

В этом выпуске:

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Квантовый эффект Холла при комнатной температуре

Квантовый эффект Холла (Quantum Hall Effect, QHE) – один из примеров макроскопического проявления квантовых законов. Его открытие в 1980 г. во многом способствовало развитию наших представлений о свойствах коллектива взаимодействующих квантовых частиц, а также привело к появлению нового метрологического стандарта – кванта сопротивления h/e^2 , величина которого определяется только фундаментальными физическими константами: постоянной Планка h и зарядом электрона e . QHE наблюдается в квазидвумерных системах (тонких пленках или двумерном электронном газе) и только при очень низких температурах $T \leq 4.2$ К. Все попытки повысить температуру появления QHE хотя бы до 40 К (например, используя полупроводники с малыми эффективными массами носителей) оказались неудачными.

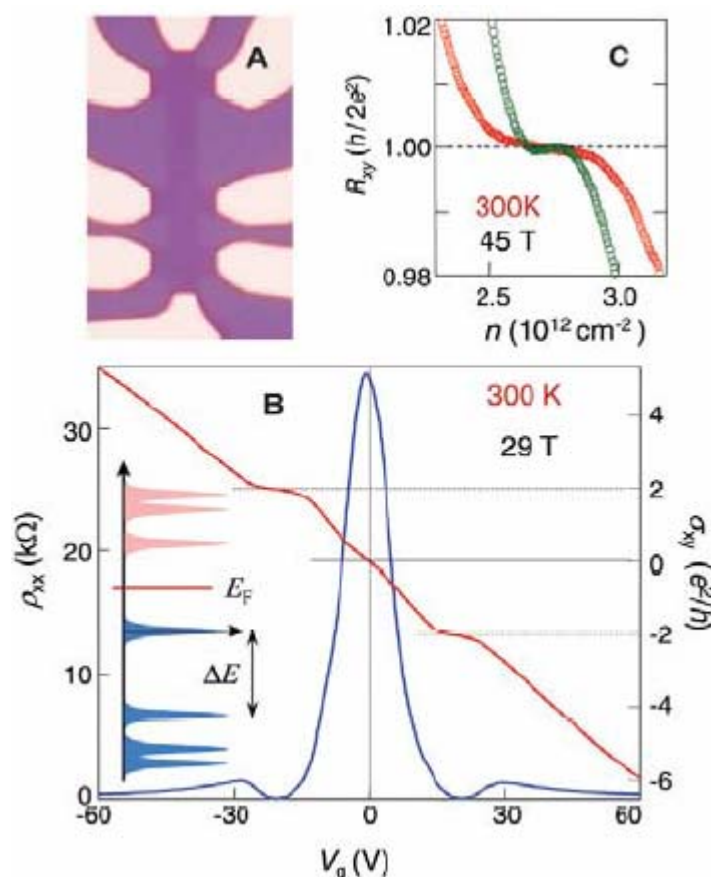


Рис. 1. (А) Фотография образца; (В) Зависимость поперечной проводимости σ_{xy} (красная линия) и продольного сопротивления ρ_{xx} (синяя линия) графена от напряжения V_g при $T = 300$ К и $H = 29$ Тл (на вставке – уровни Ландау); (С) Зависимость холловского сопротивления R_{xy} для электронов (красная линия) и дырок (зеленая линия) от концентрации носителей при $T = 300$ К и $H = 45$ Тл.

И далее ...

- 2 Биологический зонд на основе углеродной нанотрубки

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 3 Нюансы сверхпроводимости ВТСП с электронным типом допирования: поставьте медь на место!

НАНОСТРУКТУРЫ

- 3 Атомный силовой микроскоп распознает тип атомов
- 4 Бинарный квазикристалл $YbCd_{5.7}$

НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

- 5 Ключевые моменты развития нитридных светодиодов и лазерных диодов

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 6 Некоторые итоги в российской нанотехнологии

В работе [1] физиков из Великобритании, США и Голландии сообщается о регистрации QHE в графене (монослой атомов углерода) при комнатной температуре. В сильных магнитных полях на зависимости холловской проводимости σ_{xy} от напряжения V_g имеются четко выраженные плато при $\sigma_{xy} = \pm 2e^2/h$ (для дырок и электронов), а продольное сопротивление ρ_{xx} при соответствующих величинах V_g обращается в нуль, см. рис.1В. "Точность квантования" холловского сопротивления R_{xy} при $H = 45$ Тл составила около 0.2 % (рис. 1А). Главная причина "выживания" QHE при столь высокой для квантовых явлений температуре заключается в том, что из-за специфического для графена линейного закона дисперсии квазичастиц в окрестности уровня Ферми расстояние ΔE между уровнями Ландау оказывается очень большим, почти на порядок больше тепловой энергии при комнатной температуре ($\Delta E \approx 2800$ К при $H = 45$ Тл). Немаловажно и то, что носители заряда в графене обладают очень высокой подвижностью (около 10^4 см²/В·с, что отвечает времени релаксации $\tau \sim 10^{-13}$ с). Кроме того, при больших концентрациях носителей (до 10^{13} см⁻²) в графене заполняется только одна двумерная энергетическая подзона, что существенно для полного заполнения нижнего уровня Ландау в сильных полях (это выгодно отличает графен от обычных двумерных систем, таких как гетероструктуры на основе GaAs).

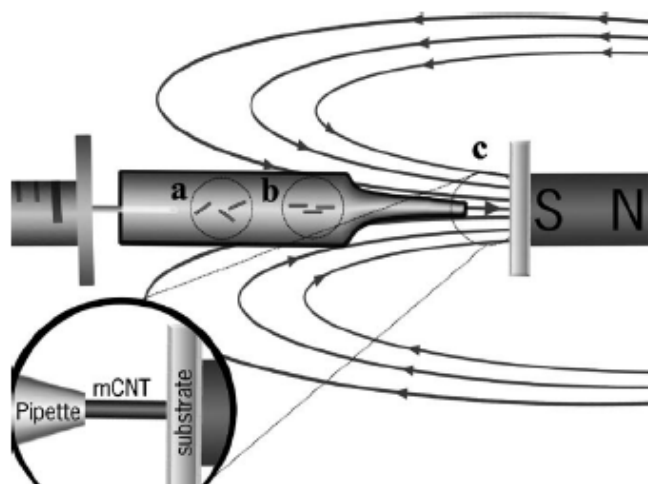
Заметим, что QHE при $T = 300$ К наблюдали в графене даже при $H < 20$ Тл. Вообще, сильные магнитные поля необходимы для QHE из-за уширения уровней Ландау (и, как следствие, уменьшения ΔE) при отклонении от идеального атомного порядка. Увеличение однородности графеновых образцов позволит наблюдать QHE не только при комнатной температуре, но и в "лабораторных" полях $H \approx 3$ Тл. Это, во-первых, даст возможность лучше изучить детали QHE, во-вторых, сделает доступным стандарт сопротивления всему научному сообществу (а не только нескольким национальным институтам) и, наконец, в-третьих, может привести к разработке новых квантовых приборов, способных выполнять свои функции при обычных, а не экзотических условиях.

1. K.S.Novoselov et al., *Science* **315**, 1379 (2007); *cond-mat/0702408*

Биологический зонд на основе углеродной нанотрубки

Миниатюрные поперечные размеры углеродных нанотрубок (УНТ) и возможность их заполнения жидкими материалами позволяет использовать их в биологических исследованиях в качестве зондов и других средств локального воздействия на биологические объекты микронных и нанометровых

размеров. Одно из подобных устройств разработано и продемонстрировано недавно группой исследователей из Drexel Univ., Philadelphia (США). Авторы использовали многослойные УНТ диаметром около 200 нм и длиной до 60 мкм, синтезированные методом химического осаждения паров на пористой мембране из оксида алюминия без использования катализаторов. После окончания процедуры роста на мембрану наносили коммерческую ферромагнитную жидкость, содержащую частицы оксида железа диаметром ~ 10 нм, которая под воздействием капиллярных сил всасывалась во внутреннюю полость нанотрубок через открытые концы. После этого мембрану растворяли в 4М растворе NaOH, что приводило к диспергированию индивидуальных УНТ, заполненных магнитными частицами. Полученную суспензию заливали изопропиловым спиртом для дальнейшего использования. Содержание нанотрубок в изопропиловом спирте составляло 0.1%. Наблюдения, выполненные с помощью просвечивающего электронного микроскопа, свидетельствовали о высокой однородности заполнения нанотрубок магнитными частицами.



Способ создания пипетки с наконечником из магнитной УНТ показан на рисунке. Суспензию, содержащую УНТ, с помощью шприца вводили в обычную стеклянную пипетку. Магнитное поле, создаваемое с помощью магнитной проволоки (с), воздействовало на магнитные нанотрубки, ориентируя их вдоль оси пипетки (а, б), вызывая их движение в направлении отверстия. Тонкая стеклянная прослойка, помещенная между магнитной проволокой и пипеткой, смачивалась жидкостью, находящейся внутри пипетки, что способствовало извлечению УНТ из отверстия пипетки. Тем самым нанотрубка образовывала тонкий наконечник пипетки (см. рисунок). Для повышения устойчивости системы нанотрубку выдвигали из отверстия пипетки на 60% от ее длины. Затем положение нанотрубки на конце пипетки фиксировали с помощью специального клея. Возможность использования полученной таким образом нанопипетки в биологических экспериментах была продемонстрирована при

введении с ее помощью в клетку некоторого количества шариков из полистирола диаметром около 100 нм. После нескольких минут инжектирования шарики оказались внутри клетки, что было подтверждено электронно-микроскопическими наблюдениями.

А.В.Елецкий

1. J. R. Freedman et al. *Appl. Phys. Lett.* **90** 103108 (2007)

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Нюансы сверхпроводимости ВТСП с электронным типом допирования: поставьте медь на место!

Высокотемпературная сверхпроводимость возникает при допировании родительских антиферромагнитных диэлектриков, структура которых представляет собой набор параллельных друг другу слоев CuO_2 , разделенных слоями резервуаров заряда. Дырочное допирование (например, путем частичного замещения La^{3+} на Sr^{2+} в La_2CuO_4) быстро разрушает дальний антиферромагнитный порядок (см. рис.), тогда как при электронном допировании простого замещения одних элементов другими (например, R^{3+} на Ce^{4+} в $\text{R}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ с $\text{R} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}, \text{Eu}$) для сверхпроводимости оказывается недостаточно: требуется еще дополнительный отжиг в обедненной кислородом атмосфере и последующее быстрое охлаждение. Необходимость в такого отжига долгое время оставалась непонятной. Высказывались, в частности, предположения, что он нужен для увеличения концентрации электронов (за счет образования кислородных вакансий) или для подавления антиферромагнитного упорядочения. Однако все оказалось гораздо интереснее.

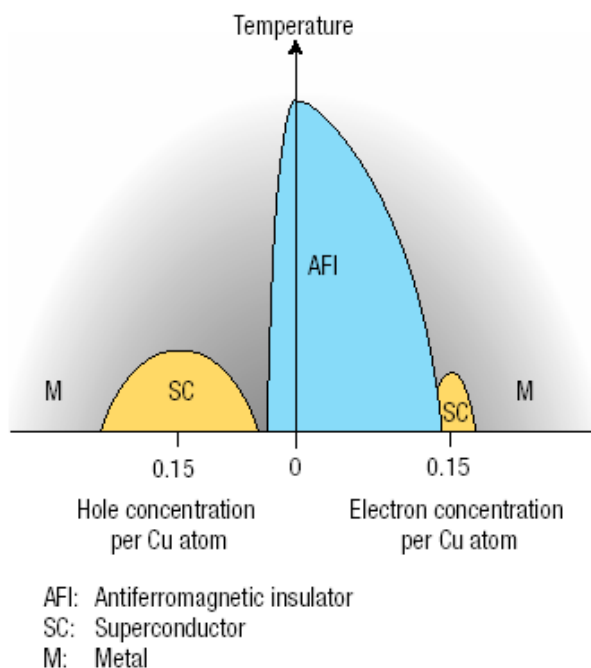


Рис.1. Фазовая диаграмма ВТСП в координатах температура – концентрация носителей.

Авторы работы [1] заметили, что ни одна из моделей влияния отжига на электронные ВТСП не объясняет, почему возникновение сверхпроводимости после отжига всегда сопровождается появлением в образце примесной фазы R_2O_3 ($\text{R} = \text{Pr}, \text{La}, \text{Ce}$), тогда как повторный отжиг (на этот раз в атмосфере кислорода) ведет к исчезновению как сверхпроводимости, так и этой примесной фазы. Для выяснения микроскопических деталей структуры до и после отжига они систематически исследовали монокристаллов и порошков ВТСП n -типа $\text{Pr}_{0.88}\text{LaCe}_{0.12}\text{CuO}_4$ методами рентгеновской и нейтронной дифракции в комбинации с элементным и термогравиметрическим анализом. Выяснилось, что непосредственно после синтеза (до отжига) в слоях CuO_2 имеется $(1 \div 2) \%$ медных вакансий, хаотически распределенных по образцу. Эти дефекты и приводят к разрушению сверхпроводимости, несмотря на достаточное количество носителей заряда (электронов). Отжиг ведет к такой перегруппировке атомов меди, что в одних слоях CuO_2 (или их частях) вакансии исчезают, а в других их концентрация становится настолько большой, что на месте слоя CuO_2 формируется эпитаксиальный слой той самой загадочной фазы R_2O_3 (ее содержание составляет около 1%). Таким образом, второй (после концентрации электронов) ключевой фактор, определяющий наличие или отсутствие сверхпроводимости в ВТСП n -типа – это степень упорядоченности медной подрешетки, а именно – отсутствие или наличие медных (а не кислородных, как думали раньше) вакансий в плоскостях CuO_2 . По-видимому, это связано с тем, что "лишние" электроны (в отличие от дырок) располагаются преимущественно на медных, а не на кислородных орбиталях. Пока не вполне ясна роль кислородных вакансий. Если в [1] утверждается, что они благоприятствуют электронной сверхпроводимости, то в [2], напротив, замечено, что сверхпроводящие характеристики улучшаются после отжига в кислороде при температуре $T = 500^\circ\text{C}$ – слишком низкой для образования медных вакансий, но достаточной для избавления от кислородных.

Из полученных в [1] результатов следует важная практическая рекомендация: при синтезе ВТСП n -типа нужно брать исходные материалы с избытком меди.

Л.Опенев

1. H.J.Kang et al., *Nature Materials* **6**, 224 (2007)
2. H.Takagi, *Nature Materials* **6**, 179 (2007)

НАНОСТРУКТУРЫ

Атомный силовой микроскоп распознает тип атомов

Атомный силовой микроскоп (atomic force microscope, *AFM*) был изобретен более 20 лет назад. Он широко используется для получения изображения различных поверхностей с атомарным разрешением и даже для манипуляции отдельными атомами. В динамическом ("бесконтактном") режиме острая игла *AFM* крепится к концу гибкого кантилевера, колеблющегося в перпендикулярном направлении. Сила, дейст-

вующая на иглу со стороны поверхностных атомов, приводит к изменению резонансной частоты, которая измеряется с очень высокой точностью. Компьютерная обработка получаемых при этом данных и позволяет в конечном итоге нарисовать трехмерную карту поверхности. В отличие от своего собрата – сканирующего туннельного микроскопа – *AFM* способен "разглядеть" атомы не только на проводящих, но и на диэлектрических поверхностях. А вот чего *AFM* не может – так это различить атомы разных химических элементов, то есть распознать их "химическую принадлежность". Дело в том, что сила, действующая на иглу, зависит не только от типа атома, а еще и от конкретной атомной конфигурации ее кончика (см. рис.1), которая никогда достоверно не известна.

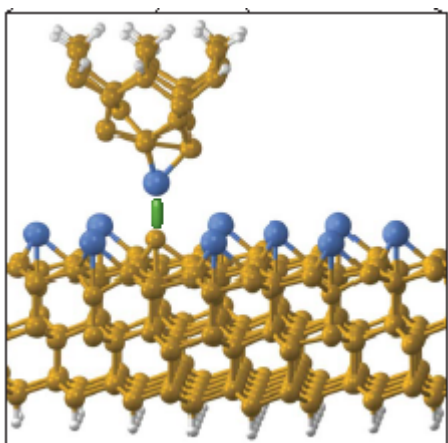


Рис. 1. Игла *AFM* сканирует поверхность.

В работе [1] коллектива из Японии, Испании и Чехии предложена методика, позволяющая определить тип атома посредством *AFM*. Идея заключается в следующем. Если абсолютная величина максимальной силы F , действующей на иглу *AFM* со стороны того или иного атома зависит от конструкции острия, то ее относительная величина практически одна и та же для разных игловок. Это было продемонстрировано как экспериментально (для различных атомов на поверхности кремния), так и путем расчетов. Оказалось, в частности, что $F_M/F_{Si} = 0.77 \pm 0.02$, 0.59 ± 0.03 и 0.72 ± 0.04 для $M = Sn, Pb$ и In соответственно.

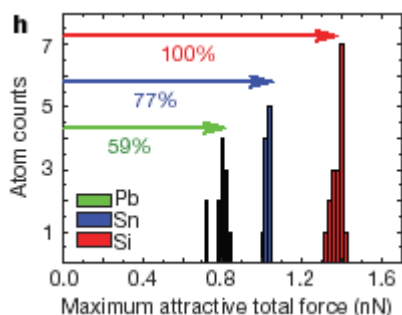


Рис. 2. Диаграмма распределения силы, действующей на иглу *AFM*, для "поверхностного сплава" *Si/Sn/Pb*.

Исследование "поверхностного сплава" из атомов *Si*, *Sn* и *Pb* показало, что, действительно, распределение F_M/F_{Si} представляет собой три четко различимых пика, отвечающих атомам разного

личимых пика, отвечающих атомам разного сорта (см. рис. 2). Таким образом, "откалибровав" *AFM* один раз на известных системах, можно впоследствии использовать его для определения не только атомного строения, но и химического состава различных поверхностей. Это очень пригодится при разработке новых полупроводниковых нанотехнологий. Пока, правда, не вполне ясно, любые ли атомы *AFM* окажется в состоянии различить. Ведь может статься, что для каких-то элементов "нормированные силы" окажутся одинаковыми в пределах погрешности.

1. Y.Sugimoto et al., *Nature* **446**, 64 (2007)

Бинарный квазикристалл $YbCd_{5.7}$

Икосаэдрические квазикристаллы (quasicrystals, *QC*) представляют собой единственный класс *QC*, в которых атомы расположены квазипериодически во всех трех пространственных направлениях (в других классах *QC* по крайней мере в одном, а иногда и в двух направлениях имеет место обычная для кристаллов периодичность). Отличительной особенностью этих *QC* является сочетание дальнего атомного порядка с "некристаллографическими" типами симметрии, такими как симметрия относительно поворота вокруг оси пятого порядка. Для понимания физико-химических свойств *QC* (как и любого твердого тела) необходимо прежде всего знать характер взаимного расположения составляющих его атомов, то есть кристаллическую (а точнее – квазикристаллическую) структуру. Экспериментальные исследования икосаэдрических *QC* стандартными кристаллографическими методами осложнены тем, что большинство таких *QC* являются тройными соединениями с довольно сильным "химическим беспорядком".

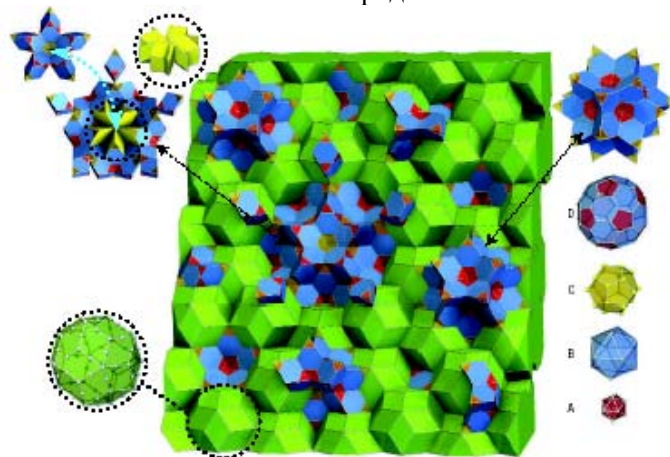


Рис. Структура квазикристалла $YbCd_{5.7}$ в плоскости, перпендикулярной оси пятого порядка. Атомы *Yb* и *Cd* показаны желтым и серым цветом соответственно. А, В, С, D – первые четыре "атомные подоболочки" многогранника, изображенного справа вверху и являющегося одним из "строительных блоков" квазикристалла.

Первый бинарный икосаэдрический *QC* $YbCd_{5.7}$ был открыт сравнительно недавно [1]. В работе [2] специалисты из Японии и Франции представили результаты исследования структуры этого *QC* методом дифракции рентгеновских лучей от синхротронного источника. Образец (одно большое зерно) имел форму

кубика с длиной ребра около 0.3мм. Было получено более 5 тысяч брэгговских рефлексов. Для их анализа использована так называемая "кристаллография гиперпространства", согласно которой икосаэдрический QC представляет собой проекцию воображаемого 6-мерного кристалла на 3-мерное "физическое" пространство. В итоге получилась довольно сложная картина (см. рис.). Подробное описание структуры $YbCd_{5.7}$ авторы [2] обещают дать в следующей публикации. А пока отмечают, что ее можно представить себе как совокупность взаимопроникающих ячеек (структурных блоков). Этим ячейкам принадлежат 93.8% атомов (остальные "склеивающие" атомы расположены между ячейками). Полученные в [2] результаты, которые сами авторы скромно называют "беспрецедентным событием в истории икосаэдрических квазикристаллов", помогут, в частности, лучше разобраться в причинах устойчивости этих необычных материалов.

1. A.P.Tsai et al., *Nature* **408**, 537 (2000)
2. H.Takakura et al., *Nature Materials* **6**, 58 (2007)

НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

Ключевые моменты развития нитридных светодиодов и лазерных диодов

Нитридные полупроводники чрезвычайно привлекательны для оптических устройств коротковолновой области. В статье известного разработчика GaN светодиодов I.Akasaki [1] представлены ключевые моменты в их разработке (с его точки зрения). Первая эпитаксиальная GaN пленка была выращена на сапфировой подложке методом гидридной газотранспортной эпитаксии в Принстоне (США) еще в 1969 г. [2]. Тогда же была определена зонная структура полупроводника; ширина запрещенной зоны составляет при комнатной температуре 3.39эВ. В 1971 г. Дингл с коллегами (Bell Telephone Lab., США) [3] продемонстрировали вынужденное излучение GaN в ультрафиолетовой области при 2К. В том же году в Принстоне был представлен первый синий светодиод на основе нитрида галлия на структуре металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) [4].

В 1979 г. в Matsushita Res. Inst. (Токио, Япония) был сделан светодиод (с МДП-структурой) на основе нитрида галлия [5], выращенного на структурированной подложке из SiO_2 методом гидридной газотранспортной эпитаксии. Конструктивно он состоял из катода $n+GaN$, утопленного в диэлектрический слой GaN и покрытого сверху слоем $n-GaN$. КПД светодиода был небольшим (0.12%), тем не менее, в то время это было рекордом. Такие светодиоды не были запущены в коммерческое производство вследствие сложностей с контролем толщины слоя диэлектрика.

Были и другие проблемы с полупроводниковыми оптическими устройствами на GaN . В частности, получаемые пленки имели большое количество дефектов и дислокаций. И, кроме того, в образцах остаточная плотность электронов превышала 10^{19}см^{-3} , что делало невозможным получение дырочной проводимости и затрудняло управление электронной проводимостью. Как же обошли создавшиеся препятствия?

I.Akasaki с коллегами (Matsushita Res. Inst., Токио, Япония) в 1979 г. впервые для выращивания пленки GaN на сапфировой подложке использовали металло-органическую газотранспортную эпитаксию в атмосфере NH_3 при температурах более 1000К. Однако результат не был удовлетворительным – эпитаксиальная пленка обладала большим количеством дефектов. Объяснялось это сильным различием поверхностных энергий сапфира и GaN . Чтобы этого избежать, решили использовать буферный слой AlN , наносимый при низких температурах и схожий по свойствам и с подложкой, и с полупроводником. Эти исследования увенчались успехом – в 1985 г. была получена пленка GaN высокого качества [6], в которой наблюдался резкий пик фотолюминесценции вблизи края зоны, в то время как излучение с более глубоких уровней было менее интенсивным, чем у образцов, полученных без буферного слоя (рис. 1). Остаточная концентрация электронов в новых пленках составляла 10^{15}см^{-3} ! Таким образом, применение буферного слоя привело к значительному повышению качества пленки и существенно улучшило люминесцентные и электронные свойства GaN . В 1990 г., эта же группа получила вынужденное излучение УФ-диапазона при комнатной температуре [7], необходимое для создания GaN лазера.

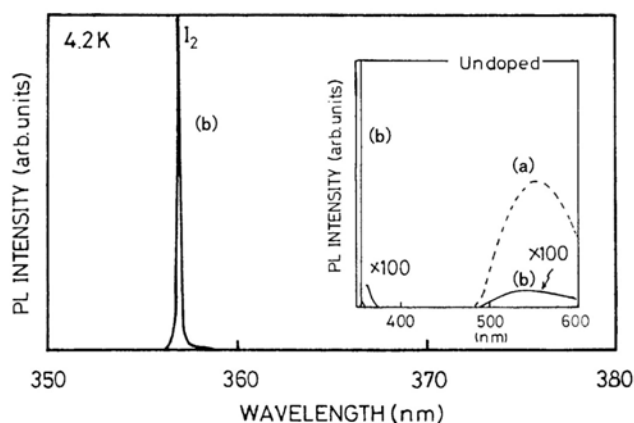


Рис. 1. Спектр люминесценции нелегированного GaN , выращенного на сапфировой подложке без буферного слоя (а) и с буферным слоем (б).

Следующим этапом были работы по получению дырочной проводимости в нитриде галлия и управлению электронной проводимостью. Как уже отмечалось, использование буферного слоя приводило к улучшению качества и электронных свойств образца. Однако даже добавление акцептора (Zn) не приводило к возникновению дырочной проводимости, т.к. концентрация остаточных электронов была слишком высокой. Умень-

шить концентрацию удалось в 1989 г. в Университете Нагоя (Япония) с помощью примеси Mg в качестве акцептора и облучения пленки электронным пучком в процессе её выращивания [8]. Необходимое управление электронной проводимостью (GaN в 1989 г. [9] и $AlGaN$ в 1991 г. [10]) было достигнуто легированием SiH_4 . Вольт-амперная характеристика первого синего GaN светодиода на $p-n$ переходе представлена на рис. 2.

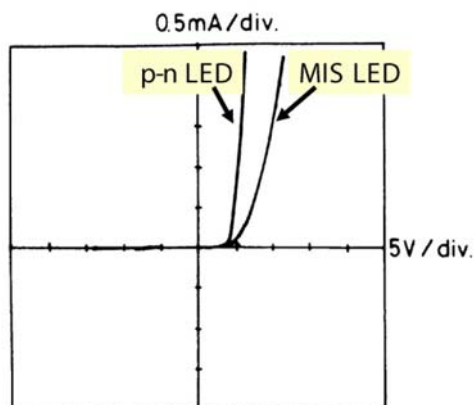


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики GaN светодиодов: $p-n LED$ – светодиод на $p-n$ переходе; $MIS LED$ – светодиод на структуре МДП.

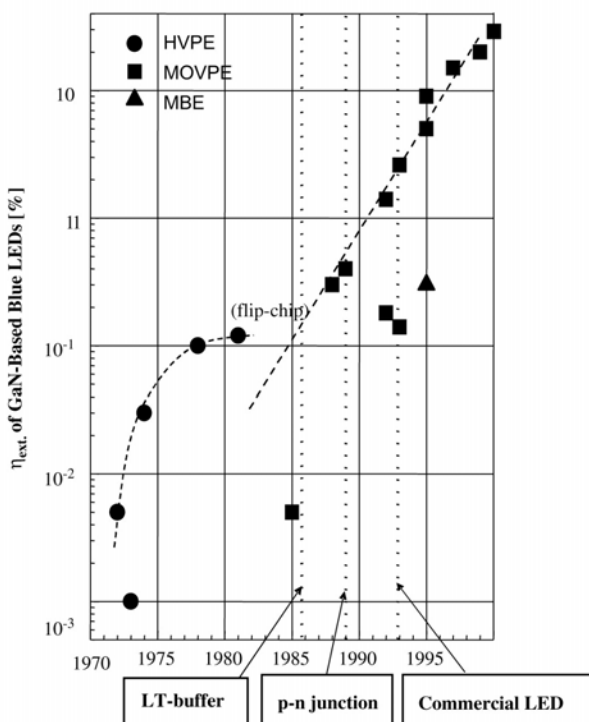


Рис. 3. Хронология изменения квантового выхода нитридных светодиодов.

Итак, создание высококачественных эпитаксиальных GaN пленок и впоследствии $p-n$ перехода привело к успешному развитию и коммерциализации производства GaN высококонтрастных светодиодов, лазерных диодов синего диапазона и высокоскоростных транзисторов. Хронология роста квантового выхода η_{eff} нитридных светодиодов представлена на рис. 3. Следует отметить существенный рост η_{eff} после создания $p-n$ пере-

хода на качественной GaN пленке. В настоящее время синие светодиоды на основе $GaInN/GaN$ многоквантовых ям имеют η_{eff} более 35%, при этом они существенно ярче ламп накаливания.

Следует отметить, что в GaN , выращенном даже на буферном слое, содержались разного рода дефекты (их концентрация 10^8 - 10^{10} cm^{-2}), которые не сказывались на параметрах лазерных диодов, однако влияли на их срок службы. Такие методы как микроканальная эпитаксия, выращивание на структурированной подложке позволили снизить концентрацию дислокаций до 10^7 cm^{-2} . И если в 1997 г. время работы лазерных диодов составляло 10000 часов при комнатной температуре и 2 мВт выходной мощности [11], то уже к 2000 г. время работы лазерных диодов увеличили до 15000 часов при $60^\circ C$ и 30 мВт мощности [12].

М.Смаев

1. I. Akasaki, *J. Cryst. Growth*, **300**, 2 (2007)
2. H.P. Maruska et.al., *Appl. Phys. Lett.* **15**, 327 (1969)
3. R. Dingle, et.al., *Appl. Phys. Lett.* **19**, 5 (1971)
4. J.I. Pankove, et.al., *J. Lumin.* **4**, 63 (1971)
5. Y. Ohki, et.al., *Inst. Phys. Conf. Ser.* **63**, 479 (1981)
6. H. Amano, et.al., *Appl. Phys. Lett.* **48**, 353 (1986)
7. H. Amano, et.al., *J. Appl. Phys.* **29**, L205 (1990).
8. H. Amano, et.al., *J. Electrochem. Soc.* **137**, 1639 (1990).
9. H. Amano, et.al., *Mater. Res. Soc. Extr. Absr. EA-21*, 165 (1990)
10. H. Murakami, et.al., *J. Crystal Growth* **115**, 648 (1991)
11. S. Nakamura, et.al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, L1568 (1997)
12. S. Nagahama, et.al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, L647 (2000)

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК Некоторые итоги в российской нанотехнологии

В марте с.г. вышел очередной выпуск журнала «Российские нанотехнологии» (www.nanorrf.ru), в одной из публикаций которого подведены некоторые итоги выполнения ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на период 2005-2006 г.г. по направлению «Индустрия наносистем и материалов». Интересны некоторые статистические данные. В выполнении проектов этого направления в рамках более 700 контрактов приняли участие около 800 исследователей и инженеров из 238 организаций из 7 федеральных округов, 55 краев и областей РФ.

Наибольшее число контрактов приходится на институты РАН (266, из них с СО РАН – 65, УрО РАН – 12, ДВО РАН – 7) на общую сумму – 1456.8 млн. руб. С организациями Агентства по образованию заключено 240 контрактов на сумму 1151.8 млн. руб., с МГУ им. М.В.Ломоносова – 54 контракта на 220.8 млн. руб. По

результатам выполнения контрактов опубликовано 679 научных статей и зарегистрировано 193 патента.

Следующие результаты, полученные при выполнении контактов, отмечены как лучшие (из длинного перечня отобраны имеющие отношение к тематике ПерсТа).

ООО «Нитридные кристаллы» совместно с ООО «Софт-Импакт» - технология и оборудование для производства подложек нитрида галлия.

Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН совместно с ООО «Станкотех» и ООО «Кристалл-Электроника» - комплекс технологий для качественной напоялировки подложек из сапфира и карбида кремния.

НТЦ микроэлектроники и субмикронных гетероструктур при ФТИ им. А.Ф.Иоффе – измерительный комплекс для контроля электрофизических, оптических и цветовых характеристик полупроводниковых светоизлучающих гетероструктур и приборов на их основе.

ФГУ «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» совместно с ГОУ ВПО «МИСиС» - функциональные кристаллические и наноструктурированные углеродные конструкционные материалы и технологии их производства.

ЗАО «Полупроводниковые приборы» - конструкция асимметричных наноразмерных гетероструктур для диодных лазеров, технология изготовления сверхмощных лазерных матриц.

ЗАО «Научное и технологическое оборудование (С.-Петербург) – комплект вакуумного технологического оборудования для производства приборов нанoeлектроники на основе соединений SiGe

и A^3B^5 – установки электронно-лучевого и магнетронного напыления, плазмохимического травления, нанесения диэлектрических пленок и термического отжига.

ФГУП «Гиредмет» - опытный образец ростовой установки для выращивания монокристаллов A^3B^5 методом вертикальной направленной кристаллизации в движущемся температурном поле, изготовлены опытные образцы монокристаллов GaAs, InAs, GaSb, InSb.

Филиал ФГУП «НИФХИ им. Л.Я.Карпова» - технологии и опытное производство новых марок высококачественных легированных и полуизолирующих пластин A^3B^5 : ядерно-легированного (ЯЛ) GaAs, ЯЛ InAs, ЯЛ InP, ЯЛ InSb.

ФГУ «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» - технология получения и образцы крупных (1-10 карат) синтетических алмазов.

Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН – комплект вакуумного технологического оборудования для производства приборов нанoeлектроники на основе соединений SiGe и A^3B^5 .

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН – технология изготовления микросхем на основе функционально-интегрированных резонансотуннельных и полевых гетероструктурных транзисторов.

ФГУП «НИИ физических проблем» им. Ф.В.Лукина – технология получения алмазоподобных углеродных и нанокарбидных пленок для микроэлектронных микросистемных элементов и радиочастотных устройств.

Российские нанотехнологии, 2007,2, №1-2, с. 12
(www.nanorf.ru)

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

Научный редактор К.Кугель

Редактор: С.Корецкая

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

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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