

Долгая дорога к светодиодам.

Свет снаружи — взгляд изнутри

Владимир Семенович Абрамов — человек-легенда, корифей светодиодной отрасли. Мало кому удавалось, я думаю, побеседовать с многоуважаемым господином Ньютоном про то самое пресловутое яблоко, а у нас сегодня есть возможность задать вопросы человеку, который присутствовал при рождении светодиодных источников света.



— Давайте начнем разговор с открытия эффекта излучения от *p-n*-перехода. Это действительно было Открытие с большой буквы, недаром оно заслужило Нобелевскую премию. Как это выглядело «изнутри», какие мысли были у людей, с которыми Вы работали? Какова предыстория всего этого?

— Конечно, такие высокие слова прежде всего относятся к Жоресу Ивановичу Алфёрову, ко всем известному Валерию Петровичу Сушкову. Я тут занимаю более скромное место. А начиналось это все для меня случайно. Мне было совершенно непонятно, как может кусок полупроводника, непрозрачный, тот же арсенид галлия, светиться. До этого я занимался газовыми лазерами, и очень успешно. Это было во Фрязино. В то время один мой очень талантливый коллега, которого как раз можно причислить к когорте великих

физиков, перешел работать в Москву. Ему было нужно измерить некоторые параметры вот в этих самых непрозрачных материалах: арсенид галлия, галлий-алюминий-мышьяк и т. д. Нужно было изготовить специальный лазер, тогда они еще не продавались. Для этого пригласили меня, и я сделал газовый ИК-лазер (невидимого инфракрасного диапазона). В результате, они измерили то, что хотели, а я думал, что всю жизнь буду заниматься лазерами. Но, закончив эту работу — измерения времени жизни носителей, которые газовый лазер может генерировать с очень высокой частотой, — я получил предложение перейти на полупроводники. Для меня это было поначалу совершенно непонятно, я заканчивал Университет (МГУ), и основным направлением у меня была оптика. Поэтому пришлось одновременно работать и ходить в МГУ на курсы Бонч-Бруевича. И так постепенно я, наконец, увидел и понял, что такое излучающий *p-n*-переход. А дальше очередной поворот судьбы, который коснулся очень многих людей. Жорес Иванович Алфёров и Валерий Петрович Сушков проходили практику в США, где они близко познакомились и решили, что путь, который надо пройти, достаточно длинен и нужны люди, которые уже что-то понимают в этом излучающем спектре. По их возвращении состоялась большая конференция, на которой просто предложили директору того предприятия, где работал В. П. Сушков, заняться некогерентной оптоэлектроникой. Жорес Иванович работал с когерентной оптоэлектроникой, было такое разделение — они делали лазеры, а мы некогерентные светодиоды, индикаторы и т. д.

Вот такое было начало. А далее наш министр «проинтуичил», что у этого направления большое будущее, и наш институт «Сапфир» сделал головным по некогерентной оптоэлектронике, и объединил с нами несколько заводов — «Старт», «Протон» (г. Орел) и другие, которые должны были на основе наших разработок выпускать продукцию. Кстати, на этих заводах тоже велись собственные

разработки. Так организовался колоссальный конгломерат — Новосибирск, Томск, Фрязино, Орел, Москва, Воронеж... Все эти организации занимались некогерентной оптоэлектроникой, а когерентной — институт им. Стельмаха «Полус» в Москве и т. д.

Первые весомые шаги были сделаны в 1973–1974 гг., когда мы поняли, что нужно по-новому строить производство, нужно, чтобы светодиоды разрабатывались на оборудовании, подобном тому, на котором разрабатывались интегральные схемы и гибридные микросхемы. Где-то к 1980 г. у нас был такой полупроводниковый модуль — A^3B^3 , где шла вся линейка — от роста и до готовых приборов.

— Раз министр дал добро и подтянул нужные предприятия, можно сказать, что это уже постановление на промышленные рельсы. До получения Нобелевской премии оставалось еще около 30 лет... Но тогда уже с этим излучением, о котором мы начали говорить, знали, что делать. И естественно, что этим занимались и за границей. Каким был взгляд из-за рубежа?

— Я рассказал о научно-производственном направлении. Но Академия наук в лице Жореса Ивановича (он уже тогда стал членкором РАН) очень четко отреагировала на это, и при РАН была сформирована секция по изучению материалов A^3B^3 , в ней были представлены все союзные республики. Секция собиралась два раза в год, и один раз в год проходила конференция в какой-либо республике. Привлекались местные ученые, и это было достаточно широкое собрание. То есть это дело пустило корни.

За время существования этой секции мы приняли участие в двух международных конференциях. Первая проходила в МГУ, и на ней мы увидели всех тех, кто стоял у истоков. Доклады, которые делали советские ученые (лаборатория Алфёрова, Московский университет и т. д.), имели колоссальный рейтинг. Иностранцы все фиксировали, потом требовали соответствующую литературу, и на этих конференциях завязывалось очень много контактов. Мы стали печататься в иностранных источниках. Уровень наших ученых именно в этой области был настолько высок, что когда наше советское хозяйство развалилось, очень много народу оказалось в лабораториях заводов США.

— То есть за рубежом понимали, за чем будущее. Но, понимая, что у них не хватает научного ресурса, они начали черпать его в России.

— Да, им не хватало именно научных ресурсов. А оснащение у них было, конечно, куда лучше. Когда в России наступила свобода передвижения, мы наконец увидели то оборудование, о котором всегда мечтали. Несмотря на то, что у нас были очень неплохие лазеры и оборудование для некогерентной оптоэлектроники, в какой-то степени та самая MOCVD-технология не пошла. Конечно, были кое-какие работы (тот же институт им. Стельмаха «Полюс»), но крупный порыв пошел именно из-за рубежа. Германия первая сделала «суперстанок» и дальше все, что касается применяемых в этой машине ингредиентов (газы и т. д.). В свое время в Подмоскowie был прекрасный завод по очистке газов и других ингредиентов до высокой степени, но где-то в 1991–1993 гг. его не стало. В этом смысле мы разработали главное — основу того, откуда получается кристалл, то есть сырье, технологию и т. д. У нас было очень много патентов и статей, и в этом россияне шли впереди.

— Подытоживая, можно сказать, что к нашим разработкам иностранцы проявляли большой интерес и, возможно, такое технологическое предложение, которое было сделано с точки зрения газофазной эпитаксии, пошло оттуда потому, что технологии у них в то время были более развиты, чем у нас. Да еще наступили 90-е...

— Я хотел бы уточнить — что касается собственно эпитаксии, мы были «впереди планеты всей», но жидкофазная эпитаксия не давала той структуры поверхности, которая позволяла бы путем фотолитографии получать «тонкие вещи» — малые размеры p - n -переходов и т. д. Поэтому в 90-х мы просто остановились.

Конечно, были чудесники, которые придумывали технологии (в лаборатории Алферова, в Калуге), путем которых получали почти такие же узкие квантовые ямы. Но процент выхода был неоправданно малым.

— То есть в какой-то момент стало ясно, что дальнейшее развитие всей идеи и всей отрасли промышленности уже за газофазной эпитаксией. И здесь мы физически отстали. Потому что у нас в 90-е годы объективно почти вся промышленность встала и развалилась. Таким образом, начиная с этого момента мы констатируем, что та остроумная идея, которая была реализована, — излучение из полупроводника как таковое — и лидерство перешло на Запад с нашей территории. И тут следует задать вопрос — а что же делать дальше?

— На мой взгляд, очень трудно будет найти какой-либо путь, который позволил бы подняться нам на тот уровень, который был. Что касается дальнейшего развития, я думаю, что в какой-то момент технология дойдет до уровня, когда можно будет получить максимальный КПД. И в результате этого практически весь остальной арсенал излучающих приборов

перейдет на полупроводниковое излучение. Сегодня средний уровень отдачи от тех приборов, которые существуют «в природе», выше всех ламп накаливания и т. д., но еще не больше, чем у газоразрядных ламп. И чтобы действительно была достигнута мощная экономия, надо выйти на уровень КПД порядка 80%. Сегодняшний переход на всякие излучающие приборы для освещения в квартире не выдерживает никакой критики, это и дорого, и сильно зависит от изготовителя, и не приносит тех ощутимых результатов по экономии электроэнергии, которые ожидалось.

Таким образом, нужны идеи того, как вырастить полупроводник с внешним квантовым выходом 80%.

— Но ведь теоретически это возможно? Внутренний квантовый выход составляет 100%. Сжигая, скажем, дрова или свечку, понятно, что не получить 100%-ный выход... А здесь возможно. И мы говорим, что эта технология полупроводникового света — она, в общем-то (пусть мы пока не знаем, какими средствами), теоретически должна быть впереди других.

Возвращаясь к началу нашего разговора, давайте подчеркнем, что в те времена никто даже подумать не мог, что идея применима для освещения. Получили излучение и эффект, мысль работает. Но я сомневаюсь, что в 70-е годы кто-то мог себе представить светодиоды в уличных фонарях.

— Абсолютно точно. Но в те годы стояла другая задача, и предполагаемые тогда применения были полезны не для большинства людей, а для специальных применений (в военном деле). И тогда были сделаны интересные линейки с шагом 20–30 микрон, которые потом работали на принципе сканера: на них подавалась информация со спутника, под ними проходила бумага и они передавали прямо то, что спутник снял на другой стороне земного шара. Чтобы светодиоды засветились в уличных фонарях, понадобилось 15 лет. Сначала нужно было сделать белый светодиод. Еще в 1977 г. на нашем предприятии был получен патент по первому полноцветному излучателю. Не сразу было понятно, что в конце концов свет будет не очень ярким, так как и сам GaN, который мы тогда пытались сделать, и люминофор для покрытия давали очень малый внешний квантовый выход. Поэтому об освещении мы и не задумывались. Где-то в 1993–1994 гг. японцы сделали такой люминофор и первыми (хотя все это основывалось на разработках советских ученых) сделали GaN с p - n -переходом, покрыли своим люминофором, и все началось... Это и привело к тому, что сегодня мы видим светодиоды в фонарях.

Следует, наверно, говорить об общемировом опыте, поскольку получилось так, что авторство дифференцировать сложно: открыли эффект у нас, где-то GaN сделали по-другому и увидели, что это уж точно лучше спиральной лампочки. Теперь надо идти дальше.

— Если сделать шаг немного в сторону от светодиодов — да, Накамура приложил большие усилия, чтобы сделать светоэф-

фективный материал, чтобы получить синее излучение. Тот люминофор, который в люминесцентных лампах, он не годится, хотя идея та же — стоковский эффект и т. д. Но у кого возникла идея, как сделать этот люминофор эффективным?

— Здесь обязательно нужно сказать о Науме Петровиче Сощине, поскольку и по длительности, и по качеству работ в этом направлении существующий на сегодня люминофор разработал именно он и пытается сейчас сделать в промышленном варианте наиболее эффективный для синих и фиолетовых излучателей. Здесь опять заслуга советских и теперь уже российских ученых.

— В 90-е, когда все рушилось прямо на глазах, а мы ходили беременные идеями, все же существовали предприятия — к примеру, тот же «Корвет Лайтс», где все было сконцентрировано, «Протон», который выстоял... «Пульсар», Фрязино... Можно ли рассуждать о том, что именно эти предприятия в 90-е годы не дали умереть идее на нашей земле?

— Да, я думаю, что они как раз смогли идею уберечь. Но они не смогли выйти на уровень количества при сохранении качества. Вот в чем беда. Частным предприятиям нужны большие вложения. Одна установка для MOCVD (ГФЭ) стоит под \$2 млн, а их надо несколько, а потом еще газы и т. д. Так что в конечном итоге они не выдержали конкуренции с «великой китайской стеной». Но все эти места-конгломераты, объединявшие ученых, и были хранилищами идей, пролежавших там до нынешнего дня.

— Мы уже говорили о том, что можно сделать свет из полупроводника самым эффективным. Но если говорить именно технически (а технологии сейчас шагнули далеко вперед, за границей есть уже КПД 60% и, вероятно, скоро появится 70% в тех кристаллах, которые выращиваются уже даже в промышленных масштабах), все равно это совершенствование тех технологий, которые существовали в прошлом веке. Интересно Ваше мнение о том, есть ли какие-то предпосылки к появлению совершенно новой технологии?

— Именно для того, чтобы нам вырваться вперед, нужно принципиально новое решение вариантов получения полупроводникового материала с таким высоким КПД. Есть всякие наметки, есть подозрение, что этим кто-то занимается. Когда совершенно четко определились с тем, что вышли на уровень 60% на MOCVD-технологии, стало ясно, что нужно найти что-то новое. Вспомните, как быстро прогрессировали от 20 до 80%, а с 80 до 85% — прошли годы. Теперь нужна какая-то идея, и, я думаю, она уже кое-где созрела.

Еще одно очень интересное направление — OLED. Единственное, на мой взгляд, это будет очень интересно только в сочетании с неорганической светодиодной тематикой, потому что с OLED невозможно работать на морозе, а все, что касается внутри помещений, — это реально. Достигнут достаточно высокий уровень результатов, но все же мы в большинстве своем северная страна, и нам надо бы –60 °C.

— Мы сейчас говорили, что мы можем «высекать» свет из принципиально новых материалов. Галогенки нас посетили и уже оставляют и, благодаря нашему правительству, в скором времени покинут навсегда. Но есть в нашей отрасли и существенная проблема. Раньше это был удел физиков по полупроводникам, материаловедов и тех, кто занимался структурами. Но излучение стало таковым, что оно уже все измерено, имеет и цветность, и силу света, и светотехническое описание. Светодиод стал интеллектуальным, поскольку к нему примешалась светотехническая составляющая, которую надо держать в голове. Мы все, и, насколько я знаю, даже Валерий Петрович Сушков, были вынуждены освоить все эти характеристики и параметры излучения, иначе мы не могли бы понять результат — полученный КПД и проч. Еще в то время было ясно, что самая большая проблема и единственное спасение, которое позволит развить всю эту тематику, — объединить в одной голове две науки: физику полупроводника и светотехнику. Выскажу такую мысль: мы уже признали, что светодиоды являются светотехническим устройством, но у нас не оказалось школы таких специалистов, которые имели бы в своей голове интегрированные знания. Как вы считаете, что мы могли бы здесь сделать?

— Конечно, было бы очень хорошо, если бы такое направление появилось в МГУ, МИСиС, МЭИ, в московском Физтехе. В Питере Жорес

Иванович организовал некую школу, которая готовит примерно таких специалистов... Но это действительно серьезная проблема. К примеру, народ уже начал рассматривать, как же влияет та или иная лампа на здоровье человека. Рождаются всякие ответвления этой науки, которые изучают, можно ли этот полупроводник с его светом употреблять для работы ученика за партой, то есть обозначился уход еще и в медицину. Поэтому так много параметров. Раньше-то мы не задумывались, яркий ли свет и так далее. Оптоэлектроника должна подразделяться на различные составляющие. Человек действительно должен в голове держать внешний квантовый выход, свет, длину волны, изменение параметров от температуры, изменение параметров от токов и т. д. И, естественно, должно быть знание физики структуры этого излучения.

— Вот я и хотел обозначить эту проблему: у нас люди знают либо одно, либо другое. Есть компетентные организации, которые знают светотехнику, но нельзя компетентно провести исследования, если не знаешь, что и как у тебя там светится, чего ожидать. И это является тормозом, даже идеологически. То есть некомпетентное представление этих идей там, где принимаются решения, приведет к тому, что не будет дан ход НИОКР и т. д. Кстати говоря, сейчас мы уже доверяем светодиодам и светофоры, и медицинские исследования...

— До чего светодиод докатился... В нашем разговоре мы не отметили самое главное — качество и долговечность. Если мы ставим лампу накаливания в светофор для ж/д, где от работы этого светофора очень многое зависит, мы должны быть готовы к тому, что она прослужит максимум 1000 ч. В таком применении трудно представить что-либо, сравнимое со светодиодом, потому что гарантированно в течение 50 000 ч светофор будет работать так, как ему положено. Длительный срок службы — одна из главных причин того, что светодиоды вытесняют очень многие излучающие элементы, а не только лампы накаливания, именно там, где требуется четкая работа в течение десятков тысяч часов и энергоэффективность. И мы сегодня как раз работаем над тем, чтобы сделать прямую замену лампам накаливания в ж/д светофорах.

— Я считаю, что сигнальная техника, которая должна быть высоконадежной, — самое прямое назначение светодиодов, которое было еще тогда задумано людьми, стоявшими у истоков. Ученые получали этот эффект, фиксировали его, радовались тому, что у них это получилось. Потом они оставили светодиодам лишь небольшой фрагмент их функционала и пошли дальше. Ни одна техника не развивалась такими темпами, как это направление, и хочется надеяться, что так будет и в дальнейшем. ●

Интервью провел Сергей Никифоров