшние государственные и корпоративные супервложения в нанотехнологии могут серьезно продвинуть широкие фундаментальные исследования и, возможно, не так уж важно, приведут ли они к созданию новых инновационных нано-, микро- или макроизделий.

http://www.nanotoday.com/pdfs_nanotoday_04_2007/articles/nano_v2_4_opinion01.pdf

<http://www.thestreet.com/newsanalysis/general/10347242.html?puc=tscs>

Информационный Инкубатор Инновационных Идей («Система 4i»)

Формирование сбалансированного сектора исследований и разработок, обеспечивающих превращение научного потенциала в один из основных ресурсов устойчивого экономического роста, делает очевидным необходимость сбора инновационных предложений от сотрудников и их использования для повышения конкурентоспособности организации на основе передовых технологий. Однако на практике интеллектуальный потенциал сотрудников, как правило, используется далеко не в полной мере. Во многом это связано с отсутствием эффективных систем управления корпоративным инновационным процессом.

В этой связи группа компаний «ТЕКОРА» создала информационную систему поддержки процессов ввода и авторской обработки предложений, включая оценку их пригодности для организации, рентабельности и реализуемости.

Кроме того, «Система 4i» позволяет сотрудникам высказать свои суждения по поводу любого предложения. Участие сотрудников в коллективном обсуждении отличается свободой выбора предложений для ознакомления и их открытой или анонимной оценки. Отсутствие жестких формальных требований и ограничений на действия сотрудников при обсуждении создает идеальные условия для получения неискаженных данных о значимости предложений.

В результате использования «Системы 4i» формализуется инновационный процесс, позволяя успешно управлять бесперебойным конвейером идей, экспериментов и проектов, а также обеспечивается непрерывный мониторинг корпоративных проблем.

Ознакомительная версия «Системы 4i» размещена по адресу: <http://www.4ionline.ru>

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

Научный редактор К.Кугель

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

В подготовке выпуска принимали участие: А.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенов,

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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