

НАНОСТРУКТУРЫ

Нанолегирование

Широкое использование полупроводников в различных устройствах основано на возможности изменять концентрацию носителей заряда (электронов или дырок) путем легирования – введения примесных атомов. Бурное развитие нанoeлектроники ставит вопрос о разработке способов контроля физико-химических свойств полупроводниковых наноструктур. Казалось бы, осуществить это можно за счет все того же легирования. Однако наночастицы “сопротивляются” добавлению в них примесей: с одной стороны, имеют место процессы “самоочищения” нанокристаллов от примесей, а с другой – если примеси и удастся внедрить, они сильно искажают кристаллическую структуру в своей окрестности, что приводит к деградации электрических и магнитных характеристик нанокристаллов.

Сотрудники Naval Res. Lab. и Univ. Minnesota (США) в работе, опубликованной в *Nature* (2005, 436, 91), показали, что проблемы с нанолегированием обусловлены фундаментальным различием механизмов, регулирующих включение примесей в объемные материалы и в наночастицы. Если в макроскопических твердых телах ключевую роль играют термодинамические соображения (именно они, в частности, накладывают ограничения на предельную равновесную концентрацию примесей), то в наноструктурах все определяется кинетикой, и в первую очередь – поверхностной кинетикой. Согласно развитой авторами теории (и подтвержденной ими же экспериментально), примесь может попасть внутрь нанокристалла только в том случае, если она способна закрепиться на его поверхности в течение времени, достаточного для формирования нового поверхностного слоя. Поэтому, в отличие от объемных образцов, на первый план выходит не равновесная термическая диффузия примесных атомов, а сила их сцепления с теми или иными гранями растущего нанокристалла, которая количественно характеризуется величиной энергии связи. Основываясь на результатах своих расчетов и варьируя соответствующим образом ориентацию граней (путем изменения химического состава раствора), авторы изготовили нанокристаллы *CdSe*, легированные марганцем, чего ранее сделать никому не удавалось. Указанная работа открывает путь к созданию огромного числа новых типов полупроводниковых наноструктур для самых различных приложений – от солнечных батарей до спинтроники.

Л.Опенев

Проводимость квантовых точек и фаза

Измерение фазы в когерентных электронных системах (то есть в “мезоскопических” системах – таких, как квантовые точки) может дать полезную информацию об их фундаментальных транспортных свойствах и существенно дополнить данные, получаемые при измерении проводимости. Недавние исследования обнаружили универсальный характер изменения фазы волновой функции электрона, туннелирующего через квантовую точку. Было показано, что в режиме кулоновской блокады фаза сначала монотонно увеличивается на π по мере достижения каждого пика проводимости,

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ

- 2 Частотная гребенка в жестком ультрафиолете

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 2 Прозрачный листовый материал из углеродных нанотрубок
3 Сенсор на углеродных нанотрубках

У NOT?

Управляемое быстрое вращение нанопроволок

- 4 Контроль нанотрубок по диаметру методом фотоэлектронной спектроскопии
5 Смачивание углеродных нанотрубок органическими жидкостями

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 5 Такие сложные сильно коррелированные системы

НОВОСТИ ФИЗИКИ В БАНКЕ ПРЕПРИНТОВ

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 6 Кремний. От первой ИС Дж. Килби к Pentium 4 и дальше...
8 Суперкомпьютеры. Япония стремится взять реванш

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 8 В DESY настроили для экспериментов электронный лазер
8 Смена приоритетов на американских синхротронах

а затем быстро падает до исходной величины – независимо от формы и размера точки. Найти удовлетворительное объяснение такой универсальности долго не удавалось. В работе [1] обнаружено, что ее и не существует. Просто во всех предыдущих экспериментах использовали квантовые точки со сравнительно большим числом локализованных в них электронов N_{el} . А когда те же самые измерения были выполнены для точек с $N_{el} = 1 \div 20$, то оказалось, что изменение фазы универсально лишь при $N_{el} > 14$, в то время как при малых N_{el} наблюдаются различные мезоскопические особенности, нарушающие универсальность. Наибольший интерес представляет переходная область $N_{el} \sim 10$. Ее изучение позволит лучше разобраться в особенностях эволюции фазы при прохождении электроном квантовой точки.

1. *Nature* 2005, 436, 529

Частотная гребенка в жестком ультрафиолете

За последние 5 - 10 лет комбинация прецизионных спектроскопических методик со сверхбыстрыми лазерами способствовала ряду примечательных достижений. Так, например, создание частотной “гребенки” (набора равноотстоящих друг от друга спектральных линий) фемтосекундного лазера привело к революции в измерении оптической частоты, что позволило сконструировать оптические атомные часы, а также сделало возможным контроль формы коротких лазерных импульсов и генерацию аттосекундных импульсов. Об очередном прорыве в этой области сообщил журнал *Nature* [1]. Группа немецких физиков (Max-Planck-Inst. Quantenoptik и Ludwig-Maximilians-Univ., Мюнхен) разработала способ генерации когерентного излучения в далекой УФ области спектра с частотой повторения импульсов $\omega_r > 100$ МГц. Это сразу на три порядка превышает предыдущую рекордную величину ω_r , что дает возможность еще более повысить точность спектроскопического анализа и вплотную заняться УФ-голографией, УФ-микроскопией и т.д.

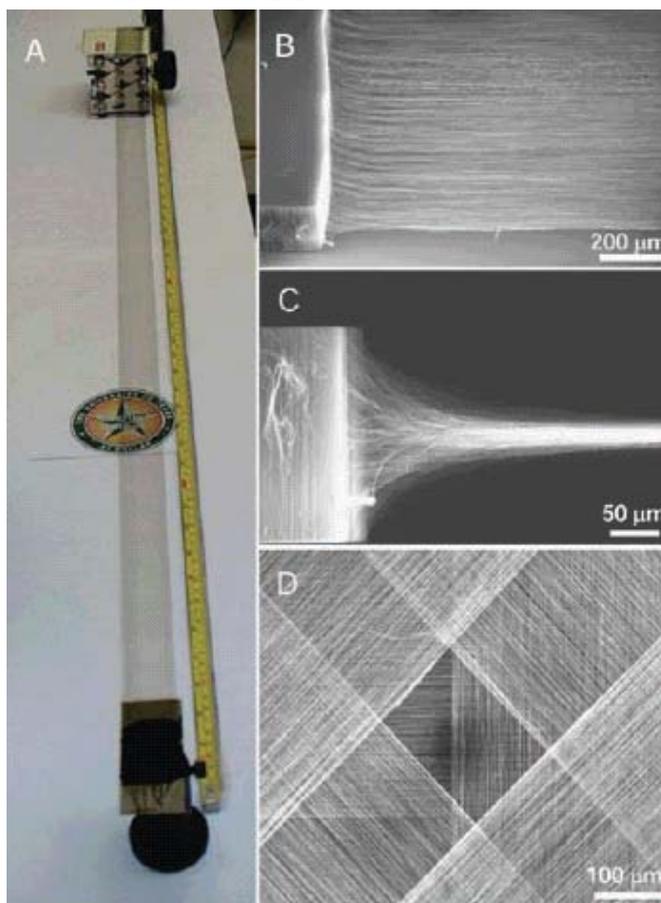
1. *Nature* 2005, 406, 234

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Прозрачный листовый материал из углеродных нанотрубок

Высокие механические характеристики углеродных нанотрубок (УНТ) делают их перспективными для создания нового класса уникальных материалов. ПерсТ (2005, 12, вып. 5, см. http://perst.issph.kiae.ru/Inform/index_tem.htm) сообщал о получении из УНТ пряжи, обладающей высокой прочностью на разрыв - 250 – 460 МПа/(г/см³). Оказалось, что из нанотрубок можно изготовить и не менее прочную ткань, что и сделали в совместной работе американские (NanoTech Institute при Univ. Texas at Dallas) и австралийские (Commonwealth Scientific and

Industrial Research Organization Textile & Fibre Technology) ученые [1].



В качестве исходного материала они использовали высокоориентированные многослойные нанотрубки диаметром ~ 10 нм и длиной от 70 до 300 мкм, синтезированные термokatалитическим разложением ацетилена. Массив нанотрубок высотой 245 мкм, напоминающий траву, вытягивали вручную со скоростью ~ 1 м/мин в лист площадью ~ 500 см² и поверхностной плотностью 2.7 мкг/см² (что соответствует массовой плотности материала 0.0015 г/см³). Если это делать не вручную, а с использованием механических приспособлений, то скорость вытягивания полотна становится промышленной (до 10 м/мин). Для получения полотна длиной 3 м и шириной 5 см достаточно использовать массив нанотрубок длиной 1 см и высотой 245 мкм. Толщина полотна определяется высотой нанотрубок в массиве: для массива нанотрубок высотой 245 мкм толщина составляет 18 мкм. Два полотна, соединенные вместе, легко удерживают каплю воды, масса которой в 50000 раз превышает массу материала, находящегося в контакте с каплей. Существенное повышение массовой плотности полотна достигается при его погружении в жидкость (например, этанол) и просушивания. При испарении жидкости под действием сил поверхностного натяжения полотно сжимается до толщины ~ 50 нм (что соответствует массовой плотности 0.5 г/см³).

Измерения показывают, что уплотненное УНТ полотно обладает высокой прозрачностью по отношению к видимому и ИК излучению. Прозрачность возрастает с увеличением длины волны излучения и

достигает 90% для длин волн излучения больше 1мкм. При прохождении через полотно излучение приобретает поляризацию, степень которой составляет 0.71 для $\lambda = 500\text{нм}$ и 0.74 для $\lambda = 780\text{нм}$. Удельное электрическое сопротивление такого полотна составляет порядка 10кОм/см^2 . Сочетание высокой прозрачности и хорошей электропроводности делает УНТ полотно перспективным для применения в мониторах, видеомагнитофонах, солнечных батареях и твердотельных источниках света.

Наряду с высокими оптическими и электрическими характеристиками, УНТ полотно обладает рекордными механическими свойствами. Так, удельная прочность на растяжение полотна, составленного из 18 УНТ слоев, достигает величины $465\text{МПа}/(\text{г/см}^3)$. Это существенно превосходит соответствующие параметры сверхпрочной стали ($125\text{МПа}/(\text{г/см}^3)$) и алюминиевых сплавов ($\sim 250\text{МПа}/(\text{г/см}^3)$).

А.В.Елецкий

1. *Science* 2005, **309** 1215

Сенсор на углеродных нанотрубках

Способность углеродных нанотрубок (УНТ) изменять электронные характеристики в присутствии на поверхности сорбированных молекул может быть положена в основу сверхминиатюрного химического сенсора, позволяющего определять наличие и состав загрязняющих газообразных веществ в атмосфере. В литературе описаны различные подходы к созданию подобного сенсора, которые отличаются друг от друга механизмом воздействия примесей на электрические параметры УНТ. Новый механизм такого воздействия описан в недавней публикации сотрудников Naval Research Laboratory (США). В качестве основы сенсора авторы использовали химический конденсатор, содержащий однослойные УНТ диаметром около 1нм. Электрически связанную сеть нанотрубок выращивали на кремниевой подложке методом химического парофазного осаждения. Верхним электродом служил осажденный на поверхность сети УНТ слой ванадия площадью $2 \times 2\text{мм}^2$, а нижним электродом – кремниевая подложка.

Насыщенный пар *N,N*-диметилформамида смешивали с сухим воздухом при температуре 25°C . Измерения емкости химического конденсатора, образованного сетью УНТ и кремниевой подложкой, в присутствии примесного вещества, проводили при переменном напряжении частотой 30кГц и амплитудой 0.1В. При приложении к конденсатору напряжения величиной 0.1В вблизи поверхности нанотрубки образуется электрическое поле напряженностью до 10^6В/см . Это поле вызывает поляризацию адсорбированных на поверхности УНТ молекул *N,N*-диметилформамида, что, в свою очередь, приводит к изменению электрической емкости химического конденсатора. Результаты измерений указывают на линейную зависимость относитель-

ного изменения электрической емкости от концентрации примеси в диапазоне от 0.015% до 0.15%. Результаты измерений полностью воспроизводимы.

С помощью изготовленного сенсора также измерили концентрации 20 сложных органических соединений (бензол, гексан, гептан, толуол, трихлорэтилен, хлороформ, трихлорэтан, метиловый, этиловый и изопропиловый спирты, этанол, хлорбензол, дихлорбензол, тетрагидрофуран, этилацетат, ацетон, диметилфосфонат, динитротолуол) и показали, что чувствительность сенсора по отношению к некоторым молекулам (ацетон, диметилфосфонат) возрастает примерно на 3 порядка после покрытия УНТ сети тонким слоем (около 100нм) карбосилана, обладающего хемоселективными свойствами. При этом минимальный детектируемый уровень концентрации указанных соединений составляет 5×10^{-7} и 5×10^{-10} , соответственно, что значительно ниже, чем в случае использования стандартных коммерческих сенсоров.

Важной особенностью нового сенсора является малое время отклика, не превышающее 4с. Тем самым разработанная конструкция представляет собой высокоэкономичный чувствительный малоинерционный сенсор, по всем показателям превосходящий коммерческие устройства аналогичного назначения.

А.В.Елецкий

1. *Science* 2005, **307**, 1942

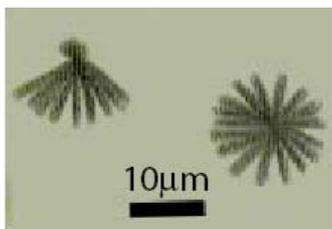
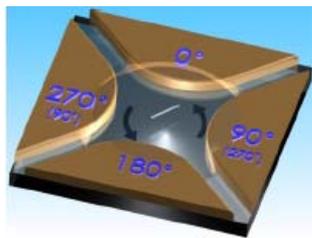
Y NOT?

Как сообщает Nature (2005, **436**, 892) со ссылкой на публикацию *Nature Mater.* (10.1038/nmat1450 (2005)), Р. Bandaru с коллегами (Univ. California, San Diego) изготовили первый электрический переключатель полностью из углеродных нанотрубок – ток, протекающий в пересекающихся ветвях нанотрубки Y-формы может переключаться приложением напряжения к третьей ветви. Это позволяет использовать нанотрубки Y-формы для создания логического вентиля NOT.

Управляемое быстрое вращение нанопроволок

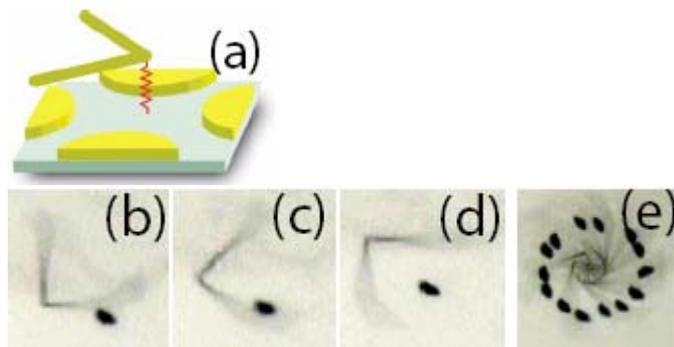
Для обеспечения ряда нанотехнологических исследований часто возникает необходимость манипулирования наночастицами. Известные конструкции оптических нанопинцетов могут работать в воде и только с одной наночастицей, и медленно.... В поисках более гибкого решения сотрудники Johns Hopkins University (США) изготовили наномотор из металлических нанопроволок, управляемый приложенным переменным электрическим полем. Нанопроволочки из золота, никеля, платины 300нм в поперечнике и длиной от 2 до 30мкм формировали электроосаждением в нанопористом трафарете из окиси алюминия. Затем эту форму растворяли в щелочи, а нанопроволочки длиной 15мкм отмывали УЗ в воде и этаноле и помещали в деионизованную

воду с проводимостью 2.4мкСименс/см. На кварцевой подложке с помощью лазера формировали четыре золотых электрода для управления образцом с зазорами 150 и 320мкм (см. рис.). На них наносили 2-4мкл деионизованной воды.



На электроды подавали напряжение (2.5В; 80кГц) со сдвигом по фазе на 90° между соседними электродами. Вращение золотых проволочек в переменном поле, как свободных, так и связанных одним концом с подложкой, наблюдали и измеряли с помощью оптического микроскопа с видеосистемой при частоте 30 кадров в секунду. Отмечено, что

волокни вращались с большей скоростью на **нанопронаковых** режимах питания, как показано на рис. б (съемка с интервалом 1/30с, 2.5В, 80кГц). Скорость вращения зависит квадратично как от амплитуды питающего тока, так и частоты. Достигнута скорость вращения 1803 и 4450об/мин для свободных и закрепленных нанопроволочек, соответственно. Скорость вращения свободных нанопроволочек быстро увеличивается с ростом частоты сигнала до 50Гц и затем медленно снижается в диапазоне частот 50-300Гц. Малое число Рейнольдса ($\sim 10^{-5}$) для нанопроволочек в воде позволяет точно задавать и очень быстро достигать постоянную скорость вращения, менять направление вращения, управлять вращением нанопроволочек с помощью переменного сигнала, задавать полный угол вращения. Скорость вращения нанопроволочек из золота, платины, никеля и углеродных нанотрубок (длиной 5мкм, диаметром 50нм) тоже линейно возрастала с квадратом напряжения на электродах, но с разным наклоном, согласующимся с проводимостью материала. Проведенные эксперименты подвели авторов к сборке макета наномотора, суть которого и использование видны из следующего рисунка.



Изогнутая под углом 90° нанопроволочка (золото), связанная ковалентной связью с кварцевой подложкой, является ротором наномотора. Четыре элект-

рода питания образуют «статор». При подаче вращающего напряжения 10В с частотой 20кГц на электроды пылинки захватываются концами «ротора» (длина их около 16мкм), перемещаются, случайно теряются. На последнем снимке видны последовательные положения пылинки по мере ее продвижения «ротором».

Разработанная конструкция может использоваться для перемещения малых частиц, для изучения движения микроорганизмов, для различных микро-электромеханических приборов.

1. *Phys. Rev. Lett*, 2005, **94**, 247208

Контроль нанотрубок по диаметру методом фотоэлектронной спектроскопии

Одна из серьезных проблем на пути внедрения углеродных нанотрубок (УНТ) связана со значительным разбросом их параметров при использовании стандартных методов синтеза. Отдельную задачу представляет и само измерение степени разброса. В случае однослойных УНТ эффективный метод измерения распределения УНТ по диаметру - спектроскопия комбинационного рассеяния, чувствительная к величине «радиальных дышащих колебаний». Однако этот метод неприменим для многослойных УНТ. Группа исследователей из университетов Швейцарии и Испании установила [1] зависимость электронных характеристик углеродной нанотрубки от степени кривизны ее поверхности, что может быть положено в основу метода определения распределения нанотрубок по диаметру. При этом собственно измерение электронных характеристик УНТ производится методами рентгеновской и УФ фотоэлектронной спектроскопии.

В эксперименте образцы многослойных УНТ выращены методом термокатализитического разложения ацетилена в присутствии *Fe* катализатора на подложке *Si/SiO₂*, покрытой тонким буферным слоем *Al₂O₃*, *TiN* либо *TiO₂*. В качестве источника рентгеновского излучения использовали линию *K_α* атома *Mg*, а в качестве источника УФ излучения - резонансные переходы атома и иона *He* с энергией 21.2 и 40.8эВ, соответственно. Энергетические спектры вторичных электронов, возникающих в результате облучения образцов рентгеновским либо УФ излучением, могут быть представлены как суперпозицию нескольких спектров, каждый из которых соответствует нанотрубкам определенного диаметра. Тем самым спектры несут информацию о распределении нанотрубок, входящих в состав образца, по диаметрам.

Обнаружена зависимость характера распределения от типа подложки. Так, средний диаметр нанотрубок, выращенных на подложках из чистого кремния, составил 5.8нм, в то время как на подложках с буферным слоем *Al₂O₃*, *TiN* либо *TiO₂* средний диаметр составлял 7.1, 14.2 и 19.7нм, соответственно. Распределение, полученное при обработке спек-

тров, сравнивали с соответствующим распределением, полученным из прямых наблюдений в просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения. Хорошее соответствие данных, полученных двумя методами, свидетельствует о пригодности методов электронной спектроскопии для определения геометрических характеристик многослойных углеродных нанотрубок.

А.В.Елецкий

1. *Phys. Rev. B* 2005, 71, 205416

Смачивание углеродных нанотрубок органическими жидкостями

Благодаря высокой удельной поверхности (рекордной среди известных материалов) и наличию внутренней полости углеродные нанотрубки (УНТ) рассматриваются как удобное хранилище для газообразных, жидких и твердых веществ. Заполненные различными материалами нанотрубки - привлекательный объект как фундаментальных (особенности поведения веществ нанометрового масштаба), так и прикладных (эффективные электрохимические устройства) исследований. При этом существенное значение имеет характер смачивания стенок нанотрубки жидкими материалами, который определяется величиной и знаком поверхностного взаимодействия. Недавно группа сотрудников Вейцмановского института (Израиль) выполнила серию экспериментов по установлению механизма и характера взаимодействия органических жидкостей и воды с поверхностью углеродных нанотрубок. В эксперименте использовали образцы многослойных УНТ длиной ~1мкм и диаметром 20, 40 и 60нм, очищенные азотной кислотой. Для исследования индивидуальные нанотрубки, прикрепленные к наконечнику атомного силового микроскопа, погружали в полиэтиленгликоль, глицерин и воду - жидкости, обладающие существенно различающимися величинами поверхностного натяжения (48.3, 64.0 и 72.8мДж/м², соответственно). Кроме того, эти жидкости растворяются одна в другой, так что остаточное содержание одной жидкости не должно изменить результаты эксперимента, выполненного с другой. Энергию смачивания определяли на основании измерения силы, возникающей при погружении нанотрубки в жидкость. Измерения указывают на гидрофильные свойства УНТ по отношению ко всем исследованным жидкостям. При этом для всех жидкостей обнаружено уменьшение угла смачивания с ростом диаметра нанотрубки. Как следует из экспериментальных данных, энергия взаимодействия нанотрубок с водой в несколько раз превышает соответствующую величину для полиэтиленгликоля и глицерина. Поскольку различие энергий поверхностного натяжения воды и указанных жидкостей не столь велико, этот результат можно объяснить эффектом проникновения воды во внутреннюю полость нанотрубки.

1. *Phys. Rev. B* 2005, 71 115443

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Такие сложные сильно коррелированные системы

Вещества с сильным межэлектронным взаимодействием демонстрируют большое число интересных явлений, включая колоссальное магнитосопротивление и высокотемпературную сверхпроводимость. На первых порах казалось, что их свойства удастся объяснить путем надлежащей модификации известных теорий. Однако накопленный за последние годы экспериментальный материал свидетельствует о том, что многие из таких веществ являются неоднородными на наномасштабе. Поэтому и потерпели неудачу все попытки их описания в рамках моделей, развитых для однородных систем. В обзоре Elbio Dagotto [1] высказывается мнение, что к сильно коррелированным системам нужно подходить с позиции теории "сложных систем", в которых существенны нелинейные эффекты, имеется тенденция к самоорганизации и спонтанному формированию различных электронных структур, и в которых несколько состояний с близкими энергиями конкурируют между собой (как в манганитах - металлическое ферромагнитное состояние с диэлектрическим антиферромагнитным, а в ВТСП - сверхпроводящее с псевдощелевым). В условиях конкуренции разных фаз особую роль начинает играть беспорядок, который теперь уже нельзя рассматривать как просто возмущение - он качественно изменяет характеристики материала. Поэтому двух координат (температуры и концентрации носителей) недостаточно для обсуждения фазовой диаграммы, следует добавить еще и третью ось - степень беспорядка. Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования этих удивительных соединений могут привести к выработке новых физических концепций и парадигм.

1. *Science* 2005, 309, 257

НОВОСТИ ФИЗИКИ В БАНКЕ ПРЕПРИНТОВ

Долгоживущая квантовая память

Сотрудники Национального института стандартов и технологий (США) экспериментально продемонстрировали "квантовую память" с макроскопически большим временем жизни. Роль кубитов играли сверхтонкие состояния ионов ⁹Be⁺ в магнитном поле с $B = 0.01194$ Тл. Время сохранения когерентности физического кубита превышает 10 секунд - в сто тысяч раз больше, чем в предыдущих экспериментах. Такой же порядок имеет и время декогеренции логического кубита, представляющего собой запутанное состояние двух физических кубитов.

C. Langer et al., <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0504076>

Contact: Christopher Langer
<clanger@boulder.nist.gov>

Гравитационные ограничения на квантовые вычисления

Ранее Lloyd, проанализировав фундаментальные ограничения на быстродействие квантовых вычислений, показал, что для квантового компьютера объемом 10^3 кубических сантиметров и массой 1 килограмм предельное число операций составляет 10^{51} в секунду. Он, однако, исходил из законов обычной квантовой механики. Учет дополнительных ограничений, накладываемых эффектами квантовой гравитации, дает “всего лишь” 10^{47} операций в секунду. Ну что ж, и это неплохо...

[Rodolfo Gambini et al.](http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0507262), <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0507262>

Contact: Jorge Pullin <pullin@phys.lsu.edu>

Математическая теория цитирования

Недавно авторы препринтов (cond-mat/0212043, cond-mat/0305150) предложили модель распределения ссылок на научные работы по годам и авторам, основанную на двух предположениях: 1) одна часть статей для ссылок выбирается достаточно случайным образом из литературы по данной тематике; 2) другая (основная) часть представляет собой ссылки, уже имеющиеся в выбранных статьях. Эта модель позволила количественно объяснить некоторые из эмпирически наблюдаемых особенностей распределения ссылок. Некоторые, но не все. В частности, оставалось необъясненным уменьшение среднего количества ссылок на статью по мере ее “старения”. Теперь авторы слегка подлучшили свою модель, приняв во внимание, что исходная случайная выборка делается из числа *недавних* публикаций. Используя для анализа теорию ветвящихся процессов, они устранили имевшиеся противоречия. Их модель позволяет, в частности объяснить часто встречающийся эффект “отложенного спроса” на научные идеи: резкий рост ссылок после долгих лет забвения.

[M.V. Simkin and V.P. Roychowdhury](http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0504094),
<http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0504094>

Contact: Mikhail Simkin <simkin@ee.ucla.edu>

Физика и общество

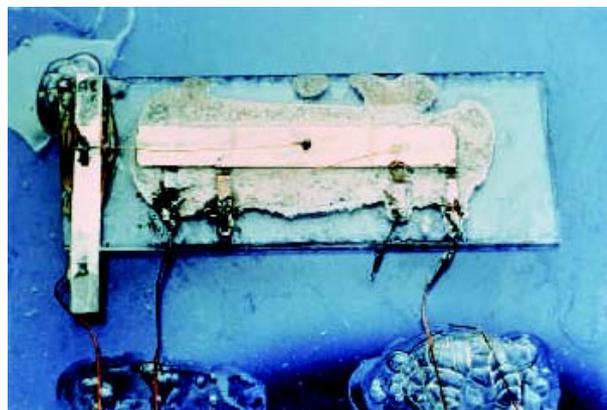
Стандартными методами, которые используются для решения сугубо физических задач, изучена динамика изменения функции распределения членов общества (“экономических агентов”) по уровню их благосостояния. Пики этой функции соответствуют различным экономическим классам. Показано, что эволюция функции распределения со временем существенно зависит от начальных условий. Интересно, что при некоторых величинах исходной ширины пиков возникает неустойчивость и в конечном итоге происходит расслоение общества на богатых и бедных, отделенных друг от друга глубоким ми-

нимумом, то есть, другими словами, исчезает средний класс.

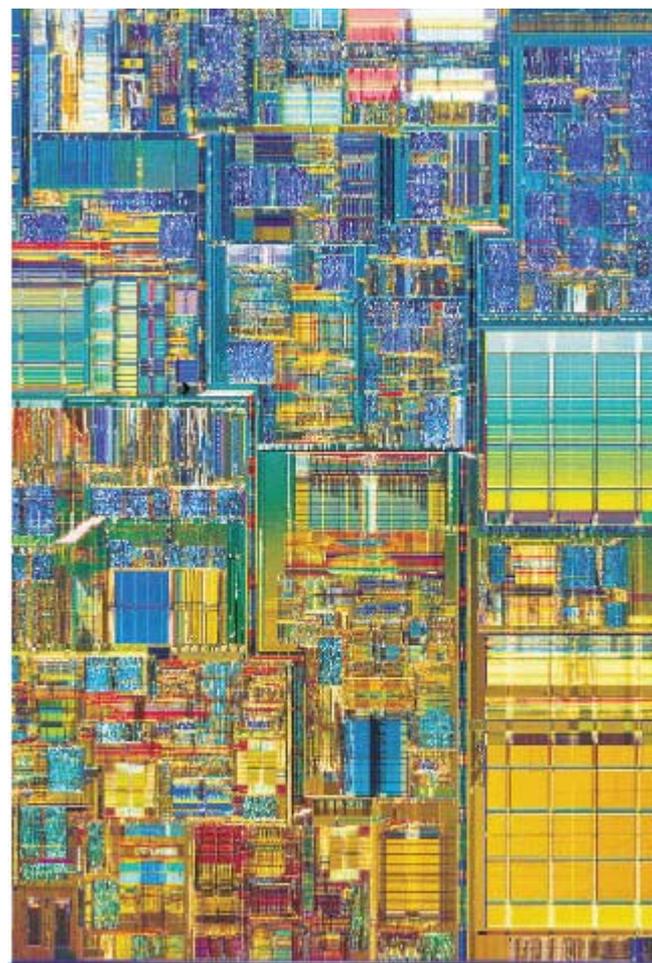
[M. F. Laguna et al.](http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0505157),
<http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0505157>, to be published in *Physica A*.

Contact: J.R.Iglesias <iglesias@if.ufrgs.br>

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК Кремний. От первой ИС Дж. Килби к Pentium 4 и дальше...



Первая ИС, изобретенная Дж. Килби



Микропроцессор Pentium 4

В июне с.г скончался Jack Kilby (Джек Килби), инженер из Texas Instruments, создавший в 1958 г. первую интегральную схему и получивший в 2000г. за это Нобелевскую премию по физике. Родившаяся на его идее технология кремниевых чипов будет

жить еще долго и повсеместно. К такому выводу вновь пришли в 2005 году авторы «Международной маршрутной карты в области полупроводниковой технологии» (International Semiconductor Technology Roadmap), которые собрались в Сан-Франциско 13 июля с.г. на свою очередную встречу. Маршрутная карта, в разработке которой принимают участие до 1000 специалистов, издается каждые 2 года и призвана указать пути развития и достижимые пределы в разных областях полупроводниковой технологии (расставить «красные флажки») на последующее двухлетие. Важность карты неизмерима – она задает минимальный достижимый предел размеров элементов, специалисты по схемам и устройствам «заложат» этот предел в свои новые разработки. В группу авторов Карты входят представители остро конкурирующих между собой полупроводниковых компаний, при этом их задача – достичь компромисса в оценке перспектив.

Современный компьютерный мир во многом обязан кремниевым КМОП схемам. Новая Карта содержит ожидание производителей, что КМОП достигнут абсолютного предела в параметрах примерно к 2020 году. Ralf Cavin, один из авторов Карты, заявил: «Маршрутная карта 2005 г. уделяет много внимания альтернативам, но не нужно заблуждаться, КМОП намерены надолго быть с нами... Мы ещё не нашли замену логическим схемам, которая превзошла бы КМОП». Но Cavin уверен - устройствам памяти вполне возможна жизнеспособная альтернатива уже в ближайшее время.

Раздел Карты - «Архитектура появляющихся исследований» - представляет несколько подходов, в которых возможно рождение и новой логики - это, прежде всего, квантовые вычисления, подходы на основе биологических принципов и клеточные автоматы.

Вероятно, наиболее часто все слышат о квантовых компьютерах. Однако, Victor Zhirnov, инженер компании Semicond. Res. Corp. и член «маршрутной» группы по разделу новейших устройств, смотрит скептически на реалистичность их перспектив - за прошедшие 5 лет появилось множество публикаций по «квантовым вычислениям», но 90% из них – теоретические». На предыдущем «маршрутном сборе» в 2003 г. перспективы квантового компьютера оценивали в равной степени резко. В частности полагали, что его работа обусловлена волновыми функциями, «когерентность которых легко нарушается при взаимодействии с окружением. Несмотря на чрезвычайные способности нескольких избранных алгоритмов (таких как кодирование или глубокий поиск в базах данных) квантовый компьютер еще не стал объектом более широкого интереса». Другой инженер-физик из компании Semicond. Res. Corp. - Jim Hutchby, председатель группы, также считает, что вариант квантового компьютера в ближайшие годы «еще не заиграет в полную силу». Zhirnov в большей степени полагается на биологические подходы - «Лично я верю, что мы должны

ПерсТ, 2005, том 12, выпуск 17

сфокусироваться на том, как работает мозг», восхищаясь феноменальной обрабатываемой мощностью и экономным расходом «топлива» в человеческом мозге, «но наше понимание его архитектуры пока эмбрионально». Zhirnov надеется, что маршрутная разработка поможет придать особое значение междисциплинарным связям между инженерами и нейроспециалистами.

Другой перспективный подход для некоторых компьютерных функций – клеточные автоматы, суть которых во взаимодействии наномасштабных элементов (электростатически связанных квантовых точек или связанных наномангнитов) в большой решетке. Авторы маршрутной карты видят потенциал этого подхода в специальном приложении, таком как распознавание образов.

В структуре направлений исследуется также без конца дебатруемый вопрос, какая альтернатива кремниевым чипам может быть более терпима к дефектам. Потрясающе высокая надежность твердотельных кремниевых схем представляется «едва ли не самым важным аспектом КМОП», - говорит Bob Doering (Texas Instruments), сопредседатель регламентной группы. Надежность же альтернатив вызывает гораздо меньшую уверенность. Из Карты 2003 года следует, что для каждого работающего наноприбора нужно иметь от 1000 до 10000 резервных, чтобы обеспечить надежную работоспособность всей схемы, хотя эта точка зрения оспаривается и в этом году может быть не столь устойчива. Кроме того, есть еще тепловыделение, которое для современных КМОП микропроцессоров уже оказывается серьезным осложнением. КМОП скоро будут работать вблизи теоретического предела, свойственного любому варианту схем, имеющих дело с движущимися зарядами.

Расклад перспективных направлений – это уникальное глобальное явление, в котором ожесточенные конкуренты из разных фирм пытаются достичь согласия, объективности для взаимной пользы своего частного бизнеса. Начало этому процессу положено в 1994г. ф. Sematech (Austin, шт. Техас, США). Сейчас – это международная коллаборация, привлекающая более тысячи инженеров и ученых. Однако создатели перспективной панорамы направлений не рассматривают ее, как задачу выбрать победителей из конкурирующих подходов (их главная функция – поднять красные флаги, как сигнал). Инженеры могут продолжать работать. Промышленности необходимо, однако, опознать, какие технологии следует поддержать. Ориентируясь на 2020г., совместно с Национальным научным фондом США по нанoeлектронике Sematech поддерживает студентов и проекты с новыми идеями. Интерес не будет сфокусирован на миниатюризации или повышении быстродействия ИС, как это было до недавних пор. Фокус будет на новой функциональности. Это будут, например, приборы, которые можно разместить на коже человека, чтобы управ-

лять его здоровьем или устанавливать связь между нервной системой человека и вычислительной машиной. Это будет новая функциональность, в которой КМОП уже не могут быть востребованы.

1. *Nature* 2005, 436, 22

Суперкомпьютеры. Япония стремится взять реванш

Осенью 2004 года японская Earth Simulator утратила свое мировое лидерство в суперкомпьютерах, уступив его IBM's BlueGene/L (США), который имеет максимальную скорость 140 млрд. вычислений в секунду (140 teraflops). Вернуть звание чемпиона намерена группа японских ученых из компании Toshiba, Univ. Tokyo и Inst. Physical & Chemical Research, анонсировавшая план создания суперкомпьютера с максимальной скоростью 10000 млрд. вычислений в секунду (10 petaflops). Они оценивают стоимость проекта в 700 млн. долл. и срок реализации – март 2011 года. Некоторые эксперты высказались скептически относительно реализуемости такого проекта. Tetsuya Sato, директор Earth Simulator, считает, что проект опирается на схемы, выходящие за пределы возможностей полупроводниковой технологии. В свою очередь, Sato строит планы усовершенствовать свою машину Earth Simulator, увеличив ее вычислительную производительность от сегодняшних 40-teraflops до 400-teraflops. Erich Strohmaier, ученый-компьютерщик из Lawrence Berkeley National Laboratory, считает, что основная трудность у такого суперкомпьютера будет связана с отводом тепла и потребляемой мощностью для более быстродействующего процессора, но в перспективе технологических достижений к 2011 году реально создать машину на 3 petaflops. Он не исключает достижения 10 petaflops при существенных системных усовершенствованиях архитектуры суперкомпьютера.

Японское правительство заявляет, что не будет щадить науку в связи с общим сокращением бюджета на 3% в 2006 году. Но Министерство образования Японии оптимистично надеется на увеличение финансирования на науку на 9.5% до 8.3 млрд. долл. в следующем (начинающемся в апреле) финансовом году в связи с разработками нового суперкомпьютера и рентгеновского лазера для кристаллографии белков.

1. *Nature* 2005, 436, 763

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В DESY настроили для экспериментов электронный лазер

Лазер на свободных электронах в лаборатории физики высоких энергий DESY (Гамбург, Германия) с 3 августа открыт для бизнеса. Комплекс стоимостью 117млн. евро (145млн. долл. США) вырабатывает интенсивные импульсы настраиваемого коротковолнового УФ излучения с длительностью от 10 до 50фс (1фс = 10^{-15} с). Импульсы излучения вырабатываются, когда траектория ускоренных электронов искривляется в поле обмотки, так что при каждом изгибе излучается вспышка. Не менее 200 ученых со всего света планируют использовать импульсы помимо всего прочего для прямого наблюдения образования химических связей и процессов, составляющих суть хранения данных в магнитных материалах.

1. *Nature*, 2005, 436, 766

Смена приоритетов на американских синхротронах

На каждом из источников - Advanced Light Source (ALS) в Lawrence Berkeley National Laboratory и Stanford Synchrotron Radiation Laboratory (SSRL), относящихся к Министерству энергетики США (DOE), планируют закрыть по одному каналу, чтобы освободить средства на новые проекты, например, для пучков большой яркости. Эти источники финансируются из средств DOE в объеме 1.1млрд. долл. через Ведомство фундаментальных исследований в области энергетики (Office of Basic Energy Sciences - BES), получившее добавку в 151млн. долл. новых ассигнований на расширение технической оснащенности исследований в наномасштабе и для начала работ на линейном когерентном источнике света в Станфорде, а также на источнике нейтронного пучка высокой плотности в Окридже (к всеобщей радости физиков, медиков и химиков). На ALS закрыт канал рентгеновской спектроскопии, используемый для диагностики пластин кремния в пользу новых методик исследования, которые оказались проще или лучше. Нанотехнология все более продвигается в биоматериалы.

1. *Science*, 2005, 309, 366

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РИЦ «Курчатовский институт» при поддержке
Программы Президиума РАН «Информатизация»

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

Научный консультант: К.Кугель e-mail: kugel@orc.ru

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

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

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