

НПП "ИСТОК" РАЗВИВАЕТ ТЕХНОЛОГИИ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКИ



*Рассказывает генеральный конструктор
НПП "Исток" Сергей Иванович Ребров*

Сергей Иванович Ребров молодым специалистом начал работать в НИИ-160 (впоследствии НПП "Исток") в 1952 году. За десять лет прошел путь от инженера до начальника отдела. В 1962 году – в неполные 33 года – назначается директором НИИ-160 и занимает этот пост более четверти века. С 1988 года – генеральный конструктор ФГУП "НПП "Исток". Доктор технических наук, профессор, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, автор двух монографий и 25 изобретений.

Сергей Иванович, НПП "Исток" известно своими успехами в области вакуумных СВЧ-приборов. Но сегодня "Исток" развивает и направление твердотельной СВЧ-электроники – в то время как кристалльные полупроводниковые производства в стране в основном сворачиваются. Чем вызвана необходимость создания на вашем предприятии новой технологической линии?

СВЧ-электроника базируется на двух технологиях – мощных вакуумных приборов и монолитных интегральных СВЧ-микросхем. Сейчас твердотельная СВЧ-электроника переживает мощный подъем, обусловленный бурным развитием в последнее десятилетие технологий монолитных СВЧ-микросхем.

В этой области мы довольно значительно отстаем от мирового уровня. Это отставание нарастало из-за резкого спада в электронике после 1991 года. С тех пор валовой выпуск электронных компонентов сократился в 30–40 раз. В 1987 году была утверждена программа развития СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) параллельно принятой в США аналогичной программе MIMIS. Но там она завершилась успешно, а нам же выделили практически 1,5% предусмотренных этой программой средств, причем на 15 лет. Так что мы смогли лишь сохранить уровень технологии конца 80-х годов.

В 2002 году вопрос об отечественной твердотельной электронике встал настолько остро, что руководство РАСУ приняло решение о реализации на "Источе" инвестиционного проекта по созданию пилотной линии по производству СВЧ МИС, в основном связанных с X- (8000–11000 МГц) и более коротковолновыми диапазонами.

Но ведь исторически твердотельной СВЧ-электроникой занималось другое предприятие – НПП "Пульсар"?

Здесь произошло определенное разделение направлений деятельности – на "Пульсаре" также был открыт инвестиционный про-

ект, но связанный с развитием твердотельной СВЧ-электроники в более низкочастотных L- (1000–2000 МГц) и S- (2000–4000 МГц) диапазонах. Но там речь идет о кремниевой технологии дискретных приборов, поскольку в данных диапазонах монолитные схемы не всегда оправданы. С другой стороны, современный мощный биполярный транзистор по сути представляет собой монолитную интегральную схему – его только называют транзистором. Этот проект на "Пульсаре" сейчас реализуется. Однако они ведут работы и в области более коротковолновых диапазонов, и здесь мы немного конкурируем друг с другом.

19 мая этого года на "Источе" прошло выездное заседание по перспективам дальнейшего развития твердотельной СВЧ-техники. Были внимательно рассмотрены вопросы создания активных антенных фазированных решеток (АФАР). Принято решение о концентрации всех работ в указанных выше диапазонах, включая серийное производство приборов, на двух предприятиях – "Пульсаре" и "Источе". "Исток" в этом направлении ориентирован на создание монолитных интегральных схем, причем в более коротковолновых диапазонах. Поэтому хотя мы и конкурируем, но вполне понимаем, у кого какое направление является основным.

Что будет представлять собой пилотная линия?

Пилотная линия располагается на 2200 м². И еще почти 2000 м² занимают энергетические корпуса. Уже полностью завершен участок электронно-лучевой литографии общей площадью 820 м². Он включает четыре электронных литографа, один из них – компании Leica с разрешением 0,1 мкм. Это помещение класса чистоты 1000, в котором созданы рабочие зоны класса 100. Нам не хватает оптических ступеров (оптических литографов), без которых не достичь нужной производительности при изготовлении МИС. Они необходимы для обеспечения прецизионного совмещения слоев, поскольку



ку наши МИС – многослойные. Вопрос с приобретением этих установок сейчас решается. Нам на руку, что сейчас во всем мире с производств снимаются степперы для пластин диаметром 150 мм в связи с переходом на 200–300-мм пластины. А для нужд "Истока" 150 мм – это даже много, первые три года мы собираемся работать с 76-мм пластинами.

Главная же часть пилотной линии – участок кристалльного производства общей площадью 1200 м². Помещение участка практически подготовлено под чистую отделку, но работы еще не начаты – к сожалению, годовые объемы выделяемых средств вынуждают все время оттягивать окончательный ввод линии. Остаток сметной стоимости проекта достаточно велик, и он нас удовлетворил бы полностью. Однако после скачка евро на 30% у нас образовался дефицит бюджета порядка 20%. Но и этот вопрос мы решим. В 2007 году линию рассчитываем запустить, что позволит справиться с заданным Правительством графиком создания самолета пятого поколения.

Если пилотная линия еще не достроена, как же вы сегодня производите опытные образцы МИС и транзисторов?

У нас действует участок опытного производства общей площадью более 1500 м². К сожалению, в нём отсутствуют помещения требуемого класса чистоты, поэтому его нельзя использовать для промышленного производства с высоким КВГ. Однако мы полностью замкнули экспериментальную технологическую линию, что и позволило, в частности, отработать техпроцесс для получения монолитной ИС площадью 20 мм² при толщине подложки до 30 мкм. Этого в России больше не может никто.

Запуск опытного участка позволил отработать технологию и удостовериться в правильном выборе оборудования. И теперь, как только закончим оснащение чистых комнат, можно немедленно приступить к серийному выпуску.

Какие технологии вы предполагаете использовать для СВЧ МИС?

В отличие от цифровой электроники, в твердотельных СВЧ-схемах степень интеграции низка, равно как и площадь кристаллов (десятки квадратных миллиметров против 100 мм² в СБИС). Но сложности при создании СВЧ МИС сопоставимы с трудностями изготовления цифровых СБИС – приходится учитывать волновые эффекты и согласование каждого элемента друг с другом. В СВЧ-электронике появился даже новый термин – "система в корпусе" (system on package – SoP), аналогичный понятию "система на кристалле" в цифровой электронике.

Базовая структура МИС – транзистор. У нас отработан процесс изготовления полевых GaAs-транзисторов (MESFET – гетероструктурные полевые транзисторы) с шириной затвора 13,5 мкм и размером кристалла 2,3 x 0,5 мм (см. рисунок). Такие приборы можно изготавливать только на нашей пилотной линии.

Сегодня во всем мире интенсивно развиваются технологии pHEMT-транзисторов (pseudomorphic high-electron-mobility transistor – транзисторов с высокой подвижностью электронов

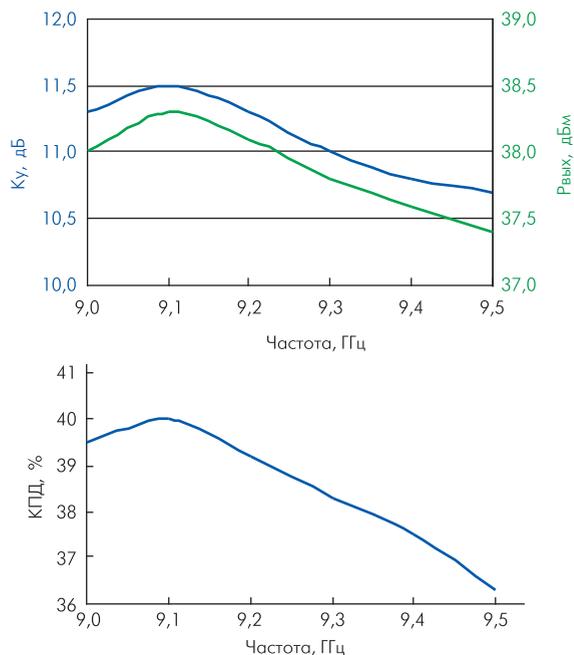
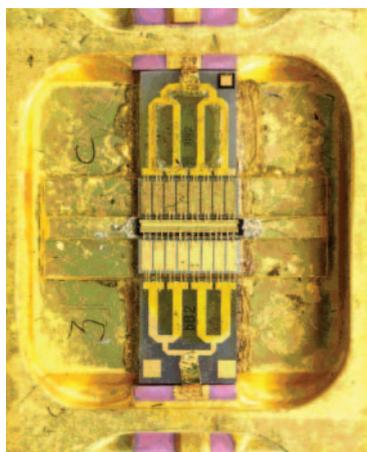
на псевдоморфных структурах). Мы их также осваиваем. Но нельзя утверждать, что MESFET-транзисторные структуры сегодня неактуальны. Скажем, известная компания M/A Com производит MESFET-транзисторы мощностью 10–15 Вт на 100-мкм подложках. Правда, гарантируя работу лишь при комнатных температурах. Простейшие MESFET-транзисторы вполне востребованы, поскольку достаточно дешевы, их технология отработана и высокостабильна, КВГ высок. Поэтому мы продолжаем развивать это направление.

Одна из основных проблем при создании СВЧ МИС – отвод тепла. У наших GaAs-транзисторов с толщиной подложки 100 мкм уже при температуре окружающей среды 40°C управляющий p-n-переход разогревается до критических 150°C. И лишь подложки толщиной 30 мкм позволяют работать при расширенных температурных диапазонах, соответствующих требованиям к военной технике. Однако 30-мкм подложки обладают низкими механическими свойствами, проявляющимися при скрайбировании пластины и монтаже кристаллов на теплоотвод. Для таких структур требуются специализированные установки вакуумной пайки, которые мы в ближайшее время должны приобрести.

Проблемы теплоотводов значительно упростились бы при использовании алмазов, которые в четыре раза теплопроводнее меди. В технологиях газофазного осаждения алмазов (CVD) в России достигнуты серьезные успехи. На "Иостоке" разработана технология обработки пленок CVD-алмазов, их металлизации и пайки. Все это открывает перед нами хорошие перспективы.

Сейчас во всем мире активно развивается направление СВЧ-приборов на основе широкозонных полупроводниковых материалов, в частности – на гетероструктурах GaN. Ведутся ли подобные работы в России?

Эти работы в основном сконцентрированы в институтах Российской академии наук. Но и "Исток", и "Пульсар" также по мере возможностей участвуют в подобных исследованиях. Широкозонные полупроводниковые материалы примечательны тем, что позволяют почти на порядок увеличить напряжения пробоя и рабочие температуры. Соответственно возрастают и допустимые плотности мощности. Это очень перспективное, но и весьма сложное направление,



Внешний вид самосогласованного транзистора с выходной мощностью 5 Вт и его измеренные характеристики

вопросы надежности там далеко не решены. Однако аналогичная ситуация была 30 лет назад и с арсенидом галлия, а столь популярные сегодня рНЕМТ-транзисторы достигли должного уровня менее 10 лет назад.

Хотя широкозонные материалы кажутся весьма привлекательными в свете проблем отвода тепла, но сложностей и с ними возникает немало. Конечно, существенно возрастают допустимые плотности мощности и температура. Но соответственно уменьшается и площадь, с которой отводится тепло. А это приведет к пропорциональному росту теплового сопротивления теплоотвода. В результате необходимы уже алмазные теплоотводы, поскольку медные просто не справятся.

В области гетероструктур на основе нитрида галлия специалисты "Исток" занимаются активными исследованиями на уровне экспериментов. Проводится даже специальная НИР, в которой "Исток" – головное предприятие. Но он выполняет 20% всех работ, остальные предприятия – соисполнители, в частности – Институт СВЧ- и полупроводниковой электроники РАН. Но ситуация с использованием GaN осложняется тем, что в России не производятся необходимые для работы с этим материалом подложки, прежде всего – с хорошими теплопроводящими свойствами. Обладающие высокой теплопроводностью SiC-подложки изготавливают только за рубежом, они дороги и получить их непросто. Более 25 лет назад были попытки организовать производство SiC-структур в нашей стране, однако задача так и осталась нерешенной. Сегодня специалисты возлагают большие надежды на такой материал для подложек, как нитрид алюминия. Есть и другие варианты.

К использованию широкозонных гетероструктур в современной военной технике я отношусь достаточно пессимистично. Мое твердое убеждение – сегодня аппаратуру для АФАР, для систем вооружения пятого поколения нужно создавать на GaAs. В течение ближайших 10 лет GaN-монокристаллы вряд ли будут использоваться в системах вооружений. Конечно, возможны и прорывы, прогнозировать что-либо в столь новых направлениях сложно. Однако без создания СВЧ МИС на GaAs, соответствующих мировому уровню 2005 года, наша военная техника не преодолеет барьер требований к вооружениям пятого поколения. Пока мы не освоим рНЕМТ-технологии GaAs, говорить о широкозонных материалах преждевременно.

Какая продукция будет производиться на новой линии?

Для АФАР мы осваиваем производство СВЧ-субмодуля. В нем восемь функциональных узлов: двухкаскадные усилители приемного и передающего каналов, 6-разрядный фазовращатель, 5-разрядный аттенюатор, три промежуточных усилителя, а также драйвер – цифровая интерфейсная схема, которую должен разработать и производить "Ангстрем". Уже отработана технология двухкаскадных усилителей с выходной мощностью 10 Вт и площадью кристалла порядка 20 мм², и мы готовы к их серийному выпуску. Общая площадь всех функциональных узлов СВЧ-субмодуля – 55 мм². Он включает только монокристалльные ИС, нет ни одного дискретного прибора. Разумеется, пока все это – экспериментальные пробные образцы. Отмечу, что СВЧ-субмодуль – это примерно половина приемопередающего модуля. Еще нужно решать проблемы теплосъема, питания и управления.

Создание пилотной линии – это инвестиционный проект. Значит, вы ожидаете что линия достаточно быстро окупится и будет обеспечена заказами?

Если не будет заказов, мы окажемся в тягелейшем положении. Хотя бы только из-за энергетики пилотной линии – ее потребление

мало зависит от того, одну ИС мы делаем или миллион. Однако наши оценки реальной потребности и объема заказов позволяют надеяться, что линия будет загружена. По крайней мере на уровне 100–200 тыс. кристаллов в год через 2–3 года.

Но мы всецело зависим от поставок GaAs-пластин. Их единственный промышленный производитель в стране – ЗАО "Элма-Малахит", несмотря на то, что там даже нет современной ростовой машины. "Исток" потребляет до 90% GaAs-пластин у "Элмы-Малахита", причем по нашему заказу изготавливаются пластины с различными параметрами гетеропереходов. Но объемы заказов настолько малы, что их производство нерентабельно и владельцы предприятия могут его ликвидировать. Если мы лишимся этого единственного в стране производителя GaAs-пластин, произойдет беда. Есть еще участки изготовления GaAs в институтах РАН, но они лабораторные, делать на них ставку нельзя. Останутся только зарубежные поставки, что создаст массу проблем. Ведь сегодня мы отработываем новые транзисторы, все время приходится менять структуру материала. И никакой зарубежный производитель работать по нашим требованиям не будет. Поэтому ситуация с производством GaAs-материалов в стране крайне напряженная.

Через два-три года нам потребуется не менее 5 тыс. GaAs-пластин в год. По нынешним ценам это около 60–80 млн. руб. Но производство на "Элма-Малахите" может не дожить до этого времени. Сегодня оно выживает за счет того, что 80% своей продукции – оптоэлектронных материалов – поставляет за рубеж. И если в стране не будет промышленного выпуска арсенида галлия, все остановится.

До сих пор вы говорили о производстве твердотельных СВЧ ИС для военной техники. А гражданской продукцией "Исток" занимается?

СВЧ-электроника – это направление, напрямую связанное с обороной. И все достижения в этой области обусловлены реализацией оборонных программ. Правда, затем они находили общепромышленное применение, как, например, в системах сотовой связи.

И в этом наша трагедия. Мы с удовольствием занялись бы гражданской продукцией. Но "Исток" прежде всего – производитель элементной базы. Должна быть какая-либо гражданская программа, объединяющая различные предприятия, в рамках которой мы бы работали. А ее нет.

В Федеральных целевых программах – и в "Электронной России", и в "Национальной технологической базе" о гражданской электронике практически не говорится. Когда прорабатывались вопросы конверсии, специалисты "Исток" представили массу предложений по гражданскому применению СВЧ-энергетики. Были заинтересованные потребители из самых разных отраслей. И все умерло.

Необходима государственная протекционная система, которой нет. Если бы у нас были мощные диверсифицированные корпорации, мы бы и без государства решали эти вопросы. А в существующей сегодня отраслевой структуре промышленности без государственного участия ничего не сделать.

А "Исток" может стать подобной диверсифицированной корпорацией?

Нет. Это невозможно. Отраслевая и корпоративная структура промышленности – две абсолютно разные системы. Это все равно что одно- и многопроцессорный компьютеры, соответственно. И та, и другая системы полностью оправданы и могут конкурировать друг с другом. Но их смесь невозможна.

В цивилизованных странах – в Японии, США, да и в Европе – национальный валовой продукт рождается не в рыночных условиях.



В структуре ВВП в денежном отношении крупные корпорации занимают примерно 50 %. Остальное – море мелких и средних фирм, которые и образуют рынок. Эти компании в основном формируют сектор услуг. Но если посмотреть на вещественный валовой продукт – 90% создают крупные корпорации.

Отечественная же промышленность как была, так и осталась отраслевой. Мало того – отраслевое разделение даже углубилось. Сегодня политика правительства – образование холдингов. Но ведь в основу холдингов закладываются отраслевые структуры: радисты сидят с радистами, авиационщики – с авиационщиками и т.д.

Чтобы проиллюстрировать различие между отраслевой и корпоративной структурой промышленности, приведу простой пример. Когда фирма Hughes проектировала ракету AMRAAM, получив контракт на разработку в 1 млрд. долл. от правительства США, то ее собственные затраты составили 95%. То есть она только 5% ресурсов привлекла со стороны. И поэтому рынок ей не нужен. Когда же наша корпорация МАК "Вымпел" разрабатывала функционально аналогичную ракету, для которой мы создавали активную головку наведения, то собственные затраты "Вымпела" составили лишь 18%. Остальное привлекалось из отраслей. Этим принципиально и отличается отраслевая структура от диверсифицированной. Корпорации сами достаточно мощны, чтобы определять рыночную политику.

Наша страна имела возможность создать диверсифицированные корпорации. Можно было, например, военно-промышленную комиссию (ВПК) объявить транснациональной корпорацией, которой она по сути и была. И дать ей все права и возможности зарубежной корпорации. И таких корпораций нужно было образовать 5–10. Но подобная задача под силу лишь государству. Думать же о том, что рынок может сам, эволюционным путем в кратчайшие сроки создать корпорации – глупость. На это уйдет лет 100.

"Исток" же строился как головное предприятие СВЧ-техники и был настолько сильно развит, что в структуре даже для такой мощной корпорации, как Raytheon, он был бы слишком мощным. Вот в отрасли, в структуре ВПК он был на месте. И если бы ВПК сразу превратили в диверсифицированную корпорацию, сохранили бы 4 млн. рабочих мест, а не вышвырнули бы столько самых высококвалифицированных специалистов на улицу. Тогда была бы диверсификация и можно было бы заниматься гражданской продукцией.

Вспомните – в 1991 году в стране прекратили выпуск 30 млрд. электронных компонентов. Резко – с 12 млн. до 100–200 тыс. в год – сократился выпуск телевизоров, остановились колоссальные конвейеры. Нужно было запускать на них производство персональных компьютеров (ПК), ведь в стране производилось 90% необходимых для этого электронных компонентов. Вместо этого ПК стали закупать в Китае, фактически финансируя там развитие их производства. А ведь тогда в области электроники Китай не имел ничего, мы же занимали третье место в мире по объему производства электронных компонентов, после США и Японии. Другие страны, в том числе европейские, от нас серьезно отставали по всем видам электронных компонентов. Это наша страна должна была экспортировать компьютеры в Малайзию и Китай. Вместо чего за первые пять лет было закуплено ПК на 7 млрд. долл., причем с процессорами Intel 286 и 386. Через три года большинство из этих машин оставалось только выбросить. А ведь в свое время электронная промышленность просила немногим более 1 млрд. долл., чтобы организовать самое большое в мире производство компьютеров.

То же самое с сотовыми телефонами. Ведь если бы сохранился СССР, ВПК через 5 лет обязательно построила бы систему сотовой

связи. И были бы отечественные мобильные телефоны, не уступающие зарубежным. Но со сдвигом по времени. А еще через пять лет все стало бы на свои места.

Отечественную электронику всегда ругали за низкое качество. И на этом основании создали миф, что в стране нет современной электроники – это в стране, которая занимала третье место в мире по объему выпуска электронных компонентов (а по соотношению цена/качество – по крайней мере второе). Мы отставали ровно на поколение от зарубежной бытовой техники. И это считалось нормальным. Более того, наша бытовая электроника экспортировалась. Скажем, в 1992 году в Турцию вывезли около 1 млн. телевизоров.

А сейчас – как возможно конкурировать, когда многие производства разрушены и рынок занят? Нужно иметь либо государственный протекционизм, либо корпоративную структуру. Мы готовы участвовать в любой программе по гражданской теме. Тогда снялись бы, в частности, все вопросы по производству GaAs-пластин. Но кто возьмет на себя проведение такой программы? Сегодня мы производим не только компоненты, но и аппаратуру, в частности головки самонаведения. Но гражданская аппаратура – совсем другое дело. Это автоматические цеха с многомиллионным выпуском. Для подобного производства нужен огромный рынок, иначе оно нерентабельно. И огромные инвестиции. Любая корпорация начинает с формирования рынка. В России он занят, и конкурировать с зарубежными диверсифицированными корпорациями некому.

Видите ли вы светлую перспективу у отечественной СВЧ-электронки?

У нас она всегда светлая. Мы абсолютно четко видим перспективы и направления развития вакуумных приборов. Правда, их производство нужно реконструировать, очень сильно устарело оборудование. Но разработок у нас много, заказов хватает с избытком, в том числе – экспортных. В твердотельной электронике также перспективы ясны. У нас неплохой теоретический центр, способный конкурировать с любым зарубежным дизайн-центром. А с вводом линии можем стать очень хорошей GaAs-фабрикой.

Это значит, что изначально вы ориентируетесь на привлечение сторонних разработок и заказов на производство?

Изначально – нет. Но УРЭП и СУ настойчиво предлагает работать со сторонними заказами. Мы не против, но тогда производительность линии надо будет увеличить, поскольку ее проектные мощности мы планируем полностью загрузить своими разработками.

На какие средства вы планируете реконструировать вакуумное производство?

Без государственных инвестиций здесь не обойтись. А частных инвестиций ждать не приходится – слишком длителен срок возврата кредитов. Даже при полной загрузке производства. Правда, если будут заказы для пятого поколения систем вооружений на АФАР, цикл возврата средств будет существенно короче.

А наши собственные средства – как ни строим мы отношения с МО, а все заказчики постоянно должны "Истoku". Мы не можем остановить отгрузку продукции, а деньги за нее зачастую не получаем по полгода. Это срывает технологический ритм производства со всеми вытекающими последствиями: ростом стоимости, снижением качественных показателей продукции и др. Государственные же НИОКР составляют единицы процентов в нашем бюджете.

Успешной вам работы.

С.С.И.Ревровым беседовали И.Г.Титова и И.В.Шахнович