

Технологический кластер наноэлектроники

Среди самых амбициозных и перспективных программ, выполняемых учеными Беларуси и России под эгидой Союзного государства, таких как «Космос-НТ» и «СКИФ-ГРИД», достойное место занимает научно-техническая программа «Прамень». Несмотря на то, что стартовала она немногим более года назад, ученые и специалисты связывают с ней большие надежды: имеющийся фундаментальный технологический задел позволяет рассчитывать на революционный прорыв в такой авангардной области, как опто- и микроэлектроника.

Союзная программа «Прамень» объединила ученых всемирно известных научных центров – Института физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси и Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург) Российской академии наук, Санкт-Петербургского академического университета – Научно-образовательного центра нанотехнологии РАН и не менее известных своей инновационной продукцией российских предприятий ОАО «Светлана», ЗАО «Светлана-Рост», ЗАО «Полупроводниковые приборы» и белорусских – ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», НП ЧУП «ЛЭМТ», ЗАО «Солар ЛС» и других.

То, что микроэлектроника будет менять нашу повседневную жизнь, стало понятно многим уже десятилетия назад. Хотя тогда еще сложно было представить, насколько стремительным будет этот процесс. Скорость развития технологических новинок действительно впечатляет: современные цифровые устройства просто заполнили рынок. Вчерашним днем стали теперь пленочные фотоаппараты, проводная связь, дорожные карты и даже бумажные письма и книги. На их место сегодня приходят цифровые камеры, IP-телефония, навигаторы, электронный документооборот. И все это благодаря развитию микроэлектроники.

Если взглянуть в историю, то станет очевидным, что первые революционные изменения в полупроводниковой технологии произошли в 1959 году, когда американские инженеры Р. Нойс и Д. Килби построили первую интегральную схему на кремнии. Во многих типах электронного оборудования и сейчас широко используются именно кремниевые чипы. Главное преимущество таких микропроцессоров состоит в возможности быстро передавать данные между различными ячейками памяти, что является залогом качества конечного продукта. На

типичных микроэлектронных устройствах – интегральных схемах или микрочипах – теперь работают компьютеры и автомобили, медицинские приборы, мобильные устройства и даже игрушки.

Совершенствование технологий микроэлектроники продолжается семимильными шагами. Высокопроизводительные микрочипы быстро превратились в важный инструмент во многих отраслях науки. Ученые отмечают, что если в 2000 году количество транзисторов в одной интегральной схеме достигало 43 млн, то в 2014 году оно составило 4,3 млрд. Скорость каналов передачи информации от 10 гигабит в секунду в 2000 году приблизительно за те же 15 лет возрастет в тысячу раз – до 10 000 гигабит. Это свидетельствует о том, что микроэлектроника стала самой динамичной отраслью экономики в мире. А для большинства стран еще и стратегически важной. В том числе и для Беларуси и России.

Жорес Алферов в своей статье «Выбраться из сырьевой ловушки» отмечает, что один доллар вложений в электронику дает сто долларов в конечном продукте: уровень рентабельности электронной промышленности достигает 40%. Среднемировой срок окупае-

СОЮЗНЫЙ
ВЕКТОР



мости вложений в электронику – два-три года. Темпы роста этой отрасли в три раза выше темпов роста внутреннего валового продукта, а одно рабочее место в электронике дает четыре в других отраслях.

Сегодня 65 % валового национального продукта США определяется промышленностью, связанной с электроникой, основанной на использовании электронных компонентов. В США и Канаде производство электронной техники на душу населения составляет 1 260 долларов, тогда как в России всего 14 долларов. Объем финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, при сравнении США и России, отличается в десятки, если не сотни раз.

Говоря об объемах производства электронных компонентов, нужно отметить, что за последние несколько лет в этом плане резко пошел вверх Китай. По мнению специалистов, скорее всего, он в будущем войдет в пятерку основных производителей полупроводниковой электроники.

Суперскоростное развитие кремниевой микроэлектроники было связано, прежде всего, с прогрессом технологии. Притом что основные активные компоненты – полевой транзистор и биполярный транзистор – физически, так сказать, остались такими же, как и в 1947 году. Теперь уже термин «нанотехнологии» здесь вполне уместен: сегодня масштаб измерений кремниевой микроэлектроники переходит от десятых долей микронов в нанометровый диапазон, 45, 60, 70 нанометров – это то, что осваивается в опытном производстве, а в недалеком будущем, смотришь, будет и 13 нанометров. Если переход на наноразмеры в гетероструктурах состоялся уже давно, то в кремниевой микроэлектронике он происходит сегодня, отмечают ученые. Они также предполагают, что эти изменения будут иметь существенные физические последствия, так как могут начать работать квантово-размерные явления и эффекты.

СВЕРХБЫСТРАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Среди перспективных и активно развивающихся нужно отметить и другое направление микроэлектроники. Основой здесь служит развитие технологии выращивания

полупроводниковых гетероструктур, представляющих собой новый класс материалов, в которых можно управлять всеми основными свойствами. До эпохи гетероструктур учеными использовались в основном материалы, возникшие естественным образом, а в лабораториях исследователи просто их повторяли, иначе говоря, воспроизводили. Новая эпоха привела к созданию уникальных материалов: их свойства определяются замыслом и новыми принципами, которые привносятся в ходе создания гетероструктур. С помощью технологических методов



Один из проектов Инновационного центра «Сколково»

стало реальным даже создание «искусственных атомов», что ознаменовало собой начало эры сверхбыстрой электроники. Как объясняют ученые Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, возникновение сверхбыстрой электроники связано с биполярными гетеротранзисторами и с так называемыми транзисторами высокой электронной подвижности. Сверхбыстрая электроника существенно образом изменила скорости всех электронных компонентов и сегодня является основной «начинкой» в приборах космической связи, мобильных телефонах и во многом другом. В лаборатории этого института искусственные атомы и их ансамбли выращиваются в гетероструктурах, которые, в свою очередь, позволяют создавать принципиально новые типы полупроводниковых лазеров. Лазеры на двойных гетероструктурах с коэффициентом полезного действия до 74 % олицетворяют собой самый высокоэффективный преобразова-

тель электрической энергии в световую. В последние годы микроэлектроника в России и Беларуси развивается довольно успешно. В России это направление включено в программу исследований в проекте «Сколково». Информатика названа одной из приоритетных областей высоких технологий в обеих наших странах.

Выступая в Минске на конференции «Россия – Беларусь – Сколково: единое инновационное пространство», вице-президент Российской академии наук академик РАН, лауреат Нобелевской премии Жорес Алферов отметил, что белорусская наука начала активно развиваться после Великой Отечественной войны во многом благодаря десанту ученых-физиков из Ленинграда в Беларусь. Поэтому первой в Беларуси получила развитие именно физика, за ней последовало материаловедение. В Минске обосновались и начали работать несколько знаменитых ленинградских ученых. Они создали собственные научные школы, вырастили целую плеяду замечательных белорусских физиков.

– Так что научные связи у белорусов и россиян давние, – подчеркнул Жорес Алферов. – И они практически не прерывались даже в непростые 1990-е. Сегодня мы вместе организуем симпозиумы, проводим исследования. В частности, по полупроводниковым светодиодам на основе гетероструктур.

Отметив важную роль, которую и сегодня в Беларуси играют институты Академии наук, ученый обратил внимание также на роль НПО «Планар» в развитии белорусской науки. В свое время на предприятии создавались приборы, которые не уступали мировым аналогам, но были гораздо дешевле.

Жорес Алферов считает важным, что, несмотря на трудные времена, белорусам удалось сохранить науку. Нобелевский лауреат напомнил, что сегодня Национальная академия наук Беларуси – это высококвалифицированные научные сотрудники и хорошие институты. Именно здесь уже появлялись стартап-компании по лазерной тематике, оптике и другим современным направлениям.

Как одну из самых перспективных Жорес Алферов выделил электронику. По его

словам, она не только была и остается стимулом развития науки, но и привела к существенным изменениям в социальной сфере: появлению компьютеров, совершенствованию мобильных телефонов, сетей передачи данных.

– В современных условиях безусловно важным является недостаточное финансирование научных проектов, разрыв поколений и подготовка молодой смены ученых, но главной проблемой представляется именно востребованность научных результатов обществом, экономикой. Тогда наука будет



Вице-президент Российской академии наук академик РАН, лауреат Нобелевской премии Жорес Алферов на форуме «Россия – Беларусь – Сколково: единое инновационное пространство». Минск, сентябрь 2012 года

развиваться, – подчеркнул, выступая на форуме, знаменитый физик. – Беларуси удалось сохранить высокотехнологичные отрасли, поэтому научно-исследовательские разработки ученых сегодня работают на экономику страны.

Нобелевский лауреат также высказал уверенность, что взаимодействие России и Беларуси в научно-исследовательской сфере будет усиливаться, особенно с учетом существования Союзного государства. Что касается сотрудничества в рамках Инновационного центра «Сколково», ученый пояснил: «Сколково – это идеология, и распространяться она должна не только на Россию, но и на Беларусь, которая входит в Союзное государство».

«ПРАМЕНЬ» В БЕЛАРУССКОМ ИСПОЛНЕНИИ

Сама идея создания новой союзной программы зрела в умах и сердцах ученых Бе-

ларуси и России уже давно. Можно сказать, что они вынашивали эту инициативу с конца прошлого столетия, собираясь каждые два года на Белорусско-Российский семинар «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе». Сотрудничество в направлениях исследований полупроводниковых гетероструктур, создания и изучения полупроводниковых лазеров в ближней инфракрасной (ИК) и видимой областях спектра было основано на общественных началах. Затем к процессу разработки инноваций подключились организации и предприятия Беларуси и России. Направления взаимодействия значительно расширились и стали по-настоящему комплексными, ориентированными не только на исследования, но и на научно-технические разработки и практическое воплощение замыслов ученых и специалистов в реальном секторе экономики. В таком варианте программа «Прамень» и получила поддержку на государственном уровне и в Беларуси, и в России. Целью программы «Перспективные полупроводниковые гетероструктуры и приборы на их основе» («Прамень») обозначена разработка технологий перспективных полупроводниковых гетероструктур и создание на их основе конкурентоспособных импортозамещающих изделий микроэлектроники, оптоэлектроники и СВЧ-электроники специального и двойного применения. Программу предлагается реализовать за 4 года, с 2011 по 2014 год.

Один из инициаторов союзной программы «Прамень» заведующий лабораторией физики и техники полупроводников Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси доктор физико-математических наук Геннадий Яблонский отметил, что выполнение заданий программы в области создания мощных СВЧ-приборов и полупроводниковых лазеров позволит сэкономить значительные валютные средства за счет отказа от закупок зарубежных материалов и комплектующих. При существующих ограничениях на продажу в страны бывшего Советского Союза высокотехнологичных изделий реализация мероприятий программы открывает широкие возможности для разработки и серийного изготовления конкурентоспособной на мировом рынке продукции, для защиты рынков Республики Беларусь и Российской Федерации от иностранных производителей.

Программа «Прамень» будет способствовать также дальнейшему развитию научного и интеллектуального потенциала Союзного государства, включающего создание в наших странах интеллектуальной собственности в форме патентов, подготовку кадров высокой и высшей квалификации, издание научных трудов в ведущих союзных и мировых журналах и укрепление, таким образом, позиций Союзного государства в мировой науке.

По словам Г. Яблонского, до потребителей дойдет целый ряд социально значимых и конкурентоспособных изделий, например,



Заведующий лабораторией физики и техники полупроводников профессор, доктор физико-математических наук Геннадий Яблонский, директор Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси доктор физико-математических наук Владимир Кабанов, старший научный сотрудник лаборатории физики и техники полупроводников Вячеслав Павловский (слева направо)

лазерные устройства медицинского назначения, для нанопорошковой металлургии и обработки материалов, системы тепловидения и ночного видения, газоанализаторы различного назначения, метеолокаторы и другая радиолокационная техника нового поколения.

К слову, название союзной программы «Прамень», что в переводе с белорусского значит «луч», придумано белорусскими физиками. На самом деле, получилось очень символично, поскольку луч высветил перспективу ранее туманного будущего микроэлектроники Беларуси и России, и настоящее стало более четким и осязаемым. Создан фундаментальный высокотехнологичный задел, которому, благодаря оказанной поддержке со стороны Союзного государства, теперь найдется достойное применение.

Вначале фундаментальные работы в области микроэлектроники проводились практически без финансовой поддержки.

Сотрудничество с зарубежными коллегами строилось в основном на выполнении совместных грантов и взаимобмене научными результатами на международных форумах. Шло активное обсуждение достижений в данной области не только с россиянами, но и с зарубежными партнерами, в первую очередь европейскими. Так, еще тогда, на ранних этапах сотрудничества с российскими коллегами возникла идея создания интегрального полупроводникового лазерного конвертора – преобразователя лазера синего диапазона спектра в более востребованный зеленый. Этот цвет – составная часть системы цветного изображения. Зеленое лазерное излучение востребовано в системах записи и считывания информации, в приборах подводной связи и локализации, устройствах подсветок, прожекторах, проекционном лазерном телевидении. Впоследствии данные наработки ученых Института физики НАН Беларуси, в том числе и идея конвертора, нашли свое воплощение в рамках одного из мероприятий союзной программы «Проме́нь».

Проведение многочисленных работ по изучению оптических свойств широкозонных гетероструктур и лазеров на их основе и в тесной кооперации с сотрудниками Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе РАН позволило предложить совместную научно-техническую разработку нового типа лазерного излучателя в актуальной зеленой области спектра в рамках программы «Проме́нь». Миниатюрные лазерные излучатели в зеленой области спектра будут применяться в аппаратной начинке каждого телефона или смартфона, которые сами по себе имеют небольшие размеры, в качестве лазерных подсветок, устройств считывания и передачи информации. Чем меньше длина волны, тем больше плотность информации, поэтому во всем мире разработчики стараются быстрее выйти на новые рубежи в микроэлектронике.

Кроме мероприятий по созданию нового типа «зеленого» лазера, в рамках программы запланирован и осуществляется большой цикл работ по созданию и развитию лазеров и лазерной техники новых поколений на ближнюю и среднюю ИК-области спектра. Совместно белорусы и россияне проведут разработку новых конструкций лазерных

гетероструктур, технологии изготовления чипов лазеров, работающих при комнатной температуре, изготовят, осуществят сборку и испытают мощные диодные лазеры и приборы на их основе. Что касается конкретной продукции, по итогам осуществленных мероприятий ученые предложат опытные образцы оптических анализаторов в средней ИК-области спектра. ИК-спектрометры служат для определения концентраций углекислого газа в атмосфере воздуха, измерения содержания воды в нефти и других химических веществ.



Аспирант Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси Алексей Войнилович исследует характеристики полупроводниковых лазеров

Как видим, мероприятия союзной программы «Проме́нь», несмотря на общую тематическую направленность, довольно разноплановые, тем не менее все базируются на прочной основе уже существующих фундаментальных и технологических наработок. Это в полной мере относится и к созданию техники, работающей в среднеинфракрасном диапазоне. Данную тематику в Институте физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси уже около 20 лет ведет главный научный сотрудник доктор физико-математических наук Геннадий Рябцев.

– Твердотельные лазеры имеют и еще одно очень важное преимущество – они практически безопасны для глаз, – отметил ученый. – Поскольку это излучение в области 1,5 мкм, по сравнению с традиционными лазерами они оказывают меньшее воздействие на органы зрения. Поэтому их можно применять, в частности, в дальнометрии. Согласно программе «Проме́нь», работы по изготовлению и испытанию базовых блоков

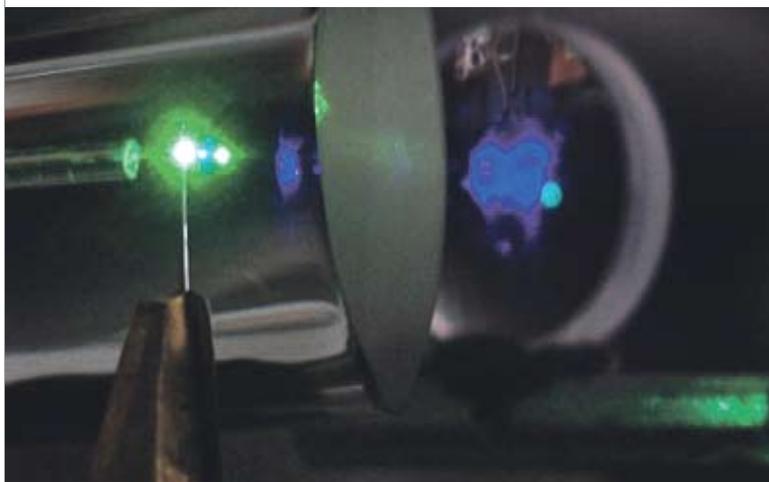
этих приборов будут осуществляться на белорусском предприятии «ЛЭМТ».

Технологические инновации и хорошее современное, а порой и уникальное оборудование давно стало визитной карточкой некоторых белорусских предприятий, которые, как говорится, отпечковались от науки и стали ближе к производству. Теперь они представляют собой хорошую базу для отработки современных союзных новаций в опто- и микроэлектронике. Среди них НП ЧУП «ЛЭМТ» и ЗАО «Солар ЛС». Например, опытные образцы одних из самых сложных лазерных систем на импульсных твердотельных лазерах на основе полупроводниковых гетероструктур и лазеров российских коллег будут создаваться и испытываться в Беларуси на ЗАО «Солар ЛС», НП ЧУП «ЛЭМТ» и в Институте физики. Лазеры будут нацелены больше на решение именно технологических задач.

Однако лазерной тематике посвящены далеко не все мероприятия этого масштабного союзного проекта в области опто- и микроэлектроники. Ряд заданий программы «Прамeнь» нацелен на изучение СВЧ-излучения, важного как для гражданского, так и для специального назначения. Особенностью современной СВЧ-электроники является то, что на приборах с гетероструктурами построены многие устройства средств связи, суммарный мировой годовой объем выпуска которых составляет около 160 млрд долларов. СВЧ-техника, базирующаяся на монолитных интегральных схемах (МИС), занимает все более значимое место в общем мировом выпуске интегральных схем (более 3,6 млрд долларов в год).

Данное направление совместной работы белорусских и российских ученых поддержано и развивается в рамках программы «Прамeнь». Исследователи сконцентрировались на построении, изучении и манипуляциях с гетероструктурами, на основе которых, кстати, и создаются радиотехнические элементы, СВЧ-транзисторы, преобразователи и усилители. В рамках заданий союзной программы научное взаимодействие только упрочилось и стало еще более тесным. Например, российские ученые на своем уникальном оборудовании пробуют выращивать гетероструктуры с заданными свойствами. В свою очередь, доста-точно тонкую и сложную работу выполняют

белорусские коллеги: на микронном атомном уровне они рассчитывают дизайн будущих наноструктур и их физические свойства. Популярно говоря, создают рецептуру, где учтено все до мелочей: генерация световой волны, на каком расстоянии находятся атомы, какова толщина подложки, на которой будут выращены гетероструктуры. Затем экспериментально оригинальные гетероструктуры доращивают на своем уникальном оборудовании в одном из научно-технологических предприятий ОАО «Светлана» и ЗАО «Светлана-Рост».



Первый образец конвертера синего излучения лазерного диода в зеленое излучение лазера на гетероструктурах с квантовыми точками

В Беларуси в ОАО «Минский НИИ радиоматериалов» есть оборудование и технологии, которых нет у россиян. Например, для постростовых операций с гетероструктурами. Такая кооперация с соседями позволит ученым сэкономить и время, и, что особенно важно, средства.

По словам исследователей, в настоящее время проблема создания нанoeлектронных гетероструктур на различных полупроводниковых, в том числе широкозонных материалах является одной из наиболее значимых и самых сложных проблем в физико-технологическом аспекте их реализации. Она становится еще более актуальной для решения перспективных в научном и практическом плане задач достижения высоких технических и эксплуатационных характеристик полупроводниковых приборов и монолитных интегральных схем СВЧ-диапазона. Выполнение заданий программы «Прамeнь» позволит внести существенный вклад в решение главной

задачи, стоящей перед полупроводниковой СВЧ-техникой, – создать и освоить серийное производство широкой номенклатуры МИС в востребованных в настоящее время диапазонах сантиметровых и миллиметровых длин волн.

Полученные СВЧ-устройства на нитриде галлия смогут занимать сегодня различные ниши, так как обладают меньшими частотами и большей мощностью, высокой радиационной стойкостью. К слову, некоторые из подобных приборов, разработанных учеными всемирно известных центров, сделанных на нитриде галлия и гетероструктурах, благодаря своим уникальным свойствам уже используются в космосе. Разумеется, они более дорогостоящие, но и срок службы у них существенно выше. Итогом белорусско-российского взаимодействия станут технологии изготовления гетероструктур с двойным электронным ограничением на базе широкозонных полупроводников, позволяющих изготавливать СВЧ-транзисторы частотного диапазона выше 10 ГГц, повышенной мощности до 5 Вт и высокой радиационной стойкости для создания на их основе систем глобальной космической связи, радиолокации и мобильных систем связи двойного применения.

Первый этап выполнения союзной программы «Прамень», начавшийся с осени 2011 года, был посвящен вопросам эскизного проектирования и исследованиям в области оптических свойств гетероструктур и лазеров на зеленую область спектра. В прошлом году за 2 месяца были изготовлены испытательные стенды, белорусские ученые успели закупить в лаборатории и организации необходимое новое оборудование. Второй этап – техническое проектирование и изготовление макетов отдельных приборов и устройств – начался уже в 2012 году. Нужно отметить, что все мероприятия программы досконально расписаны буквально по кварталам. Это можно проследить на примере создания дальномера: разработка излучателя, системы обработки информации, регистрации, приема сигнала, блок управления, создание макета, рабочий вариант прибора и т.д.

В то же время в процессе выполнения запланированных мероприятий союзной

программы «Прамень» стало очевидным, что открываются все новые перспективы и объемные задачи, поэтому белорусские и российские ученые сегодня ставят вопрос о продлении программы еще на один год и соответственно расширении ее финансирования. Данный вопрос обсуждался и одобрен Научно-техническим координационным советом по программе «Прамень» и будет в ближайшее время рассмотрен государственными органами Республики Беларусь и Российской Федерации, а затем Советом Министров Союзного государства.



Молодые ученые Института физики имени Б.И. Степанова Николай Ржеуцкий, Алексей Войнилович и Максим Щемелев (слева направо) обсуждают очередной лазерный эксперимент

Как масштабный и комплексный проект с участием ведущих специалистов в области микроэлектроники двух стран характеризовал программу «Прамень» директор Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси доктор физико-математических наук Владимир Кабанов.

– Союзная программа даст импульс развитию всех видов лазерной техники. Лазеры, которые сегодня применяются в различных технологических аспектах, будут заменены новыми. Это совсем другая масса, габаритные параметры, – отметил В. Кабанов. – С практической точки зрения лазеры сегодня находят широкое применение в промышленности, медицине, биологии, локации, обработке материалов, термоядерном синтезе, охране окружающей среды. С помощью лазерных приборов могут определять элементный состав картин, воздуха, газов, взрывчатых веществ. Разрабатываемые в рамках программы различные СВЧ-устройства востребованы для радиолокаторов в аэропортах

и в других технических применениях. Для создания всех этих приборов и устройств используются самые высокие технологии в мире.

Надеемся, что в перспективе будет создана хорошая база для организации импортозамещающих производств, в том числе совместных с российскими организациями. Со временем постараемся организовать создание и развитие в нашей республике современных эпитаксиальных технологий роста гетероструктур для производства на их основе всех типов разрабатываемых в программе современных приборов и устройств.

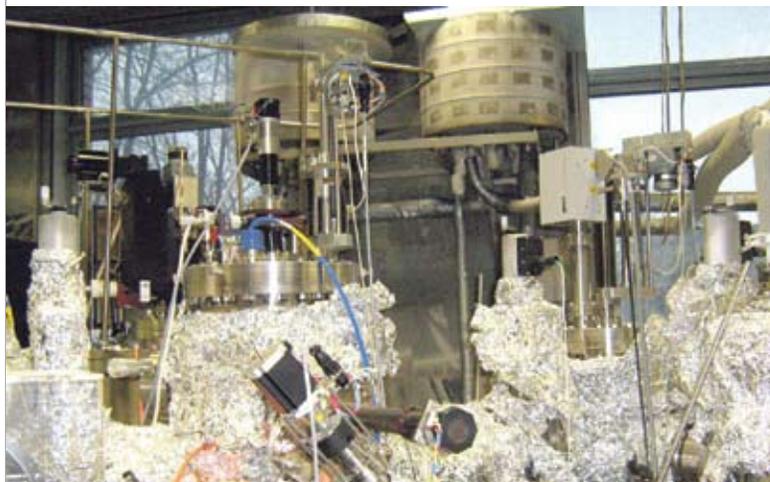
ПРОВЕРИТЬ НАУКУ ПРАКТИКОЙ

С российской стороны в программе участвует гораздо больше научно-исследовательских центров и предприятий, поэтому на россиян приходится 65 % ее финансирования, а белорусская доля составляет 35 %. В целом на реализацию программы «Промень» выделена значительная сумма денег – 1,18 млрд российских рублей, из них свыше 700 млн – российским исследователям, а немногим более 400 млн рублей – белорусским. Финансирование предусмотрено из средств бюджета Союзного государства и собственных средств участников. Это что касается материальной поддержки совместных научных работ, но главная составляющая этого масштабного союзного проекта – все же научная.

Более подробно узнать о разработках российских ученых в области микроэлектроники удалось благодаря пресс-туру, который в свое время организовало Российское информационное агентство «Новости» для белорусских журналистов. И место рождения полупроводниковых гетероструктур, и центр развития оптоэлектроники – Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук мне тогда довелось увидеть своими глазами. В России именно здесь зарождалась идея о союзной программе в области опто- и микроэлектроники. Непосредственным инициатором ее выступил Жорес Алферов – всемирно известный создатель сверхпопулярных гетероструктур. Теперь научные задания программы «Промень» реализуют в стенах его альма-матер ученики и последователи

нобелевского лауреата. Реализуют вместе с белорусами, которых с этим институтом – «меккой физики» полупроводниковых гетероструктур – связывает многолетнее сотрудничество, отметил доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории квантоворазмерных гетероструктур Сергей Иванов.

– В работе с коллегами из Беларуси на протяжении последнего десятилетия мы используем гетероструктуры, которые обладают максимальной эффективностью излучения в зеленом диапазоне, – рассказал



Установка молекулярно-пучковой эпитаксии в Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург)

Сергей Иванов. – Кстати, речь здесь идет уже о наногетероструктурах, которые применяются в самой современной мобильной технике, в тех же смартфонах или в компактных лазерных проекторах. Мы уже опубликовали в специализированных журналах не одну статью, посвященную данной теме и заинтересовавшую ученых всего мира.

Уникальная установка, созданная под руководством члена-корреспондента РАН, руководителя Центра физики наногетероструктур Физико-технического института РАН Петра Кошьева, которую можно было увидеть в одной из лабораторий Физтеха, тоже работает на союзную программу «Промень». Петр Сергеевич провел небольшую экскурсию и более подробно рассказал об установке для молекулярно-пучковой эпитаксии. По его словам, созданная в рамках специальной программы Министерства образования и науки Российской Федерации более двух лет назад, она уже прекрасно рекомендовала себя в выращивании гетеро-

структур заданной толщины с моноатомно гладкими гетерограницами и с заданным профилем состава и легирования. Ученый рассказал, что, направляя пучки паров от различных элементов, здесь выращивают уникальные гетероструктуры. Идет в буквальном смысле атомная сборка нужных материалов, когда компоненты на подложку высаживаются с точностью до долей монослоев. Можно назвать это квантовой точкой или кластером из атомов одного материала внутри матрицы другого. Эти кластеры, хотя и состоят из нескольких тысяч атомов, по некоторым свойствам похожи на одиночный атом. Таким образом, данная технология позволяет создавать как бы искусственные атомы с уникальными, нужными научным свойствам.

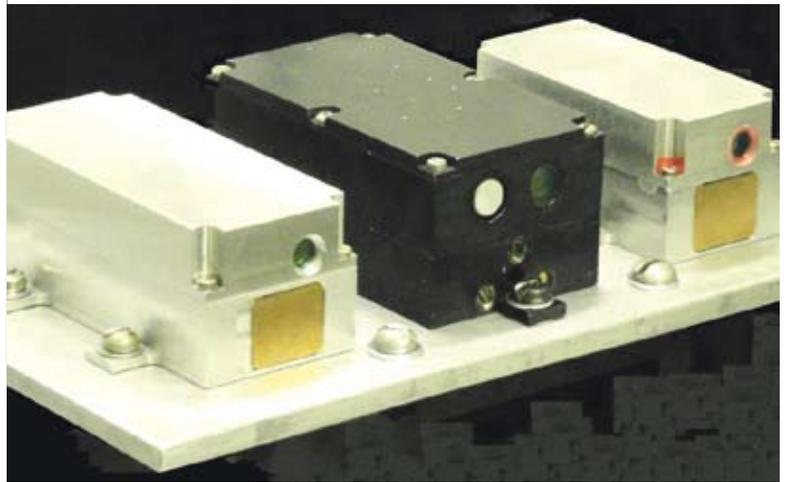
Участвовать в реализации союзной программы, помимо Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе, призваны также с российской стороны Санкт-Петербургский академический университет – Научно-образовательный центр нанотехнологии РАН и ОАО «Светлана». Последнее еще со времен СССР известно как предприятие, где массово производились рентгеновские трубки, а также мощные электровакуумные и полупроводниковые приборы. В то же время именно здесь в начале 2000-х годов одними из первых в стране стали выпускать смарт-карты, микроволновые приборы нового поколения.

На «Светлане» когда-то проходил практику будущий академик Жорес Алферов, немало его учеников – воспитанников Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе работают нынче на предприятиях ОАО «Светлана», занимая ведущие позиции в разработке различной инновационной техники.

Проверить науку практикой, организовав промышленное производство научных разработок, взялись на «Светлане» задолго до выполнения союзной программы «Проме́нь», тем более что здесь уже имелись определенные наработки.

– Из того комплекса работ, что предусмотрены данной союзной программой, особое внимание мы уделяем разработке сверхвысокочастотных гетероструктур и наиболее перспективных типов лазеров, а на их основе устройств нового поколения, –

говорит заместитель генерального директора по научно-техническому развитию ОАО «Светлана» Валерий Клевцов. – Это направление сейчас на слуху, потому что очень бурно развивается и охватывает все области связи и специальных применений. Наверное, многие слышали о самолетах 5-го поколения, которые уже демонстрировали на последнем авиасалоне у нас в России. Так вот, применение приборов, которые сегодня разрабатываются на нашем дочернем предприятии ЗАО «Светлана-Рост» на основе гетероструктур, позволяет повысить



Экспериментальные образцы условно безопасных для органов зрения компактных эрбиевых лазеров

дальность обнаружения самолетов от 120 до 200 км – почти в 2 раза. При этом еще существенно увеличивается разрешающая способность (точность) по определению местонахождения объектов.

Инновационную эстафету сотрудничества белорусов и россиян по программе «Проме́нь» подхватило и ЗАО «Светлана-Рост». Необходимо отметить, что таких предприятий полного технологического цикла больше нет ни в России, ни в Беларуси. Сердце его производства – участок выращивания материала – гетероструктур, представляющих собой большое количество микротонких слоев, разных по химическому составу и толщине – от нескольких атомных слоев до нескольких микрометров. Этот материал собственно и является основным во многих заданиях союзной программы «Проме́нь» и основой большинства направлений сегодняшней микроэлектроники, речь идет и об СВЧ-электронике, и об оптоэлектронике, и об акустоэлектронике. Все эти перспек-

тивные направления базируются на использовании различных гетероструктур.

– Без опоры на современное технологическое оборудование сложно было бы вести эту масштабную программу, – отмечает директор ЗАО «Светлана-Рост» Виктор Чалый. – Мы начали именно с разработки и производства гетероструктур, которые осуществляем в кооперации со специалистами Физико-технического института РАН, но львиная доля работ все-таки выполняется здесь на предприятии, в том числе пилотные проекты. «Светлана-Рост» располагает шестью установками молекулярно-пучковой эпитаксии для выращивания гетероструктур на основе арсенида галлия и нитрида галлия. По словам директора предприятия, производительность участка по арсениду галлия составляет до 4000 пластин в год, а по нитриду галлия – 1200–1400 пластин в год. На сегодняшний день это намного превышает потребности всех российских предприятий. Но на «Светлане-Рост» рассчитывают, что развитие программы «Прамень» будет стимулировать спрос на гетероструктуры. А по ее завершении произойдет достаточно серьезный рост объемов производства и имеющиеся заделы по мощностям уже будут востребованы.

– Все оборудование, которое находится на этом производственном участке – отечественное, – подчеркивает Виктор Чалый. – Причем, если говорить про установки для выращивания нитрида, мы считаем, что они не просто соответствуют мировому уровню, а на сегодняшний день являются лучшими в своем классе для ведения мелкосерийного производства и исследовательских работ. Параметры, которые сформулированы в программе «Прамень» в качестве предельных индикаторов, очень высокие. Так, предельная частота, с которой должны работать приборы, доходит до 93 ГГц. Это обеспечивается именно высочайшим классом созданных наногетероструктур.

Планируется, что в ходе выполнения программы «Прамень» созданные на ЗАО «Светлана-Рост» гетероструктуры будут передаваться белорусским партнерам. В частности, в Минский НИИ радиоматериалов и в институты НАН Беларуси.

Кстати, к партнерам белорусов относится не только ЗАО «Светлана-Рост», где разраба-

тываются и изготавливаются по программе «Прамень» полупроводниковые гетероструктуры для СВЧ-применений, но и ЗАО «Полупроводниковые приборы», которые входят в состав инновационно-промышленного комплекса ОАО «Светлана». По словам руководителя ЗАО «Полупроводниковые приборы» кандидата технических наук Александра Тер-Мартirosяна, из лазеров, разрабатываемых по программе, наиболее перспективными являются полупроводниковые лазеры. Они уже нашли широкое применение в медицине при лечении опухолей, болезней сосудов



Современные полупроводниковые технологии на ЗАО «Светлана-Рост»

и некоторых других заболеваний. Больших успехов в этом направлении достигли и белорусские коллеги, которые разработали линейку терапевтических лазерных аппаратов. Что касается россиян, в рамках программы «Прамень» они создают четыре типа лазеров, два из которых полупроводниковые, а два других – твердотельные с диодной накачкой.

Как отметил Александр Тер-Мартirosяна, возможность совместного с коллегами из Беларуси использования новейших современных технологий снижает общую стоимость работ, сроки и, соответственно, себестоимость аппаратов и, таким образом, медицинские лазеры будут доступнее для потребителей.

Взаимодействие идет и в других направлениях. Так, белорусы покупают у ЗАО «Полупроводниковые приборы» лазерные диоды для дальномеров, используемых в военной технике. Россияне, в свою очередь, заказывают у них высококачественную оптику.

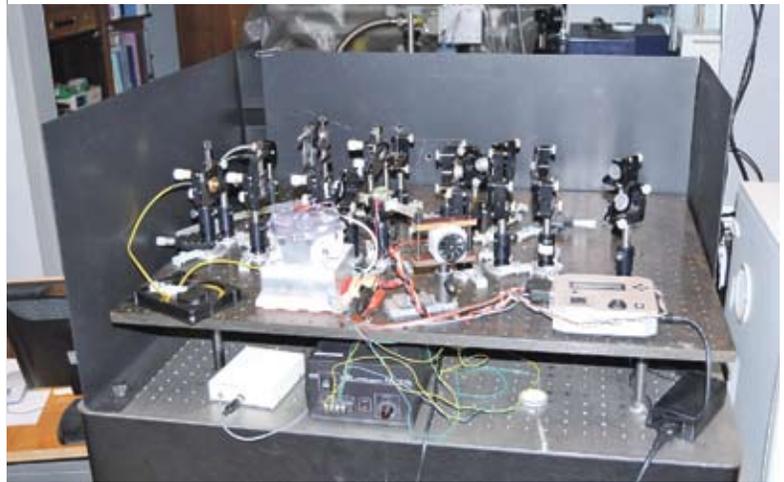
Одну общую особенность выполнения работ по программе «Прамень» отметили практически все руководители предприятий объединения «Светлана». Главное, что осуществляется не просто развитие и создание гетероструктур как таковых, а разработка на их основе конкретных приборов для населения и для обороны страны.

По мнению моих собеседников, сейчас, когда в области полупроводниковой техники и наноэлектроники наступает принципиально новый этап – работа с так называемыми широкозонными полупроводниками для создания СВЧ-устройств принципиально нового типа, сотрудничество ученых Физико-технического института РАН, институтов НАН Беларуси, исследователей и инженеров объединения «Светлана» плюс хорошая организация производства дадут новый синергетический эффект. Можно совершить революционный скачок от полупроводниковых в широкозонные нитридные структуры.

Очевидно, что изначально уровень научно-технологического задела в области микроэлектроники со стороны как белорусских, так и российских ученых и специалистов для работы по союзной программе «Прамень» достаточно высокий. Разработчики отмечают максимальную отдачу как одно из важных условий научного взаимодействия. Всё для этого существует: мероприятия программы четко сформулированы, составлены перспективные и взаимосвязанные задачи и для российской, и для белорусской стороны.

В целом союзная программа «Прамень» рассчитана на четыре этапа. До конца текущего года планируется провести техническое проектирование, изготовить макеты, которые будут подтверждать правильность разработок, и испытать их. Программа охватывает девять комплексных мощных опытно-конструкторских работ, в результате которых планируется создать 19 объектов электроники. В их числе диодные лазеры, лазерные линейки, различные матрицы и другие изделия микроэлектроники. При этом подавляющее большинство из них – это квантово-размерные изделия, где многие процессы происходят на наноуровне. Объединяясь для совершения революционного прорыва в такой перспективной области, как наноэлектроника, ученые и специалисты Беларуси и России тем самым

подняли на острие проблему технологического сотрудничества, выбрав для реализации этого комплексного взаимодействия наиболее правильное решение – союзную программу. Понятно, что сегодня ни одна фирма или научно-исследовательский центр в одиночку не способны поднять и решить весь пласт проблем, встающий перед современной микроэлектроникой. Поэтому, как правило, вокруг производства формируется целый кластер научно-производственных компаний, R&D-центров, лабораторий. В него входят компании, занимающиеся разра-



Макет установки на основе фемтосекундного лазера для исследований оптических и лазерных свойств полупроводниковых гетероструктур в Институте физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси

боткой, синтезом и выпуском новых материалов, производители высокотехнологичного оборудования, компании – специалисты в области дизайна чипов и высококвалифицированные аналитики, специалисты по исследованию состава и структуры вещества. Такой же мощный кластер с участием научно-исследовательских центров и высокотехнологичных предприятий Беларуси и России удалось создать в рамках яркого и авангардного проекта, осуществляемого под эгидой Союзного государства, – союзной программы «Прамень».

С точки зрения процессов наноэлектроники смело можно считать вершиной высоких технологий. Прогресс, достигнутый сегодня в полупроводниковой промышленности, позволяет осваивать все новые и новые области применения. Так формируются активы в области наноэлектроники, которые останутся в наших странах и станут их интеллектуальным богатством.

Снежана МИХАЙЛОВСКАЯ ─