

# Нобелевская премия за синий светодиод

Недавно в прессе прошла информация о том, что японские специалисты получили Нобелевскую премию за изобретение эффективных синих светодиодов, обеспечивающих яркие и энергосберегающие источники белого света. В связи с этим главный редактор нашего журнала Сергей Никифоров побеседовал с Евгением Наумовичем Вигдоровичем — доктором технических наук, профессором МГУПИ, лауреатом Госпремии СССР.



Евгений Наумович Вигдорович

— Не могла ли эта премия остаться в нашем отечестве и являться продолжением того, за что она была получена Алферовым 14 лет назад? Какова вообще истинная картина положения дел с открытием (разработкой) излучения синего спектра в нитриде галлия? Ведь формулировка премии — за промышленное освоение именно энергоэффективного светодиода, открывшего дорогу к твердотельному освещению...

— Японцы промышленно освоили синие светодиоды на основе нитрида галлия, при этом они являлись основными участниками всех этапов развития этого направления. В лаборатории профессора Акасаки технология разрабатывалась очень давно. А у нас в Зеленограде в 1963 г. был образован научный центр. Его основным направлением было создание интегральных схем. Центр назвали Центром микроэлектроники, но уже очень скоро возможности институтов, которые там есть, в том числе изучающих материаловедение, физические проблемы и так далее, позволили несколько расширить эту тематику. Начали делать дискретные транзисторы, в том числе мощные, малошу-

мящие и др. И стали потихоньку подходить к оптоэлектронным приборам, материалам — до оптоэлектроники. И тут возникла первая проблема. Когда мы начали оформлять, просить оформить НИОКРы по оптоэлектронике, нас спрашивали — а вы откуда? Из Зеленограда. Но Зеленоград — это же центр микроэлектроники!.. А разве оптоэлектроника это не микроэлектроника? Началась вот такая казуистика с понятиями.

С самого начала была сделана ошибка, вообще неправильно было выбрано название — Центр микроэлектроники. Американцы придумали термин «микротехнология». То есть технология, в которой формируются элементы микронного размера, позволяющая повысить степень интеграции элементов и повышающая функциональные характеристики приборов всех частотных характеристик.

Но дальше произошло необъяснимое. Мы же, как всегда, пошли своим путем. Наши большие головы ввели термин «микроэлектроника» и предложили новую классификацию — по размеру элементов. Хотя это несколько забавно звучит: «метрэлектроника», «сантиметрэлектроника». Правда, «наноэлектроника» звучит вроде бы красиво. Все было бы не плохо: подумаешь, еще один способ классификации. Но вся беда в том, что под микроэлектроникой стали понимать раздел электроники производства интегральных схем. Так, основной задачей зеленоградского Центра стала разработка и производство элементной базы электронно-вычислительных машин. В результате при формировании на самом верху тематики зеленоградских предприятий все попытки протолкнуть работы по оптоэлектронике категорически отвергались. Парадокс, но оптоэлектроника оказалась вне микроэлектроники.

Несмотря на то, что основной задачей зеленоградского научного Центра при его организации было создание отечественных вычислительных комплексов на базе ми-

кроэлектронных компонентов, естественно, созданных на основе базового материала микроэлектроники — кремния, уже в конце 60-х годов стало очевидно, что дальнейший прогресс электронной техники невозможен без широкого использования оптоэлектронных элементов. В настоящее время все большее развитие получает оптоэлектроника, открывающая реальные пути дальнейшего развития электронной техники.

В конце концов, в 1972 г. разрешили открыть в Зеленограде тематику по синему свету. С 1969 г. мы уже занимались исследованиями по красному — знаменитые фосфиды галлия. Это значит, что мы воспроизводили технологию, развитую американцами. Преимущество структуры арсенид-фосфид галлия для красных светодиодов заключалось в том, что эти материалы дешевые.

— Арсенид-галлиевые подложки до сих пор там, в Зеленограде, и производятся?

— Нет. Все закрыто. Закрыто, потому что некому продавать. И вообще монокристаллы арсенида галлия остались в минимальном масштабе производства, где-то в ГИРЕДМете. Уже в начале 70-х годов стало ясно, что если мы не сделаем синие светодиоды, то не сможем выпускать полноцветные экраны, и вообще не сможем всю цветовую гамму воспроизвести. Поэтому в 1972 г. была открыта первая тема, которая называлась «Минералит». Все материаловедческие проблемы оптоэлектроники пытались решать на приборных НИИ (НИИ «Пульсар», НИИ «Сапфир» и пр.), но вскоре стало ясно, что с этими проблемами они не справляются.

Инициатором работ в Зеленограде в области оптоэлектронного материаловедения был Малинин Андрей Юрьевич (в то время директор НИИМВ). На основании анализа тенденций развития оптоэлектроники, проведенного ведущими специалистами НИИМВ, ему удалось сформировать Программу развития оптоэлектронного материаловедения, которая была утверждена приказом по МЭП за № 144с от 09.06.72. Основной задачей на ближайшие годы была разработка новых материалов на основе соединений  $A^{III}B^V$  и их твердых растворов:

- методом жидкофазной эпитаксии для дискретных высокоэффективных элементов оптоэлектроники;
- методом газофазной эпитаксии для твердотельных многоэлементных устройств оптоэлектроники.

Главными разработчиками (конструкторами) по этим направлениям приказом № 04 ДСП по НИИМВ от 18.09.72 были назначены к. т. н. (в то время) Невский Олег Борисович и я.

Работа в этом направлении, как и все в Зеленограде, начиналась практически с нуля. Не было ни оборудования, ни исходных веществ, ни подложечного материала. Не было метрики, а созданные для кремниевой тематики физические и химические методы исследования материалов не годились для исследования соединений  $A^{III}B^V$ . Нужно отдать должное руководителям НИИМВ Малинину А. Ю. и Кузнецову Ю. Н., которые всячески способствовали созданию на предприятии научно-технической, исследовательской, технологической и производственной базы для разработки материалов этого нового типа.

Оказалось, что огромное количество отраслей нашей промышленности очень заинтересованы в использовании и дискретных, и твердотельных многоэлементных индикаторных устройств. Проявили интерес машиностроение, приборостроение, автомобильная и авиационная промышленности и др. Основной вклад в разработку устройств на основе полупроводниковых излучателей и расширение сферы их применения внесли тогдашний директор НИИ «Сапфир», руководитель ОКБ «Старт» и главные разработчики Рыжиков И. В., Сушков В. П. и Коган Л. М. Основой для развития этого направления на много лет стала отраслевая программа «Перелет», в рамках которой разрабатывалась широкая номенклатура излучателей для бортовых систем самолетов и для других устройств спецтехники. В конце 70-х к этим разработкам наконец присоединились и специалисты Зеленоградского НИИМП — Визбул А. Л., Еникеева К. Ш. и др.

Отдельно необходимо вспомнить о решении вопросов с эпитаксиальным оборудованием. Предприятием — разработчиком оборудования для эпитаксии соединений  $A^{III}B^V$  был назначен Зеленоградский НИИ точного машиностроения. Опыта в создании промышленного оборудования такого типа у предприятия не было, и зарубежная информация из-за научно-технической блокады СССР в то время отсутствовала. С целью сокращения сроков разработки оборудования и, соответственно, материалов на верхах было принято решение закупить через вторые (третьи или четвертые) страны две промышленные установки АМС-500 для хлоридно-гидридной эпитаксии, уже разработанные к тому моменту фирмой Applied Materials (США). Решили и купили. Одну полностью разобрали на элементы в НИИТМ для воспроизводства, другую передали в НИИМВ для освоения опытного производства. Необходимо отметить, что к тому времени (1983 г.) НИИТМ совместно с НИИМВ

уже разработали установку «Осаждение», но, к сожалению, эта установка по уровню своих конструктивных решений и автоматизации не позволяла организовать промышленное производство материалов и использовалась лишь для разработки технологии и получения опытных партий структур. Через полтора года после получения АМС-500 была создана и изготовлена отечественная эпитаксиальная установка «Эпитрон-С1». Каково же было наше удивление, когда мы увидели установку, абсолютно не похожую на прототип! Она была в три раза тяжелее, генератор ВЧ-нагрева был высотой под потолок и занимал больше места, чем вся установка. Из-за отсутствия в СССР необходимых комплектующих их разрабатывали в НИИТМ, а их размеры и характеристики были далеки от аналогов. Однако установка достаточно быстро заработала. На ее основе на заводе «Элма» было создано мощное (более 1 млн  $см^2$  в год) производство структур  $GaAs_{1-x}P_x/GaAs$  для излучателей красного свечения. Этот материал стал на ближайшие годы основным при изготовлении излучательных устройств, а опыт, полученный при создании элементной базы эпитаксиальной установки «Эпитрон-С1», лег в основу при создании новых отечественных установок для жидкофазной эпитаксии  $A^{III}B^V$  и кремниевой технологии.

Кроме структур  $GaAsP/GaAs$  для излучателей красного свечения в тот период разрабатывали структуру  $GaAlAs/GaAs$  для ИК-излучателей,  $GaAsP/GaP$  и  $GaP/GaP$  для излучателей желтого и зеленого свечения. Разработанные структуры нашли свое применение и для других устройств, например фотоприемников в различной области спектра. Для создания многоцветных систем отображения информации как минимум необходимо три основных цвета — красный, зеленый и голубой. Наиболее приемлемым материалом для этой цели был определен нитрид галлия. В СССР первым толчком для развития технологии нитрида галлия явился доклад Д. Панкова, представленный в 1972 г. на Международной конференции по люминесценции в Ленинграде, и последующая публикация в 1973 г. этой работы в «Известиях АН СССР». Конечно, в эти годы за рубежом уже стали появляться сообщения о работах с нитридом галлия и даже отечественные обзоры, позволяющие говорить о перспективности этого материала для оптоэлектроники. И как раз перед нашей, зеленоградской, лабораторией была поставлена задача получить структуру нитрида галлия. Из физики работы структур было ясно, что ширина запрещенной зоны этого материала большая. И был также альтернативный материал — карбид кремния. Но у карбида кремния огромное количество политипов. Там очень трудно попасть в длину волны, там свои сложности. Эпитаксии не было в принципе, монокристалл выращивали очень сложным дорогим методом. Причем в это время уже появились работы Д. Панкова, М. Маруско. Они уже в это время «ковырялись» у себя в лабораториях в Америке и Англии. И кое-какие материалы о перспективе развития уже появились в печати. Мы в 1972 г. начали

заниматься одновременно с ними разработкой технологий получения этих материалов.

#### — То есть, именно нитридов галлия?

— Да. Уже в 1975 г. в НИИМВ в моей лаборатории впервые в СССР была открыта тематика под шифром «Минералит» (рук. Андреев В. М.), в рамках которой планировалась разработка эпитаксиальной технологии  $GaN$ , изучение его свойств и создание излучателей в синей области спектра. В период с 1975 по 1982 г. было выполнено четыре НИОКР, в рамках которых были разработаны хлоридно-гидридная эпитаксиальная технология  $GaN$ , процессы легирования слоев донорными и акцепторными примесями, создавались методы измерения основных характеристик получаемых слоев и структур, изучался механизм электролюминесценции нитрида галлия и разрабатывались конструкции излучательных диодов на его основе.

Работы выполнялись совместно с МИЭТ (рук. Соколов Е. Б.), с Вологодским политехническим институтом (рук. Шагалов М. Д.), с Ленинградским политехническим институтом (рук. Сидоров В. Г.) и др. Исследованием структур и разработкой приборов на основе СаК занимались НИИ «Сапфир» (Москва) и НИИ «Мион» (Тбилиси).

В период с 1976 по 1980 г. в периодической печати появилось огромное количество статей зарубежных и отечественных исследователей по получению и исследованию  $GaN$ . Наши первые результаты докладывались в 1978 г. на V Всесоюзном симпозиуме по процессам роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок в Новосибирске и в 1979 г. в Ленинграде на 2-м Всесоюзном совещании по широкозонным полупроводникам.

Несмотря на то, что была разработана технология получения достаточно совершенных слоев  $GaN$ , изучены процессы легирования слоев донорными и акцепторными примесями, исследованы его свойства, получить  $p-n$ -структуру не удалось. Основной причиной неудачи было отсутствие в то время понимания факта низкой электрической активности акцепторных примесей в  $GaN$ , и соответственно, не разрабатывались пути ее повышения. Также не были разработаны технологические приемы создания гетеро- $p-n$ -переходов на основе  $GaN/GaInN$  и  $GaN/GaAlN$ .

#### — Какие же характеристики имели созданные уже тогда структуры?

— В приборах на  $i-n$ -переходах была достигнута удельная яркость 250  $кд/м^2/А/см^2$ . Генерация излучения начиналась на образцах при удельной мощности 2,7  $Вт/см^2$ , а при ее увеличении вдвое интенсивность излучения возрастала на три порядка. Разработанные структуры с  $\lambda = 450-500$  нм и силой света 150 мкд при  $U = 8$  В были освоены на заводе «Элма». Для выпуска структур были разработана необходимая документация и ТУ. К сожалению, разработанный материал в связи с низкими излучательными характеристиками оказался не востребован.

Проблема поиска подходящих подложек для роста была одной из главных, поскольку в то время

отсутствовала технология производства материала подложки, на которой выращивают нитрид галлия. Технологии нанокристаллов не было. Это очень высокотемпературные процессы (до +1500 °С), и до сих пор монокристаллы нитрида галлия не получают по-настоящему. Было ясно, что их надо получать эпитаксиальным методом и на какой-то подложке. Перебирали разные подложки.

— **Кремний, наверно, пробовали в первую очередь?**

— Нет. Нет, сразу было ясно, что кремний не подходит по параметрам решетки. В то время чтобы создать хороший прибор (любой — СВЧ или оптоэлектронный), нужно было получить чистый и кристаллически совершенный материал.

— **То есть он должен быть продолжением кристалла, на котором растет?**

— По крайней мере должны быть какие-то решения, которые позволяли бы уйти от механических напряжений и дефектов, возникающих на границе между подложкой и слоем. Вообще на кремнии, конечно, пытались растить, потому что он был прямо под рукой. Но получались только блоки и поликристаллы. Тогда ведь существовала одна технология — хлорид-гидридная. Конечно, была еще жидкофазная, но они обе не позволяли на кремнии так прямо, «в лоб», получать нитрид галлия. Взяли сапфир, стали смотреть разные ориентации и нашли ту, которая близко по параметрам решетки подходит к нитриду галлия.

— **И стали ее использовать?**

— Нет. В то время уже на сапфире растили кремний (КНС). Но ориентация оказалась другая. Поэтому мы дали задание, чтобы нам вырастили сапфир, разрежали по-нужному, чтобы была соответствующая ориентация решетки, и начали проводить ростовые процессы нитрида. В общем, технология оказалась достаточно эффективной. Очень быстро мы получили слои нитрида галлия N-типа.

— **То есть чистый материал?**

— Да, были получены толстые слои чистого материала, нитрида галлия. Конечно, там была плотная дислокация, намного выше, чем на арсениде или фосфиде галлия. Но тем не менее. А дальше работа должна была идти в направлении снижения дефектов, дислокаций, напряжений и т. д. Но прежде чем к этому приступить, нужно было получить *p-n*-переход. В этот момент уже начали работы и японцы.

— **Тут и Акасаки появился?**

— Да, Акасаки появился в 1973 г. Появилась масса публикаций о том, что, мол, пытаются получить пленочки нитрида галлия. У всех получается оксид, ни у кого *p*-тип не получается. Все ищут пути, маленькую концентрацию цинка, большую концентрацию цинка... Цинк — основной акцептор. Получаются высокоомные слои. И все. У нас уже и статьи были, и всякие разные гипотезы. Меняли ориентацию решеток. В конце концов, от цинка перешли к магнию.

— **Я так понял, что магний и сейчас используется в качестве легирующего элемента?**

— Сейчас только магний. С цинком с самого начала было ясно, что даже если мы сделаем *p*-тип, все равно он не пойдет — очень большой коэффициент диффузии: потенциальный барьер будет «расползаться». Поэтому это только как модель была — цинк. И перешли на магний, но все равно *p*-типа не получалось, высокоомный слой, и все. Почти до 1980 г. улучшали свойства пленки, немножко компенсацию уменьшали в *n*-слое, проводимость меняли в высокоомном слое. Но ничего не получалось, поэтому очень быстро были подключены к этой программе физики, и этим стал заниматься Сушков В. П. на заводе «Сапфир». Также подключили лабораторию МГУ.

И вот, 25 лет спустя, за рубежом появились новые результаты исследования GaN, открывающие отличные перспективы для создания на его основе высокоэффективных излучателей и мощных транзисторов. При этом частично был использован и неудачный опыт 25-летней давности, и некоторые наши отечественные результаты исследования, в частности результаты исследования катодолуминесценции разрабатываемых нами структур, проводимых в МГУ Г. В. Сапариным и М. В. Чукичевым, которые при воздействии на материал потока электронов наблюдали повышение эффективности свечения, но не поняли суть явления. Накамура (Япония), просканировав GaN *i*-типа пучком низкоэнергичных электронов, обнаружил образование устойчивого *p*-типа. Это было начало бума в использовании GaN для электронной техники. К решению этой проблемы подключились и бывшие сотрудники НИИМВ, ныне сотрудники ЗАО «Элма-Малахит», в том числе и Сушков В. П. В лаборатории сделали контакты к структуре и засветили. Причем засветился светодиод от подключения совсем другой полярности, потому что, по сути, была выращена МДП-структура.

— **Понятно. То есть вы практически сделали полевой транзистор?**

— Да, МДП (металл-диэлектрик-полупроводник). Он светился синим светом, причем длина волны здесь очень сильно зависела от концентрации In. Видно его было только в темноте, свечение было очень слабое, но было. Потом все и везде демонстрировали этот синий светодиод. Причем доходило до маразма: некоторые его заменяли просто на красный, ставили фильтр синий, и получались синие излучения, но говорили, что это нитриды галлия. Ну и все, на этом в 1980 г. все финансирование прекратили.

— **Но вы все-таки довели светодиод до изделия и до производства?**

— Производство мы организовали, внедрили на заводе «Элма-Малахит». Но не было сбыта: никто не берет такой светодиод, он никому не нужен. Это не был промышленный вариант синего светодиода. Мы его в обычный корпус (такой красный, с ножками) посадили, и он светился. И на заводе «Элма-Малахит» в принципе внедрили эту технологию на одну из установок.

— **А как же параллельно с этим шло дело у Акасаки?**

— Да так же. Они публиковали статьи, что МДП исследовали, катодолуминесценцию, какие-то свойства, другие проводимости и так далее, но тоже *p-n*-перехода не получали. А вот на структурах проводили всякие исследования.

— **Наверно, главное — это схожесть путей, по которым шли ученые. То есть везде использовались одинаковые материалы?**

— Да, и пользовались хлоридно-гидридным методом, что там, что здесь. То есть хлорид — это обычный хлорид галлия и аммиак. Не было МОС-гидридной технологии. А вот к 1980 г. начали появляться сообщения о новом методе МОС-гидридной эпитаксии. Как раз на арсениде галлия и началось это внедрение этой технологии. Но это отдельный вопрос. Вот здесь мы первый раз, по-моему, совершили ошибку и тем самым создали условия для отставания. То есть начали создавать МОС-гидридные установки в Зеленограде. Но арсенид галлия растет примерно при +700 °С. Для нитрида галлия нужно +1100 °С. Я тогда в техническом задании на оборудование указывал температурный режим до +1200 °С. Это, соответственно, определяло способ нагрева. Но в тот период победила группировка, которая решила, что оборудование будет создавать персонально для арсенида галлия. Нитрид галлия — это когда еще будет... Тем более высокотемпературный. А здесь нужно производство промышленное. И создали такие установки, которые позволяли нагрев только до +800 °С. Этим самым была закрыта дорога в область технологий нитрида галлия.

— **Получилось так, что вам просто было негде и не на чем выращивать нитриды?**

— Именно так. Но мы пытались — взяли бывшую кремниевую установку «Волга-5». Кремниевые установки все с ВЧ-нагревом, они позволяли формировать более высокие температуры. Поставили и стали пытаться получить пленки. Но оказалось, что кроме системы нагрева нужна еще и очень герметичная газообменная система (в кремниевой эпитаксии это не так критично). Оказалось, что водород, который мы в то время использовали, загрязнен кислородом. Существовавшие на тот момент способы очистки не давали нужной для нас чистоты. Из баллонов с аммиаком, который был в нашем распоряжении, мы выливали по полведра воды (в России никто чистым аммиаком не занимался). Есть у нас головное предприятие, которое занимается азотом, у них технического аммиака полно — для удобрений и т. д. Но этот аммиак был совершенно не пригоден для нас. Так что мы вынуждены были начать работу с создания инфраструктуры. Получать чистый водород, чистый аммиак, — значит очищать, высушивать, создавать герметичную систему, новую систему. То есть создавать новую инфраструктуру, потому что в кремниевой

установке, которая была, получить пленки нитрида галлия не удавалось.

— *Поскольку мы сейчас проводим параллели, хочу вставить ремарку: видимо, у японцев это все, скорее всего, было, им не надо было изобретать велосипед...*

— А у них этот вопрос решается элементарно. Они тоже применили МОС-гидридный метод, но создали установку для этой технологии специально для нитрида галлия, с высокой температурой. И это был рывок вперед. Правда, пока еще *p-n*-перехода, как и мы, они получить не могли, только материал. До 80-х мы продолжали получать материалы хлорид-гидридным методом, а они — уже МОС-гидридным. Но все равно *p*-слой получить тогда не могли ни они, ни мы.

— *То есть они оттачивали технологию производства и пытались получить p-n-переход. Но все — и вы, и они — понимали, что p-n-переход рано или поздно будет обязательно получен?*

— Не факт. Например, Андреев Владимир Михайлович (он работал у меня в лаборатории) еще примерно в 1978 г. сказал, что тот, кто *p-n*-переход изобретет, получит Нобелевскую премию. Мы искали варианты над вакансиями азота, пытались регулировать в разных пропорциях. Избыток галлия, избыток азота... И все равно *r*-тип не получался, все идеи оказывались мертворожденными. И так вот в 1980 г. работы прекратились. Светодиоды, которые мы создали все вместе, не имели коммерческого успеха. А в МГУ продолжали исследовать катоды и фотолюминесценцию. В 1981 г. в одной из статей, опубликованных в журнале «Физика твердого тела», М. В. Чукичев и Г. В. Сапарин сообщили, что они обнаружили под воздействием потока электронов катодолюминесценцию, что высокоомный слой начинал ярко светиться. Однако они не распознали сути эффекта и никаких гипотез не выдвинули. Написали пучком электронов на GaN-пластине «МГУ 1981–1982 гг.» и отправили статью в печать. Они не поняли, почему так произошло. А тематика у нас закончилась. Все опять переключились на арсениды, фосфиды галлия. Дорабатывали оранжевый и желтый свет. Для фотоприемников начали делать материалы, для разных других приборов. В этот момент (это уже из рассказа Алферова Ж. И.) появился Т. Аmano.

— *Третий нобелевский лауреат?*

— Да. И Накамура. Они начали готовить диссертацию, а перед этим решили, как у них положено, сделать литературный обзор, посмотреть, чего достигли. И вот кто-то из них (а может, оба — Накамура работал в Nichia, а Аmano — в лаборатории у Акасаки), увидели статью, о которой я упомянул. И вместо того чтобы писать гадости, они этим пучком просканировали, померили и обнаружили *p*-тип.

— *То есть, по сути, наши ученые этим пучком его и сделали?*

— Да, они его сделали электронным пучком. И дальше Акасаки, Аmano и Накамура начали думать, в чем же дело. У них, конечно, возможность диагностических исследований очень мощная. И они одни из первых поняли, что это такое. Материал содержит марганец, связанный с водородом, который может иметь как отрицательный, так и положительный заряд. Марганец давал нейтральный комплекс в нитриде галлия, поэтому не давал акцепторов. Именно этот рубеж не смогли преодолеть наши ученые.

Трудно было предположить, что водород в данном комплексе отрицательный, он же обычно положительный... Но, оказывается, может быть как положительный, так и отрицательный. Он образовывал с марганцем очень прочную химическую связь и нейтральные комплексы. Японцы все это увидели, поняли и создали *p-n*-переход. А дальше уже началась технологическая работа, совершенствование качества этого материала, качества *p-n*-переходов... От *p-n*-перехода перешли к гетеропереходам. К тому моменту в Физтехе уже разработали теорию гетеропереходов, да и Сушков В. П. серьезно этим занимался. Физики уже знали, что такое гетеропереход, поэтому они превратили *p-n*-переход сначала в него, а потом в гетеропереход с квантовыми ямами.

После этого получился коммерческий продукт. Центр разработок был переведен в компанию Nichia, где Накамура и создал производство синих светодиодов. То есть он создал чип, определенные контакты, подложку, теплоотвод. Очень быстро были оформлены патенты, запущено производство.

А когда мы узнали об этом, у нас не было ни средств, чтобы сосредоточиться на этих проблемах, ни оборудования. Мы плелись в хвосте, и когда наконец создали экспериментальные установки, у них уже было производство.

— *Но наши люди, которые этим напрямую занимались, и Вы в частности, всю эту историю знают. Он-то пусть удивляется, Накамура, но, по Вашим словам, получается, что все-таки есть справедливость в этом решении Нобелевского комитета?*

— Он полностью заслуживает «нобелевку» за организацию производства.

— *Это очень важный момент для понимания истинной картины того, как все получилось. Ведь дальше, если выходить за рамки этой формулировки, идет создание энергоэффективного свечения на основе этого. А дальше люминофор появился... Однако первыми применили люминофор на стоковском сдвиге наши соотечественники... Не обидно ли им за такое решение Шведской академии наук?*

— Дело в том, что люминофор — известная вещь, он у нас везде. Стоковское, антистоксовское... Это физика, она была известна, поэтому то, что Сушков В. П. с Абрамовым В. С. получили в свое время авторское свидетельство, еще не доказательство того, что они первые придумали эту идею. А потом они же первые светодиоды делали не люминофорные. Три светодиода — RGB. Одновременно появились

специалисты, которые сделали такой тип для светодиодов. И появился тогда еще УФ-излучатель на чистом нитриде галлия с алюминием.

Можно говорить, и в принципе так и говорили, что все-таки первыми эту идею озвучили Сушков и Абрамов. В то же время говорят и другое: а что же вы проморгали, надо было через 20 лет авторское свидетельство перевести в патент, и тогда никаких разговоров бы не было. А через 20 лет авторское свидетельство потеряло силу. Но все это формальные вещи. Алферовцы могут, конечно, сказать, что гетеропереход, сделанный на нитриде галлия, это наша идея.

— *В этом, наверное, и состоит остроумие изобретателя — соединить вещи, о которых никто не скажет, что они могут сосуществовать. Однако технологию, которые Акасаки и Накамура развили до производства, разделились, потому что, к примеру, Нича осталась производителем кристаллов на сапфировой подложке. Сейчас ведется много изысканий в этом направлении. В частности, компания Cree с ее карбидом кремния... Кто из них прав, на Ваш взгляд?*

— Карбид кремния имеет массу преимуществ, теплоотвод хороший. Значит, для мощных светодиодов подходит... На карбиде кремния начали делать псевдоаморфные переходные слои, это уже развитие технологии. Мы в свое время стремились создать слои механически ненапряженные, с минимальными напряжениями, и чистые. А это новое направление. Я, честно говоря, не могу сказать, кто до этого додумался — до включения псевдоаморфных слоев, наоборот, напряженных.

— *А почему они там допустимы? Из-за большого сродства решеток?*

— Нет, наоборот, огромное несродство решеток. А это большие упругие напряжения, это пластическая деформация, это разрушение. А если большее напряжение, происходит пластическая деформация с генерацией огромного количества дислокаций.

— *Чем больше мы беседуем, тем дальше уходим в глубины, но зато становятся понятны истоки всей этой истории, которая привела к Нобелевской премии. Однако наше государство продолжает халатно относиться к полупроводниковой науке. И дело не только в отсутствии инвестиций, нет заинтересованности в том, чтобы производство и разработка у нас вообще были. Как Вы считаете, есть ли у нас еще возможность осилить микроэлектронику и освоить производство полного цикла (от эпитаксии)? Ведь специалисты, «носители знания», к сожалению, безвозвратно уходят... Это каким-либо образом отражается на уровне заинтересованности учащихся в МГУПИ, например? Или студенты не видят перспектив? На что рассчитаны результаты освоения программ обучения по этим дисциплинам?*

— Не совсем так. Когда мы преподаем создание приборов, мы понимаем, что если не будем рассказывать, как сделать эту самую активную

(излучательную) область, то учащиеся ничего не поймут. Они знают, что такое микропроцессор и т. д. Когда спрашиваешь, на каком материале он сделан, не знают. То есть, мы захватили несвойственную нам область оптоэлектроники, микроэлектроники, и читаем некоторые предметы.

**— Но интересно, почему все специальности, связанные с полупроводниками, укомплектованы учащимися, если нет вариантов впоследствии работать по специальности? Ведь студенты — взрослые люди, и далеко не все учатся ради отсрочки от армии?**

— Я могу сказать, что это интересно, как и раньше было, единицам студентов. В моей группе 25 человек, из них одному-двум это интересно. И не потому, что им неинтересно направление, а потому, что вообще тенденция развития техники в основном связана с бытовыми приборами, с гаджетами и т. д. Им больше интересно разобраться, как сенсоры двигаются, поворачиваются. А то, что внутри, им неинтересно: во-первых, потому что они не узнают ничего, а во-вторых, у нас этого ничего нет. Производства никакого нет.

**— То есть им незачем это узнавать?**

— Да. Я веду их в развитый институт, НИИ автоматики имени Н. Л. Духова, где делают стойки для атомных электростанций. Там контроль, измерение, там и оптимизация давления воды, например в атомах. Там есть интересный датчик, я с самого начала прошу нас отвести в этот цех, прошу его показать. Корпус показывают, а где сам датчик-то? Говорят, покупаем. Во Франции, например. Нет у нас компонентной базы производства.

**— А МИЭТ, который Вы упомянули, там-то в общем предполагается таких специалистов растить?**

— Ну у них тоже материальное направление компонентной базы, оно тоже сплющилось и объединилось с оборудованием, с химией, с физикой. То есть если раньше это была основа в МИЭТе, то сейчас нет. У них сейчас информационные технологии, робототехника. Они от компонентной базы уходят, потому что потом негде работать специалистам.

**— Как Вы считаете, что можно предпринять в сложившейся ситуации (если предположить неограниченные возможности), чтобы другие научные достижения еще состоялись в нашей стране и Нобелевская премия не ушла за рубеж? Как Вы думаете, стоит ли все-таки готовить людей, которым сейчас нет какого-то приложения? Или просто взять и вычеркнуть всю эту теорию создания материалов? Ну, не нужна она, специалисты не нужны у нас в стране. И вычеркнуть ее вообще из нашего потенциала отечественного.**

— Специально развивать и готовить студентов для этих областей не надо. По крайней мере мы, я лично, и в технологии микроэлектронных устройств, в технологии оптоэлектронных устройств, и так далее, мы включаем вопросы физики и химии, физики конструирования этой компонентной базы, и химические технологии, чтобы они это знали. Не для того, что если вдруг, когда они закончат институт и пойдут на предприятия, все начнет возрождаться.

У нас сейчас принято готовить студентов по заказу. Мы опрашиваем предприятия, какие специалисты им нужны. И нет ни одного заказа на специалиста по эпитаксии или специалиста по разработке чипов.

**— Правильно ли я понял, что вы даете такую базу знаний, которая позволила бы, если что-то «вдруг», достичь специалистам необходимого уровня?**

— Да. Мы, конечно, говорим студентам, что это надо знать, потому что наука развивается волнами: «Не исключено, что после того как вы станете специалистами, это направление будет развиваться». Мы такие оптимисты.

**— Евгений Наумович, давайте и будем сохранять оптимизм! После Вашего рассказа тем более не хочется терять нити, которые нас связывают с тем временем, с тем знанием, с тем темпом, какой тогда был в этой области. В заключение беседы выражу надежду, что общими усилиями нам удастся сделать так, чтобы то, что Вы вкладываете в студентов, обязательно пригодилось в будущем.**