

Том 11, выпуск 24

В этом выпуске:

ПРОРЫВ

Первый кремниевый лазер!



Ноябрьский *Laser Focus World* сообщает, что в конце октября специалисты из Университета Калифорнии в Лос-Анжелесе (UCLA) продемонстрировали первый кремниевый лазер. Причины, по кото-

рым принято извещать о крупных результатах к концу года понятны – как за текущий год отчитаешься, так на следующий и профинансируешься! И нам ли не понимать эти маленькие хитрости, когда еще многие помнят, как крупные результаты подгадывали к праздникам и юбилеям! Так что даже эта маленькая деталь – срок появления новости – свидетельствует о весомости доложенного результата.

Последняя, казалось уже ушедшая, волна надежды на кремниевую оптоэлектронику была рождена ре-открытием пористого кремния и прокатилась через все 90-е годы. “Перст” с интересом отслеживал эту тематику. Кстати, наши постоянные читатели, наверное, помнят, что четыре года назад, и как раз об эту пору, были опубликованы результаты итальянских исследователей по обнаружению усиления излучения в дисперсной кремниевой среде (<http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst1.htm>, вып. 24). Этот результат тут же вошел в список десяти важнейших результатов 2000 года по физике. Однако, несмотря на этот и ряд других многообещающих результатов, пока ничего люминесцирующего из кремния, кажется, все-таки не производят.

Так что есть причины несколько сдерживать эмоции по поводу нового сообщения. Пока в прошедших сообщениях есть лишь комментарии самих авторов и их кураторов из DARPA, о том, как это важно и полезно для массы применений, в том числе военных. Правда, в одном из сообщений упомянуто, что лазер рамановский, что заставляет задуматься, не опять ли это лазер с оптической накачкой? С другой стороны, приводится микрофотография прибора (см. вставку), и на ней – какая-то типично инъекционная структура. Может быть, Новый год, который в этот раз провозглашен всемирным годом физики (!), откроет завесу этой жгучей тайны. Будем надеяться, конечно, что этот замечательный результат не из разряда одноразовых.

М.Компан

С Новым Годом, друзья, и пусть в 2005 году будет светиться не только кремний, но и Ваши глаза от радостных новых открытий!

30 декабря 2004 г.

И далее ...

СНОВА К ОСНОВАМ

- 2 Свет? Стоянка запрещена!

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 4 Атомное записывающее устройство для квантов света

НАНОСТРУКТУРЫ

- 5 Молекулярная плазмоника

Si наноизлучатели – гонка продолжается

- 6 Бездислокационные наностолбики светят лучше!

Оптическая левитация в Бесселевом световом пучке

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Мы давно вдыхаем углеродные нанотрубки?

ФИНАНСИРОВАНИЕ

- 8 Наступление карликов на большой рынок

- 9 Cadarache: более чем город-кандидат для ITER'а

- 10 Лабораторный модульный комплекс «ВТСП СКВИД»

СНОВА К ОСНОВАМ

Свет? Стоянка запрещена!

Иногда (особенно под Новый Год) бывает так приятно поверить в какое-нибудь чудо. Тем более, если это и не чудо вовсе, а экспериментальный факт, установленный серьезными учеными в ходе кропотливых исследований и описанный на страницах одного из лучших журналов мира. Три года тому назад была продемонстрирована возможность задержки светового импульса на $\sim 10^{-3}$ с в ячейке с парами ^{87}Rb , имеющей размеры ~ 1 см [1] (см. также сообщения - ПерсТ, 2001, **8** (1/2); 2003, **10** (21)), что сразу же окрестили “эффектом остановки света”, ведь ранее в обычных световых линиях задержки, даже очень длинных, удавалось задерживать оптические сигналы лишь на времена не более $\sim 10^{-7}$ с.

В работе [1] D.F.Philips, A.Fleishhauer, A.Mair, R.L.Walworth и M.D.Lukin исследовали воздействие циркулярно поляризованных “контрольного” и “сигнального” лазерных пучков, имеющих поляризацию соответственно σ_+ и σ_- , на ячейку с атомными парами. Сначала на среду в течение длительного времени действует контрольный пучок, формируя

тем самым “начальные условия” (участок 1 в верхней части рис. 1). Затем на короткое время ~ 10 мкс включается сигнальный пучок. При этом на выходе из ячейки он оказывается задержанным относительно времени входа. Действительно, из сравнения верхней и нижней части рис. 1 видно, что в то время как сигнального пучка на входе уже нет, его интенсивность на выходе еще не достигла своего максимума (задержка составляет ~ 30 мкс, что отвечает групповой скорости сигнального импульса ~ 1 км/с). Затем следует темновая пауза (участок 2 на рис. 1): на входе нет ни контрольного, ни сигнального импульса; нет их, естественно, и на выходе. Далее начинается самое интересное. Контрольный σ_+ -пучок включается вновь (участок 3 на рис. 1). Сигнального пучка на входе при этом нет, а на выходе он вдруг появляется!!! Авторы [1] интерпретируют этот эффект как “высвобождение” сигнального пучка, хранившегося в среде в течение всего темнового периода в пространственно сжатом состоянии. Изменяя длительность темновой паузы, они меняли тем самым и длительность “хранения” света, доводя ее до $\sim 10^{-3}$ с.

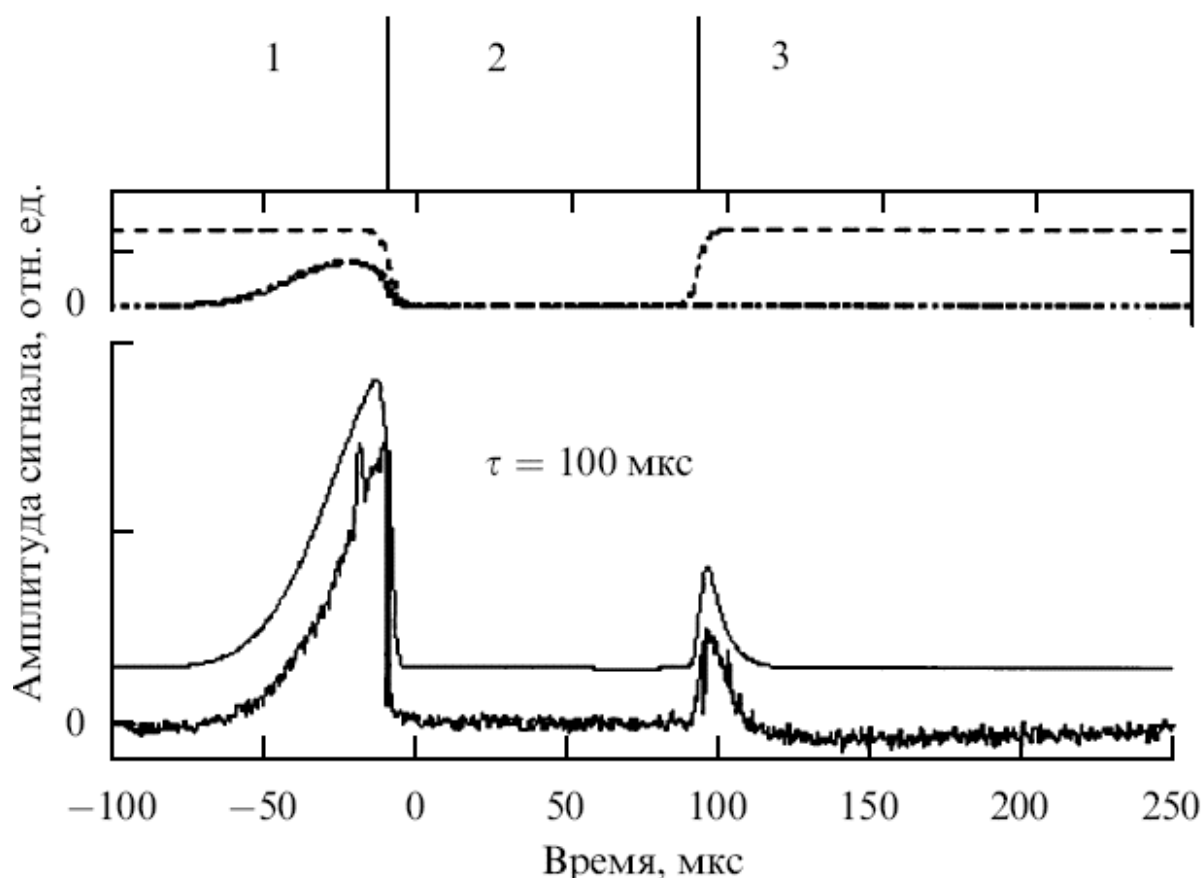


Рис. 1. *Вверху*: зависимости от времени интенсивностей контрольного (штриховая линия) и сигнального (пунктирная линия) лазерных лучей на входе в ячейку с парами ^{87}Rb [1]. *Внизу*: экспериментальная [1] (“зашумленная” кривая) и расчетная [3] (гладкая кривая, со сдвигом по вертикальной оси для ясности) зависимости от времени интенсивности сигнального лазерного луча на выходе из ячейки.

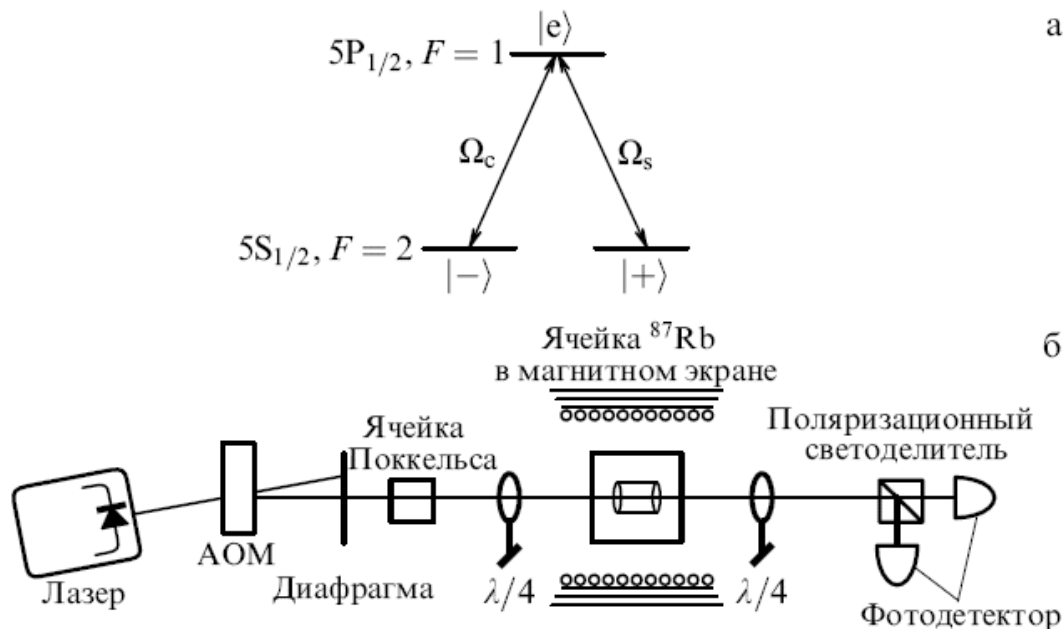


Рис. 2. (а) Упрощенная схема энергетических уровней атома ^{87}Rb , резонансно взаимодействующих с контрольным (Ω_c) и сигнальным (Ω_s) полями; (б) схема экспериментальной установки [1].

Вот такие чудеса... Надо ли говорить, что публикация [1] вызвала настоящий бум. Хотя это была далеко не первая работа по особенностям распространения света в области аномальной дисперсии, но именно она имела мощнейший резонанс и массу работ-повторений на других средах, в том числе и в активированных кристаллах. Она породила, по сути дела, новое направление исследований и даже была удостоена внимания средств массовой информации. В научный обиход прочно вошли новые термины "динамическое снижение групповой скорости" и "хранение света".

Но авторы [1], похоже, ошиблись. Нет, все, что касается собственно экспериментальных данных, сомнений не вызывает. Ошибочна авторская интерпретация результатов эксперимента, что убедительно продемонстрировано сотрудниками Всероссийского научного центра "Государственный оптический институт им. С.И.Вавилова" (Санкт-Петербург) Е.Б.Александровым и В.С.Запасским в недавней публикации [2] на страницах УФН. Вкратце, суть ошибки заключается в том, что в [1] ортогонально поляризованные контрольный и сигнальный пучки считались независимыми друг от друга, тогда как при одновременном воздействии этих пучков (то есть в течение действия сигнального импульса) излучение является не циркулярно, а эллиптически поляризованным, то есть имеет выделенную ось в плоскости фронта волны. Но при этом среда не обладает аксиальной симметрией, и для нее циркулярно поляризованные моды не являются собственными. Иными словами, контрольный пучок будет менять свое исходное σ_+ -поляризационное состояние и на выходе из среды окажется эллиптически поляризованным. После его разложения на базисные циркулярно поляризованные (σ_+ и σ_-) пучки он даст вклад в сигнал не только первого, но и второго де-

тектора, который, как наивно полагали авторы [1], регистрирует только σ_- -пучок. При этом сам сигнальный пучок в среде тоже становится эллиптически поляризованным и тоже регистрируется на выходе в обоих детекторах.

И вот, как теперь следует из статьи упомянутых выше петербургских физиков, все наблюдавшееся в том знаменитом эксперименте следовало понимать совсем не так, как это представляли авторы и их последователи. Не удержавшись от демонстрации запаса прочности, Е.Б.Александров и В.С.Запасский проходятся и на счет того, что представления в статье в Phys.Rev.Lett. примитивизированы, и подходы к описанию не вполне корректны, а кроме того – и вот здесь самое главное – результаты допускают простую и ясную интерпретацию, из которой следует, что авторы статьи не смогли отличить зондирующий свет от света управляющего(!), т.е. просто допустили ошибку в интерпретации эксперимента. Ни больше, ни меньше. А значит, и вся высокая наука, объяснявшая эксперимент в Phys.Rev.Lett, и работы их последователей – это мелодия дудочки крысолова, уводящая в манящую даль.

Что же происходит на самом деле? Ответ на этот вопрос дан в работах [2] и [3]. Сначала сильный контрольный пучок частично "выстраивает" среду (участок 1 на рис. 1). Далее, поскольку время действия сигнального импульса того же порядка, что и характерное время "выстраивания" среды, то наблюдаемое "запаздывание" сигнального пучка на выходе есть просто следствие "инерционности" процесса выстраивания спинов атомов ^{87}Rb в основном состоянии, то есть определяется динамикой изменения анизотропии среды, а вовсе не уменьшением групповой скорости света в 300000 раз. Во время темновой паузы (участок 2 на рис. 1) происходит релакса-

ция спинового выстраивания. И когда через ~ 100 мкс контрольный σ_+ -пучок включается вновь (участок 3 на рис. 1), в среде еще имеется остаточная эллиптическая анизотропия (время спиновой релаксации ~ 1 мс), поэтому от контрольного пучка и отщепляется σ_- -поляризованная компонента, которая регистрируется соответствующим детектором и которую авторы [1] принимают за "освобожденный" из среды сигнальный пучок. Таким образом, сенсационные результаты авторов [1] тривиально объясняются обычной светоиндуцированной анизотропией ансамбля атомов. Соответствующие расчеты, выполненные в работе [3], дают прекрасное количественное описание эксперимента [1] (см. рис.1).

Надо сказать, что простота интерпретации по Е.Б.Александрову и В.С.Запасскому подкупает. Как минимум, такой вариант интерпретации первооткрывателям «остановки света» следовало бы обсудить еще в работе, или, если уж грех случился, как минимум, обсудить *post factum*. Однако этого **"бы"** не случилось. Цивилизованный мир не пропустил наездов каких-то двух беспартийных русских на новых классиков. Это видно по статье в УФН – она полна отголосков борьбы с редакцией и рецензентами *PRL*. Особая ирония ситуации была в том, что упомянутые петербургские физики – известные асы изысканного физического эксперимента именно в этой области, использовали для обоснования своих аргументов **численное моделирование**. Хотелось бы верить, что это не было вынуждено (недостаточность экспериментальной базы в ГОИ), а просто им показалось, что и так все понятно. Тем не менее, пусть дискуссионную заметку напечатал не *PRL*, а УФН – у наших есть еще порох в пороховницах. И настоящий свет научной мысли не остановить отписками рецензентов. ***Lux ex orient!***

Скажем спасибо редакции УФН, сумевшей грамотно разобраться в ситуации, а также отдадим должное демократичности лос-аламосского архива препринтов, допускающего свободный обмен мнениями на своем научном сайте (см. [4]).

Итак, развенчан еще один миф. Сколько их было за последние годы... Холодный термояд, "молекулярные переключатели Schon'a" и его же высокотемпературная сверхпроводимость фуллеренов, и вот теперь – "остановка света". С одной стороны, грустно расставаться с чудесами, а с другой... Так что там у нас впереди? Ячейка с атомными парами? Извините, но эту ячейку свет проследует без остановки.

Л. Опенев, М. Компан

1. D.F.Phillips et al., *Phys. Rev. Lett.* 2001, **86**, 783
2. Е.Б.Александров, В.С.Запасский, УФН 2004, **174**, 1105
3. Г.Г.Козлов, В.С.Запасский, Е.Б.Александров, *Оптика и спектроскопия* 2004, **97**, 964
4. E.B.Alexandrov, V.S.Zapasskii, *quant-ph/0304192 P.S.* Возможно, возражения чуть категоричны, оставим новогоднюю надежду авторам. Ведь две

интерпретации никогда не закрывают друг друга, механизмы могут сосуществовать, эффект может быть суммарным. (Ред.)

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Атомное записывающее устройство для квантов света

Информация, которую мы получаем через WWW ("Всемирную Паутину"), доходит до нас, будучи закодированной в сантиметровые лазерные импульсы, путешествующие со скоростью света по тончайшим оптическим волокнам под толщей морской воды. Все идет к тому, что эту информацию вскоре научатся передавать не в виде набора привычных нам битов, а в квантовой форме – посредством кубитов (квантовых суперпозиций логических нуля и единицы). Кванты света (фотоны) как нельзя лучше подходят на роль носителей квантовой информации. Они способны быстро перемещаться на большие расстояния и легко регистрируются детекторами. Но большая скорость фотонов таит в себе и значительное неудобство, так как их не удастся хранить в течение достаточно длительного времени: даже в самых лучших оптических резонаторах они живут всего лишь несколько десятков микросекунд. Это сильно затрудняет процедуру обработки квантовой информации, доставленной фотонами. Так возникает потребность в *квантовой памяти*. Задача осложняется еще и тем, что квантовые состояния не могут быть клонированы, поскольку копирование неминуемо приводит к порче оригинала.

В совместной работе ученых Дании (Copenhagen Univ. и Univ. Aarhus), Бельгии (Univ. Libre de Bruxelles), Германии (Max Planck Inst. Quantum Optics) и Чехии (Palacky Univ. в Оломоуце) [1] сообщается об успешной записи состояния лазерного импульса в состояние ансамбля атомов. В отличие от предыдущих эффектных экспериментов, в которых для обмена информацией между атомами и фотонами использовались интенсивные импульсы (без ярко выраженных квантовых свойств) и сложное оборудование, авторы [1] смогли на сравнительно простой экспериментальной установке (стеклянная ячейка с парами спин-поляризованных атомов цезия при температуре, близкой к комнатной) скопировать слабый (состоящий всего лишь из нескольких фотонов) лазерный импульс в атомную систему, а затем "прочитать" записанное состояние посредством вспомогательных импульсов. Величина "fidelity" такой операции составила 70%, что значительно превышает классический предел. Время жизни квантовой памяти 4 мс.

Как это часто случается, умные мысли оказались сильнее современных навороченных технологий. Интересный "побочный" результат [1] – возможность использования ансамбля атомов для квантового компьютера.

1. *Nature* 2004, **432**, 482

НАНОСТРУКТУРЫ

Молекулярная плазмоника

Информатика сегодняшнего дня основана на технологиях электроники или фотоники, использующих для хранения, передачи и обработки информации соответственно электроны или фотоны. Плазмоника (одно из «ответвлений» фотоники) исследует наноструктуры, поддерживающие существование поверхностных плазмонов.

При взаимодействии света с металлом электроны на его поверхности коллективно осциллируют, поглощая, рассеивая или переизлучая падающие фотоны. Результирующее поверхностное электромагнитное поле распространяется вдоль поверхности на расстояния 10-100 мкм, затухая при этом вглубь металла экспоненциально до глубин 200-300 нм (см. рис.1). При этом интенсивность поля в нормальном направлении в 10-100 раз превышает интенсивность поля падающего излучения. Эти распространяющиеся вдоль поверхности электромагнитные возбуждения и называются «поверхностными плазмонными поляритонами» или просто поверхностными плазмонами. Манипулируя светом на нанометровых масштабах, плазмоника в перспективе может привести к созданию сложнейших миниатюрных устройств [1, 2]. Ряд устройств – фильтров, волноводов, поляризаторов, источников света – на основе этой технологии уже разработан. Для дальнейшего продвижения в информатику необходимо создать и активные устройства, такие как ключи и модуляторы.

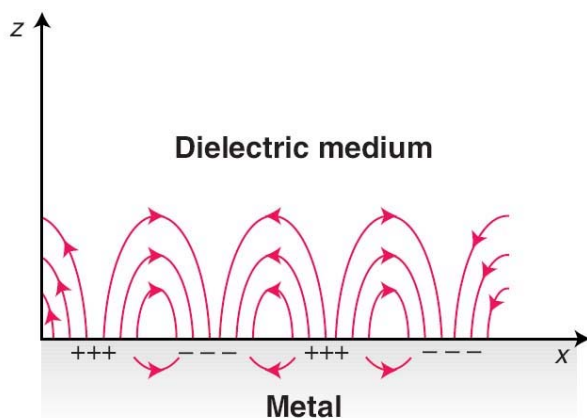


Рис.1. Поверхностные плазмоны – электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль поверхности металла и экспоненциально спадающие вглубь него. Электромагнитное поле присутствует как в самом металле, так и во внешней диэлектрической среде.

Важный шаг к созданию активного плазмонного устройства сделали авторы работы [3] (Univ. Exeter, Англия). Созданное ими устройство (см. рис.2) состоит из двух полимерных слоев, один из которых содержит донорные молекулы хромофора, а другой – акцепторные молекулы флуорофора. Эти слои наносят с двух сторон тонкой (30-120 нм) серебряной пленки, и полученный таким образом «сэн-

двич» помещают на кварцевую подложку. Донор поглощает падающий на него свет и через диполь-дипольное взаимодействие передает энергию возбуждения акцептору, который флуоресцирует. Предельное расстояние диполь-дипольного взаимодействия обычно не превышает 10 нм, однако авторы демонстрируют, что с помощью поверхностных плазмонов энергия может передаваться с эффективностью до 70% на расстояния в 15-20 раз большие. Результаты этой работы ставят перед теоретиками и экспериментаторами ряд вопросов, на которые еще предстоит найти ответы.

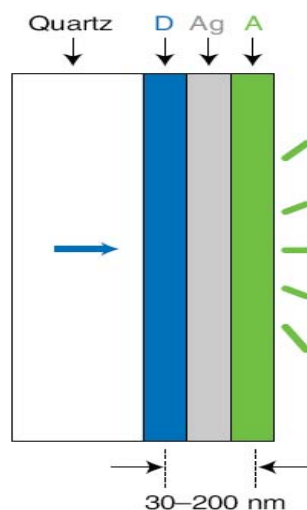


Рис. 2. Схема плазмонного устройства, созданного авторами работы [3]. Свет падает слева, поглощается молекулами донора, энергия возбуждения передается через пленку серебра с участием поверхностных плазмонов. Молекулы акцептора принимают эту энергию и флуоресцируют.

По мнению авторов работы [3], полученный ими эффект может быть применен для совершенствования органических светодиодов, что в свою очередь многообещающе для создания дешевых, легких и гибких дисплеев. Среди других областей потенциального применения молекулярной плазмоники – оптическая спектроскопия на наномасштабах, плазмонно-резонансные датчики, нанолитография.

Л. Дунин-Барковский

1. *Nature*, 2003, **424**, 824
2. *Nature Mater.*, 2003, **2**, 229
3. *Science*, 2004, **306**, 1002

Si наноизлучатели – гонка продолжается

Непрекращающийся интерес к наноскопическим электрическим источникам света мотивирован их прикладным потенциалом в устройствах микроэлектроники, например для оптической разводки на микросхемах (см., например, [1]). В ряду наноструктур хорошими кандидатами для создания таких устройств являются нанопроволоки и нанотрубки, однако, существует проблема формирования электрического контакта к ним [2]. Альтернативный подход – использование нанопроволок с емкостной связью в переменном электрическом поле – впервые опробован на кремниевых нанопроволоках авторами работы [3] (OGI School of Science and Engineering, Beaverton, США).

Сам по себе кремний – трудный материал для электросветодиодающих устройств из-за сложной формы его запрещенной зоны, но исключительно

перспективный из-за возможности интеграции с другими схемами обработки информации. Электролюминесценция была обнаружена на аморфных кремниевых пленках, на пористом кремнии, на кремнии, легированном ионами эрбия, а также на дефектных состояниях (например, на дислокациях [1]) и на поверхностных состояниях в кремниевых нанопроволоках.

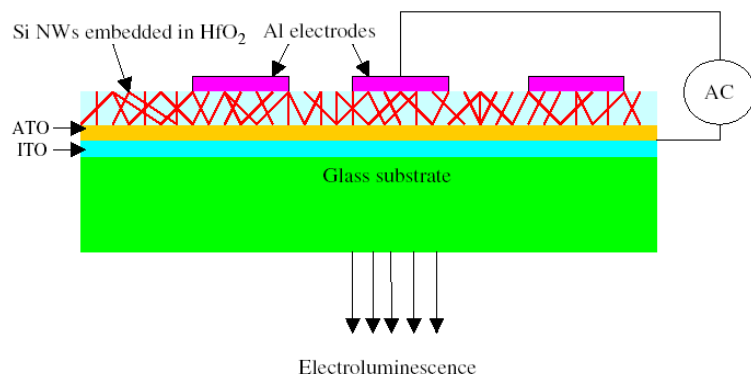


Рис. 1. Схема электролюминесцентного прибора на *Si* нанопроволоках. Здесь *ITO* и *ATO* – подслои из оксидов индия-олова и алюминия-титана соответственно.

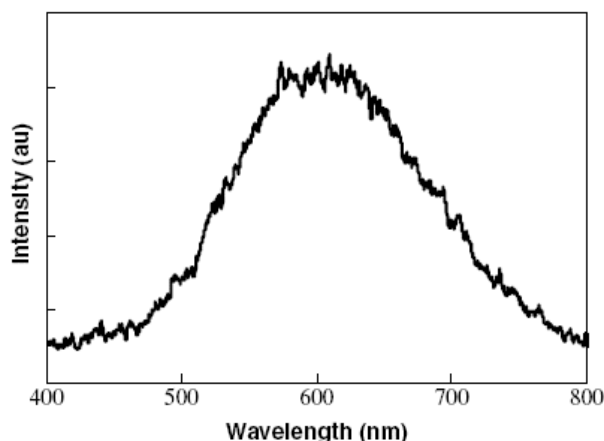


Рис. 2. Спектр электролюминесценции кремниевых нанопроволок.

В работе [3] использовали *Si* нанопроволоки, полученные каталитическим разложением дисилана на позолоченной поверхности (детали методики описаны в [3, 4]). Жгуты диаметром ~20 нм состояли из тонких нанопроволок диаметром 3–4 нм. Промежутки между нанопроволоками методом послойного атомного напыления заполняли оксидом гафния, имеющим диэлектрическую проницаемость ~21 и, соответственно, большой вектор поляризации. Общая толщина полученного активного слоя составляла 1.5 мкм. Спектр излучения сконструированного устройства с пиком на длине волны ~600 нм (~2 эВ), полученный при напряжении 70 В и частоте 3 кГц, представлен на рис. 2. Он аналогичен спектру пористого кремния.

Описанное устройство пока не оптимизировано – его яркость, электрические и спектральные характеристики могут быть существенно улучшены доработкой структуры, получением более тонких и

однородных по диаметру нанопроволок и их ориентацией нормально поверхности.

Итак, в семействе актуальных *Si* электроизлучателей появился еще один прибор. Пожелаем ему успехов!

Л. Дунин-Барковский

1. *ПерсТ*, 2004, 11, вып. 18, «За длинным дефектом»
2. *Nature*, 2003, 421, 241
3. *Nanotechnology*, 2004, 15, 1848
4. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, 84, 1389

Бездислокационные наностолбики светят лучше!

В ряду относительно низковольтных светоизлучающих устройств, возбуждаемых электронным пучком, один из самых технологически привлекательных – люминофор синего и ультрафиолетового света на основе *GaN*. В случае катодolumинесценции нет особой необходимости ни в использовании монокристалла, ни в контроле за содержанием примеси, кроме того, интенсивностью излучения легко управлять, просто меняя энергию возбуждающего электронного пучка. Однако, поскольку глубина проникновения электронного пучка, ускоренного напряжением в несколько киловольт, составляет не более десятков нанометров, эффективность светоизлучения в значительной степени определяется состоянием поверхности кристалла. Один из способов ее повышения – создание развитой поверхности.

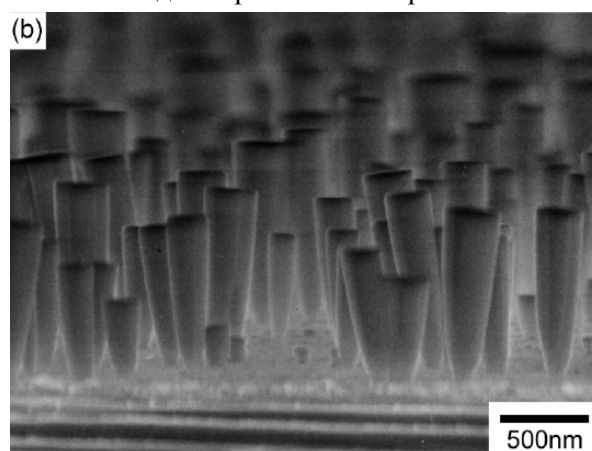


Рис. 1. Изображение выращенной наноструктуры в сканирующем электронном микроскопе.

В совместной работе сотрудников Shizuoka Univ. и Yamaha Corp. [1] для улучшения характеристик источника ультрафиолетового излучения вырастили столбчатую наноструктуру *GaN* на поверхности монокристаллического кремния. Поверхность (111) *Si* подложки последовательно подвергнута нитрированию при 930°C, напылению металлического *Ga* при 540°C и обработке потоком *NH3* при 1020°C. Это создало зародыши, на которых затем эпитаксиально нарастали столбики *GaN*. Типичные диаметр и длина полученных нанообразований (рис.1) составили соответственно 200–300 нм и 0.5–1 мкм при плотности ~3–4×10⁸ см⁻².

На рис.2 - сравнение спектров фотолюминесценции выращенной столбчатой наноструктуры GaN и чистой поверхности монокристалла GaN (фотолюминесценция возбуждалась лучом $He-Cd$ лазера с длиной волны 325нм). Интенсивность люминесценции «леса» столбиков в 22 раза выше, чем у чистой поверхности монокристалла GaN). Еще больше это отношение для интенсивности катодолюминесценции ~ 200 ! Авторы предполагают, что одна из причин такого эффекта – совершенство структуры выращенных наностолбиков. Изучение структуры на просвечивающем электронном микроскопе показало, что столбики представляют собой идеальные бездислокационные нанокристаллы.

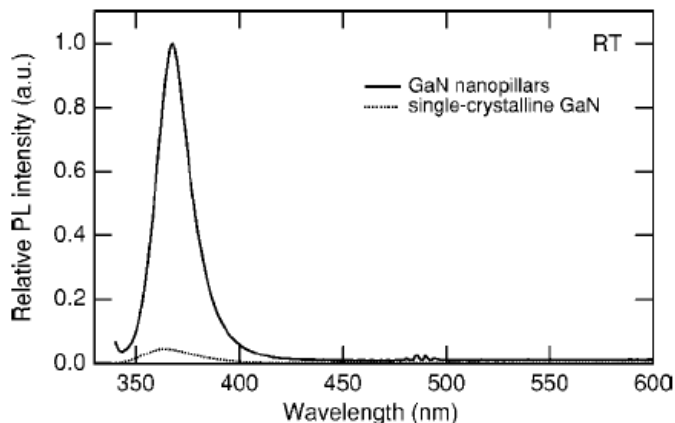


Рис.2

Авторы полагают, что наноструктурирование торцевой поверхности столбиков позволит уменьшить внутреннее отражение выходящего излучения и тем самым еще увеличить интенсивность источника.

Л. Дунин-Барковский

1. *Appl. Phys. Lett.* 2004, **85**, 12, 2340

Левитация в потоке света

За последние пять лет возродился интерес к оптическому микроманипулированию, вызванный появлением новой формы световых пучков - бесселевых. Достоинство их в способности реконструироваться, или самозалечиваться при прохождении препятствий – свойство, заметно обогащающее область оптического микроманипулирования.

Авторы [1] работали с вертикально ориентированным бесселевым пучком света, полученным пропусканием гауссова луча (лазер $Nd:YVO_4$ в режиме непрерывной генерации, 1064нм, 1Вт) через конические линзы с углом раскрытия 0.3° . С помощью телескопа пучок Бесселя уменьшали до центральной «жилы» радиусом 15мкм на протяжении 3.5мм и проектировали снизу в кварцевую кювету (3х3х30мм), заполненную смесью 50/50 H_2O/D_2O . Для изучения левитации использовали сферы из SiO_2 диаметром 3мкм, изготовленные в смеси H_2O/D_2O , с последующим переносом 10мкл такой взвеси сверху в заполненную кювету. Поведение частиц наблюдали через объектив микроскопа перпендикулярно пучку света с помощью CCD камеры.

При прохождении лазерного бесселева пучка через подготовленную взвесь при определенной мощности обнаруживается, что сферические частицы SiO_2 распределяются по оси пучка с фиксированными расстояниями друг от друга. Авторы полагают, что это явление – совместный результат действия сил оптического градиента, стягивающих частицы в центр пучка (1), движения вверх с тепловым конвекционным потоком (2) и переноса частиц вверх внутри пучка (3). Во всех попытках система распределенных по пучку частиц самоформировалась до равновесного состояния примерно через 30мин. после включения лазера. Одномерная система (см. рис.) устанавливается при балансе направленного вверх распределяющего усилия пучка и силы гравитации. Наблюдали цепочки до 50 частиц протяженностью несколько миллиметров. Количество частиц в цепочке медленно растет, достигая равновесия. Причем динамика поступления новой частицы заслуживает особого внимания. Когда новая частица входит в цепочку, уже бывшие в ней перераспределяются, чтобы «принять» ее. Хотя количество частиц и полная длина цепочки могут быть разными, расстояния между частицами от одного эксперимента к другому воспроизводимы, что позволяет вести сопоставление с теорией, предлагаемой авторами. Шаг между частицами в пучке максимален в нижней части кюветы и постепенно уменьшается при движении вверх к зоне, где бесселевы свойства пучка пропадают.

С практической точки зрения такие цепочки частиц могут быть полезными при изучении аэрозолей, предоставляя возможность с большой производительностью зондировать в отдельности каждую из выстроенных в цепочку частиц.

1. *Appl. Phys. Lett.* 2004, **85**, p.4001

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

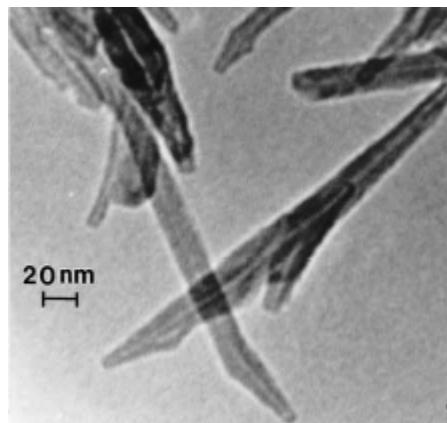
Мы давно вдыхаем углеродные нанотрубки?

Американские исследователи проанализировали возможную опасность для здоровья людей углеродных наноматериалов [1]. Среди авторов исследования – материаловеды и экологи. Удивительный результат исследования – мы часто встречаемся с углеродными наноструктурами (в том числе, и нанотрубками) в обыденной жизни. Эти нанообъекты всегда возникают при каталитическом разложении газообразных углеводородов, но оказалось, что и при обычном горении чистого метана (99,5%) в ламинарном потоке метан-воздух образуется множество углеродных нанотрубок и нанокристаллических частиц (первоначально агрегированных). Более того, получено свидетельство их присутствия в атмосферных аэрозолях.

В эксперименте метан подавали из горелки при скорости потоков метан/воздух в диапазоне (4-5см/с)/(50-70см/с), получая в результате стабильное ламинарное

синее пламя (видимая высота ~ 7см). Продукты горения собирали на расстоянии ~ 1м от центра пламени. Кроме того, были взяты пробы аэрозолей воздуха вблизи оживленной дорожной трассы в Хьюстоне. Все образцы анализировали с помощью просвечивающей электронной микроскопии *TEM*.

Во всех образцах наблюдали углеродные нанокристаллические полиэдры и другие фуллереноподобные “наноформы”, смеси полиэдров и многостенных углеродных нанотрубок, а также агрегаты многостенных нанотрубок диаметром от 10 до 20 нм!



Авторы [1] за несколько лет собрали множество образцов взвешенных в воздухе частиц путем термоосаждения на сеточки микроскопа. *TEM* исследования [2] обнаружили, что значительная часть частиц представ-

ляет собой углеродные нанокристаллы и нанотрубки (см. рис.)! “Свежие” образцы, взятые вблизи дорог, также содержали агрегаты углеродных нанотрубок и других углеродных нанокристаллических форм (смешанных с нанокристаллами оксида кремния).

Убедившись в распространенности углеродных нанообъектов в современном быту, авторы решили аналогичным образом изучить 10000-летний лед из Гренландии (капли тающего льда нанесли на сеточку в чистой комнате класса чистоты 100). Как читатель уже, конечно, догадался, там тоже оказались углеродные нанотрубки. Это означает, что углеродные нанотрубки и нанокристаллы возникали в атмосфере естественным путем по меньшей мере в течение 10000 лет и продолжают внедряться в атмосферу в наше время.

Образование углеродных нанотрубок и нанокристаллических агрегатов при горении метана приводит к размышлениям о том, как влияют такие эмиссии наночастиц из природного газа на здоровье и окружающую среду (представим себе газовые плиты и нагреватели в домах, промышленные процессы, использующие сжигание и т.д.). Как показано в обзоре двадцати семи токсикологических исследований, проведенных в разных странах, ультратонкие частицы могут проникать в тело через кожу, при вдыхании и с пищей, приводя к токсическим реакциям [3]. При подведении итогов симпозиума по нанотехнологиям и вопросам окружающей среды, организованного Американским химическим обществом, на вопрос о безопасности наноматериалов было заявлено, что “первые результаты позволяют предположить, что некоторые наночастицы,

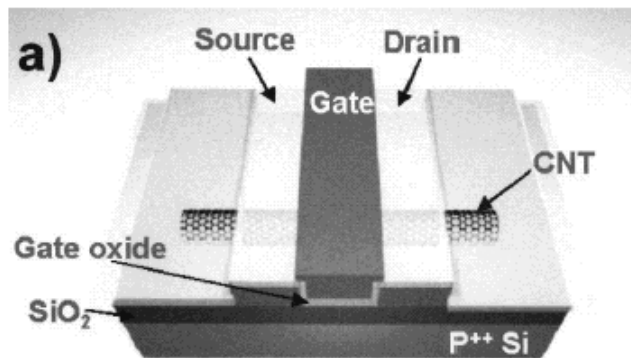
например, углеродные нанотрубки, могут представлять риск для здоровья”[4].

О.Алексеева

1. *J. Mater. Sci.* 2004, **39**, 2199
2. *JOM* 2002, **54**, 28
3. http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=586.
4. *Engnr. News* 2003, **81**(17), 30

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Наступление карликов на большой рынок



Официальные представители фирмы *LSI Logic* скептически отнеслись, когда в 2003 году незадолго до этого созданная ф. *Nantero* приступила к разработке технологии изготовления кристаллов памяти на основе углеродных нанотрубок на полупроводниковом заводе *LSI's Gresham*. Скептицизм был вызван тем, что еще не было случая успешного изготовления кристаллов 3У на основе углеродных нанотрубок в заводских условиях. Однако *LSI* вызов приняла и в мае сего года, после более года усердного сотрудничества специалистов *LSI* и *Nantero* первые кремниевые пластины с нанотрубчатыми ячейками памяти сошли с производственной линии и переданы в лабораторию тестовых испытаний. На удивление, многие ячейки 3У превосходно работали. Конечно, технология *Nantero* нуждается в дальнейшей доработке, поэтому инженеры *LSI* приступили к анализу отказов для оценки способов повышения выхода годных. Тем не менее, те самые скептики из *LSI* более не сомневаются, что кристаллы 3У на основе углеродных нанотрубок, могут быть изготовлены в промышленных масштабах и через 2-3 года появиться в продаже. “Однако по той ли цене, чтобы их покупали?” - задается вопросом аналитик из консультативной ф. *Kalydus Asset Advisors*.

Nantero - не единственная фирма, разрабатывающая кристаллы памяти на наноматериалах. Например,

- *ZettaCore* выделила 20 млн. долл. на использование органических молекул, типа молекул хлорофилла, вместо накопительных конденсаторов в ячейках динамических и статических ЗУПВ;
- *Nanosys* совместно с *Intel* ведет работы по увеличению срока службы флэш-ЗУ, используя нанокристаллы;

- NanoMagnetics разрабатывает материал на основе белка ферритина (ferritin protein) для использования в магнитных ЗУ;
- California Molecular Electronics разрабатывает молекулярный ключ для дисплеев и ЗУ.

Ближе всех подошли к рынку Nantero и ZettaCore. Обе фирмы готовы предоставить лицензию на свою технологию другим чипмейкерам вместо того, чтобы самим изготавливать свои кристаллы.

Не удивительно, что многие фирмы, занятые наноразработками, нацелены на рынок ЗУ - это один из самых больших секторов мирового рынка. К тому же его изделия нуждаются в радикальном обновлении путем внедрения новых альтернативных технологий, а не только путем ставшего уже привычным масштабирования. Масштабирование затрудняется хроническими недостатками традиционных ЗУ, такими как утечка накопительных конденсаторов, все более сложные структуры, чувствительность к слу-

чайным сбоям, вызванным космическими лучами. Другие извечные проблемы - большие ячейки памяти статических ЗУПВ, трудности интеграции динамических ЗУПВ и флэш-ЗУ с логическими кристаллами, медленное время считывания флэш-ЗУ и их ограниченный срок службы.

Аналитики насчитали около 20-ти альтернативных технологий, нацеленных на рынок ЗУ, объем продаж которого в настоящее время составляет 48 млрд. долл., а в 2008 году по прогнозу ф. iSuppli достигнет почти 57 млрд. долл.

Ф. NanoMarkets оптимистично прогнозирует, что объем продаж разнообразных наноизделий может достичь 15 млрд. долл. к 2008 году. Прогнозы ф. Kalydus более умеренные, и рынок тех же наноизделий она оценивает в 2.4 млрд. долл.

Прогнозы объема продаж наноизделий на 2008 год

Тип устройства	Прогноз NanoMarkets млн. долл.	Прогноз Kalydus млн. долл.
Магнитные ЗУПВ	3843	193
ЗУ на элементах Овшинского	1144	487
Ферроэлектрические ЗУ	1283	185
Молекулярные ЗУ	1408	0
ЗУПВ на основе нанотрубок	1921	280
МЭМС	2120	988
Полимерные ЗУ	1359	102
Прочие	1550	150
Всего	14628	2385

Л. Журавлева

<http://www.reed-electronics.com/.../index.asp?layout=articlePrint&articleID=CA47544>

Cadarache: более чем город-кандидат для ITER'a

Министры правительства 25 стран Европейского Союза декларировали свое желание сохранить международную коллаборацию партнеров по 6 млрд. термоядерному реактору ITER. Их новое сообщение содержит новые инструкции для Европейской Комиссии, как исполнительному органу ЕС: Cadarache, город на юге Франции, больше не кандидат на строительство ITER, а место строительства реактора. Все, что требуется остальным участникам коллаборации, это принять решение, кто из них останется партнером ЕС.

Термоядерный реактор ITER всегда заявлялся как модель проектов «большой науки», реализуемых международной коалицией. Цель ITER'a – тестирование принципов генерации энергии от термоядерного синтеза путем сжатия плазмы магнитным полем в тороидальном объеме и ее нагрева до нескольких миллионов градусов Кельвина.

Ученые надеются, что синтез дейтерия и трития в реакторе ITER приведет к генерации энергии, большей, чем потребуется для питания реактора, тем самым доказав жизнеспособность нового источника энергии.

Новое заявление официальных представителей ЕС менее конфронтационное, чем предыдущие (см. ПерсТ, 2004, 11, вып.20). В нем звучит очевидное желание идти на дополнительные компромиссы для сохранения партнерства.

Более дипломатична и ответная реакция Японии. «Мы приветствуем факты, что ЕС теперь заявляет о важности рамки из 6 партнеров, что ЕС отказывается от односторонних действий», - сказал Satoru Ohtake, глава отделения термоядерной энергии Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий Японии. Министры ЕС не проявили, однако, гибкости в вопросе о месте строительства. Сохраняя выбор за Cadarache, они отводят Японии роль «привилегированного партнера», т.е. оставляя Японии возможность выполнять большее число промышленных заказов на

компоненты реактора, иметь решающий голос при выборе директора *ITER*, и ЕС поддержит японский выбор устройств для ускоренного перехода к коммерческому реактору. Последнее может включать центр по испытанию реакторных материалов, суперкомпьютерную лабораторию по моделированию процессов в реакторе, модернизацию собственного японского реактора *JT-60*.

Главный аргумент членов Европейского термоядерного сообщества в пользу Cadarache – сильный научный фундамент Европы в термоядерных исследованиях. Европа является домом для самого большого в мире сегодня термоядерного реактора Joint European Torus вблизи Оксфорда (Англия), имеет самую большую в мире программу термоядерных исследований, равную аналогичным программам США и Японии вместе взятых. После решительных ультиматумов это решение ЕС может быть слишком запоздалым, но министры ЕС, кажется, приготовились немного подождать.

1. *Science*, 2004, **306**, 1669

Лабораторный модульный комплекс «ВТСП СКВИД»

СКВИД-системы – продукт высокой технологии не только для научных исследований, но и важный инструмент техники и медицины. В нашей стране СКВИД-технологии пока не нашли должного применения не в последнюю очередь из-за слабой подготовленности высшей школы к обучению СКВИД-технологиям и их применению.

Малое предприятия ООО “Магнитные и криоэлектронные системы” (г. Троицк Московской обл.) создало и предлагает к продаже лабораторный модульный комплекс по изучению характеристик ВТСП СКВИДов и принципов работы магнитометрических устройств на их основе. Особенность комплекса в возможности проводить

измерения вольт-амперных, вольт-полевых и шумовых характеристик ВТСП СКВИДа за один цикл охлаждения. При полной комплектации лабораторного комплекса измерения проводятся в автоматизированном режиме под управлением персонального компьютера в OS Windows.

Состав лабораторного комплекса

- Криогенная измерительная штанга с малошумящим криопредусилителем и измерительным усилителем
- Блок с источником питания и АЦП
- Дополнительный блок СКВИД-электроники для проведения магнитометрических измерений
- Специализированное программное обеспечение для управления работой лабораторного комплекса
- Комплект методических пособий с описанием рассматриваемых физических явлений, установки и порядку проведения измерений.

Основные технические параметры комплекса:

Параметр	Значение
уровень собственных шумов, нВ/Гц ^{1/2}	< 0.2
диапазон токов смещения, мА	± 5
диапазон полей подмагничивания, Гс	± 10
потребляемая мощность, Вт	< 100
габаритные размеры (без компьютера), мм	200·200·600
масса (без компьютера), кг	< 8

Контакт: Владимир Скомаровский
Тел. из Москвы (27) 519768, из других городов (0965) 519768,
e-mail: vskom@izmiran.ru

**Экспресс-бюллетень ПерсТ выходит
при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ,
Научных Советов Российских научно-технических программ:**

“Актуальные направления в физике конденсированных сред”,
“Перспективные технологии и устройства микро- и нанoeлектроники”, “Физика твердотельных наноструктур”

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

В подготовке выпуска принимали участие:

О.Алексеева, Л.Дунин-Барковский, Л.Журавлева, М. Компан, К.Кугель, Ю.Метлин, Л.Опенев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

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