В.В. Попов
ОАО «Светлана»

Об истоках, результатах и перспективах развития электроники на «Светлане»

В статье отражены результаты становления и развития электроники в ОАО «Светлана». Рассмотрены история развития, современное состояние и перспективы каждого из научно-технических направлений многопрофильной тематики ОАО: генераторных и модуляторных ЭВП, полупроводниковых приборов, микросхем, СВЧ-приборов и др.

Ключевые слова: ОВЛ, ЭВП, полупроводниковые приборы, микроэлектроника, СВЧ-приборы, рентгеновские трубки, МИС, ГИС.

В.В.Попов – генеральный директор ОАО «Светлана»

История развития ОАО «Светлана» неразрывно связана с развитием электроники в России.

В 1928 году завод по выпуску электроламп «Светлана» был объединен с Ленинградским электровакуумным заводом и получил название Электровакуумный завод «Светлана». С 1928 года на «Светлане» начался серийный выпуск радиоламп. Предприятие становится основным научно-техническим центром советской электроники.

Для решения поставленных перед объединенным заводом крупномасштабных задач по разработке и производству широкой номенклатуры электровакуумных приборов (ЭВП), включая приемно-усилительные, генераторные и модуляторные лампы, рентгеновские трубки, фотоэлементы, ртутные выпрямители, газотроны, осциллографические трубки и другие приборы, руководство «Светланы» сразу взяло курс на создание и обеспечение эффективной работы собственного научно-технического подразделения, ориентированного на тесную связь исследований и актуальных задач производства.

Для решения этих задач на «Светлане» в 1928 г. была создана заводская лаборатория и введена должность заместителя технического директора по науке, которую доверили одному из ведущих петербургских специалистов в области электроники С.А. Векшинскому.

Следует отметить исключительно важную роль С.А. Векшинского в организации на «Светлане» первого в стране крупного научно-технического центра развития электровакуумной электроники на основе созданной в 1934 г. Отраслевой вакуумной лаборатории (ОВЛ).

Целью С.А. Векшинского являлась организация исследовательских работ на высоком научном уровне с использованием достижений и методов фундаментальных наук и внедрение их результатов в серийное производство. К работе были привлечены ведущие петербургские ученые и инженеры.

ОВЛ представляла собой крупный научно-исследовательский центр, в котором были сосредоточены практически все работы, связанные с разработкой, изучением вопросов применения и эксплуатации ЭВП. По своему профилю, квалификации кадров, объему и характеру работ ОВЛ практически выполняла функции центрального научно-исследовательского института.

Уже в первые годы научно-производственной деятельности в ОВЛ был решен ряд крупных общеотраслевых научно-технических проблем в области электровакуумной электроники (разработка отечественных бариевых катодов; широкомасштабные исследования качества исходных материалов для ЭВП; разработка технологии нанесения тонких пленок сложного состава; исследование фотоэлектрических свойств пленок; изучение закономерностей кристаллизации в тонких слоях материалов и др.).

Всего за период с 1934 по 1941 гг. в ОВЛ было разработано и освоено в производстве около 400 типов ЭВП различных классов, в том числе генераторные лампы повышенной мощности (до 250 кВт) для обеспечения бурно развивающейся в стране радиосвязи.

Эффективная деятельность ОВЛ привела к тому, что к началу Великой Отечественной войны в СССР были созданы предпосылки для самостоятельной творческой научно-исследовательской работы в каждой из отраслей электровакуумной техники, так как в каждой отрасли имелись ведущие специалисты и подготовленные молодые высококвалифицированные кадры. Впоследствии это было подтверждено быстрой организацией и эффективной работой ряда НИИ и заводов: в Ленинграде, Москве, Фрязино (Московская обл.), Новосибирске, Рязани и других городах.

В 1948 году на базе ОВЛ было образовано Особое конструкторское бюро № 211 (ОКБ-211) с целью разработки следующих групп ЭВП:

- приемно-усилительных ламп (ПУЛ);
- генераторных ламп средней мощности (СГЛ);
- мощных генераторных ламп (МГЛ);
- импульсных модуляторных ламп (ИМЛ);
- газоразрядных приборов (ГрП);
- рентгеновских приборов (РП);
- СВЧ-приборов (отражательных клистронов и разрядников).

ОКБ-211 завода «Светлана» явилось достойным преемником концепций и традиций ОВЛ и в короткий срок стало многопрофильным лидером отечественной электровакуумной электроники.

Два знаковых события в научно-технической деятельности завода «Светлана» произошли в послевоенный период:

- в 1952 г. – перепрофилирование машиностроительного завода им. Ф.Энгельса на разработку и производство СВЧ-приборов (в связи с бурным развитием радиолокации) и впоследствии включение его в состав объединения «Светлана»;
- в 1956 г. – в ОКБ-211 организовано подразделение по разработке твердотельных приборов – транзисторов, впоследствии преобразованное в самостоятельное КБ – Специальное конструкторско-технологическое бюро полупроводниковых приборов (СКТБ ПП).

Конечными целями фирмы «Светлана» в любой период ее деятельности являются рентабельный выпуск из серийного производства конкурентоспособной, востребованной на рынке электронной продукции и обеспечение высоких темпов роста технико-экономических показателей фирмы. Для достижения этих целей «Светлана» уделяет большое внимание разработке и внедрению инновационных структур и механизмов управления наукой и

производством с учетом всех экономических, социальных и политических особенностей текущего исторического периода.

Перманентное совершенствование организационной структуры управления наукой и производством позволяет «Светлане» сохранять многопрофильность своей тематики и высокий индекс научно-технического развития.

Рассмотрим основные результаты развития приборной тематики на «Светлане».

Генераторные и модуляторные ЭВП (МГЛ и ИМЛ)

К концу XX в. Были созданы новые классы модуляторных и генераторных ЭВП различного уровня мощности:

- «левые» тетроды, специально предназначенные для линейного усиления однополосных сигналов (на частотах до 250 МГц);

- «левые» тетроды, с минимальным уровнем остаточного напряжения анода ($U_{ост\ а}$ = 0,5÷0,7$E_{c\ 2}$) для выходных каскадов широкополосных радиопередающих устройств (РПУ), построенных по принципу УРУ (усилителей распределенного усиления) на частотах до 60 МГц;

- мощные и сверхмощные (до 2 МВт) генераторные лампы, в том числе с предельным уровнем удельных нагрузок на сеточных электродах (до 20 Вт/см^2);

- импульсные МГЛ, с высокой электропрочностью и долговечностью, специально предназначенные для работы в РЛС и РЛК (триоды с защитной сеткой);

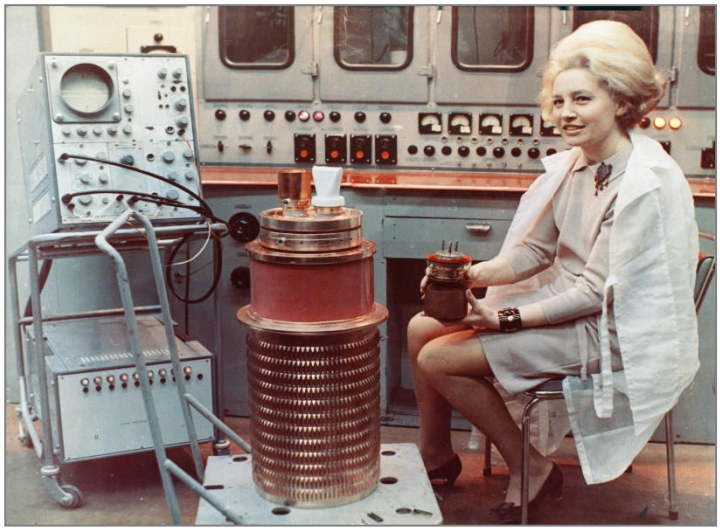

Рисунок 2. Генераторный тетрод для радиовещания с рекордным уровнем выходной мощности (2МВт)

- комплексированные усилительные широкополосные устройства и приборы (эндотроны и IOT-приборы) для РЛС и телевизионных РПУ с $f_{пред}$ до 1000 МГц и относительной полосой рабочих частот до 20%.

В процессе реализации этой комплексной программы развития МГЛ специалистами «Светланы» совместно с учеными ряда вузов СПб был решен ряд сложных научно-технических проблем. Так, например, уровень нелинейных искажений, вносимых генераторными лампами в РПУ, был снижен с 5-8 % до 0,5-1 %, уровень входной мощности в КВ-диапазоне увеличен с 300…500 до 2000 кВт. Эти радикальные улучшения важнейших параметров МГЛ позволили существенно повысить технический уровень радиоэлектронной аппаратуры различного назначения и выполнить ряд международных требований и регламентов эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

По техническому уровню приборы всех вышеуказанных классов соответствуют уровню ведущих зарубежных фирм («Siemens», «Varian», «RCA» и др.), а по отдельным классам (МГЛ для УРУ, IOT-приборы) превышают достигнутый за рубежом уровень.

В настоящее время их разработки и производство сосредоточены в дочернем предприятии холдинга «Светлана» – ЗАО «С.Е.Д-СПб».

Выпускаемые из производства ЗАО «С.Е.Д-СПб» генераторные ЭВП перекрывают диапазон выходной мощности – от сотен Вт до 2 МВт (в непрерывном режиме) и до 5 МВт (в импульсном режиме); предельные рабочие частоты приборов достигают 1 ГГц.

Модуляторные ЭВП характеризуются значениями постоянного анодного напряжения до 30 кВ, импульса анодного тока до 55А, высокой электропрочностью и стойкостью к электромагнитному импульсу. При этом срок сохраняемости приборов составляет от 8 до 15 лет, а гарантийная наработка от 3000 до 10000 часов

Основные области применения ЭВП МГП:

- радиовещание;
- радиолокация;
- радиосвязь;
- радиопротиводействие;
- промышленная электроника;
- мощная аппаратура для физических исследований (ускорители элементарных частиц и др.) и исследований по созданию средств генерирования высоких плотностей энергии.

Всего за период 1950÷2013 гг. было разработано порядка 200 типов МГП, из которых значительное число передано для производства в ОАО «Контакт» (г. Саратов). Из производства ЗАО «С.Е.Д-СПб» в настоящее время выпускается более 50типов приборов.

С целью решения задачи перехода радиовещательной сети страны (около 500 центров) на более экономичное (менее энергоемкое) оборудование были разработаны сверхмощные МГЛ ГУ94А и ГУ104А. Аппаратура на этих лампах обеспечивает снижение потребления электроэнергии в 2 раза.

ЗАО «С.Е.Д.–СПб» выпускает из серийного производства 15 типов МГЛ в обеспечение 22-х типов связных РПУ и систем РЭБ в интересах Минсвязи, МО, ФСБ и других потребителей, в т.ч. таких важнейших РПУ, как «Буран», «Пламя», «Океан», «Сердолик-ПРД-20», «Бриолит ШПМ», «Полюс-5» и др. Особо следует отметить комплексы «Сердолик» и «Бриолит», которые используются в магистральных и адаптивных линиях специальной радиосвязи в полосе частот более октавы с высокой стабильностью частоты. В этой аппаратуре применяются МГЛ ГУ103Б, ГУ138А, ГУ138Б, не имеющие зарубежных аналогов. По мощности, выпускаемые МГЛ вышеуказанного назначения перекрывают диапазон от 1 до 600 кВт, по частоте – от единиц до 300 МГц, в большинстве случаев они используются на частотах до 30 МГц, т.е. в КВ диапазоне. Значительный удельный вес этого номенклатурного ряда приходится на приборы, работающие в режимах линейного усиления мощности, обеспечивающих передачу однополосных сигналов с минимальным уровнем нелинейных искажений (минус 30-40 дБ), в связных передатчиках широкого применения («Бриг», «Корвет») и спецназначения («Позитрон», «Ядро», Р-161, Р-631 и др.).

Актуальные разработки МГП

В период 2013-2014 г.г. в рамках ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011 - 2020 годы» проводится ОКР по разработке мощного (Рвых в квазинепрерывном режиме порядка 75 кВт на частотах до 200 МГц) тетрода для модернизации существующих и в обеспечение разрабатываемых РЛС дальнего обнаружения (потребитель: ОАО «НПК НИИДАР»), шифр «Вакуум-30».

В сравнении с косвенным аналогом ГУ36Б-1 в разрабатываемом тетроде обеспечивается более эффективное охлаждение анода (в 1,7 раз) и повышенный в 3,5 раза уровень выходной мощности при незначительном увеличении габаритных размеров прибора.

В 2013 г. предприятием завершена ОКР (с поставкой образцов) по разработке сверхмощного генераторного прибора по заявке «Объединенного Института высоких температур» РАН – ведущего НЦ страны в области энергетики и теплофизики экстремальных состояний (шифр «Кансай»).

Специалистами ЗАО «С.Е.Д.–СПб» разработан генераторный триод ячейковой конструкции (автогенератор), который в короткоимпульсном режиме обеспечивает выходную мощность 5 МВт на частотах в диапазоне 300÷350 МГц. Два автогенератора «Кансай» при сложении мощностей в нагрузке у потребителя обеспечивают интегрированную мощность 10 МВт. При этом решается задача обеспечения исследований, проводимых ОИВТ в области теплофизики импульсных воздействий на различные вещества, материалы, конструкции, а также по разработке методов и средств генерирования энергий высоких плотностей.

ЗАО «С.Е.Д.–СПб» полностью обеспечивает выполнение Гособоронзаказа, как по заявляемой МО номенклатуре, так и по требуемым срокам поставок.

Рентгеновские трубки

Развитие этого направления началось в Санкт-Петербурге с 1913 г. и на «Светлане» - с 1928 года и обеспечивает ряд важнейших отраслей страны (медицина, металлургическая, горнодобывающие и др. отрасли промышленности, научные исследования, досмотровая техника и системы безопасности).

ОАО «Светлана» по праву считается одним из мировых лидеров по этому направлению техники, что подтверждается устойчивым экспортом продукции ЗАО «Светлана-Рентген» в 30 стран мира, включая США, Бразилию, Китай, Германию и др. страны, а также ежегодным подтверждением соответствия этой продукции требованиям ISO 9001. Более 50% общего выпуска рентгеновских трубок поставляется на экспорт.

К настоящему времени силами специалистов ОАО «Светлана» решен ряд сложных научно-технических проблем при создании:

- серии рентгеновских трубок (РТ) с вращающимся анодом для медицинской диагностики;
- двухлучевых РТ для систем безопасности повышенной эффективности досмотра;
- специальных РТ медицинского применения (дентальных, для внутриполостной послеоперационной терапии и др.)

В обеспечение малогабаритных (в том числе переносных) рентгеновских аппаратов для решения задач безопасности и противодействия терроризму нами разрабатывается ряд специализированных рентгеновских трубок, в том числе трубок со щелевым выходом излучения и высокой стабильностью параметров по квантовому выходу. Особенностью этой новой рентгеновской аппаратуры является использование обратно рассеянного рентгеновского излучения, что позволяет реализовать режимы контроля с односторонним доступом к объекту и дают малую дозовую нагрузку на досматриваемый объект (0,05мкЗв и менее за цикл контроля).
ОАО «Светлана» в кооперации с компанией ООО «Флэш электроникс» были проведены теоретические и экспериментальные исследования характеристик контроля, в том числе

максимальной глубины и чувствительности, которые дает метод регистрации обратно рассеянного рентгеновского излучения в зависимости от условий контроля (материал объекта, энергия квантов рабочего пучка, эффективность детектора обратно рассеянного излучения). Были определены оптимальные условия для визуализации типовых объектов в многослойных конструкциях.

На основе результатов проведенных исследований была проведена разработка оборудования нового класса, позволяющего получать рентгеновские изображения с односторонним доступом к поверхности обследуемого объекта. Начиная с 2001г., в ООО «Флэш электроникс» был освоен серийный выпуск ряда комплексов разного назначения и исполнения – портативных переносных, мобильных, стационарных.

Рисунок 3.Рентгеновские трубки производства

Для досмотра припаркованных и движущихся транспортных средств с целью обнаружения оружия и взрывчатых веществ, а также для персонального дистанционного досмотра с целью обнаружения оружия и средств связи в местах проведения массовых мероприятий в период 2011-2013гг. в рамках ФЦП «Развитие ЭКБ и радиоэлектроники на 2008÷2015гг.», ОАО «Светлана» совместно с ООО «Флэш электроникс» разработан **мобильный досмотровый комплекс «МРК-1»**. Комплекс размещен в герметичном кузове, обеспечивающем защиту от внешних атмосферных и физических воздействий на автомобильном шасси и оформлен в виде стандартного автофургона. Рабочее место оператора расположено в кабине водителя и имеет пульт управления, а также компьютер для просмотра получаемых рентгеновских изображений в режиме реального времени.

Рентгеновский комплекс «МРК-1». Внешний вид

При досмотре транспортных средств, комплекс обеспечивает получение рентгеновских изображений с разрешением от 5 до 20 мм, в зависимости от скорости передвижения

комплекса: от 2 до 10 км/ч соответственно. Комплекс обеспечивает обнаружение оружия и средств связи, скрытых под одеждой человека, с расстояния до 4 м. Индивидуальная доза облучения объекта досмотра составляет не более 0,13 мкЗв за одно сканирование. Мощность дозы излучения вне рабочего пучка излучения не превышает 1 мкЗв/ч, поэтому комплекс не требует выделенной зоны для проведения досмотра и может использоваться при проведении оперативных мероприятий в городских условиях. Комплекс также может использоваться в стационарном варианте для осуществления контроля на пунктах пропуска.

Изображения, полученные с помощью рентгеновского комплекса «МРК-1».

Комплекс «МРК-1» был использован во время проведения XXII зимних Олимпийских игр. В период с 28 января по 23 февраля 2014 г. он эксплуатировался в морском порту г. Сочи в круглосуточном режиме. Было произведено более 200 досмотров транспортных средств различного типа – грузовых автомобилей, автомобилей типа минивэн, других коммерческих и легковых автомобилей.

Комплекс показал высокую эффективность при контроле их внутреннего содержимого. Сотрудниками службы транспортной безопасности были отмечены его следующие

положительные черты:

- простота и удобство использования, что позволило освоить работу с ним в кратчайшие сроки;
- быстрота подготовки к работе, что обеспечило высокую оперативность досмотра транспортных средств;
- надежность, за все время эксплуатации сбоев и отказов в работе комплекса не было;
- устойчивость к внешним воздействиям.

К месту проведения испытаний комплекс прибыл своим ходом, преодолев расстояние 1700км. Температура окружающего воздуха в пути изменялась от -25°С до +10°С (Краснодарский край). После транспортировки, комплекс был полностью готов к эксплуатации, не требуя проведения каких-либо регламентных и/или ремонтных работ.

Было особо отмечено, что использование комплекса не требует специальных технических и организационных мероприятий по организации зоны безопасности.

По результатам эксплуатации, рентгеновский комплекс «МРК-1» был рекомендован для оснащения пунктов досмотра автотранспортных средств на объектах транспортной инфраструктуры.

В интересах МО РФ, ФСО РФ, ФСБ РФ, ФТС РФ и других потребителей к настоящему времени осуществлена поставка более 700 изделий вышеуказанных рентгеновских досмотровых устройств, разработанных и выпускаемых из производства ООО «Флэш электроникс» и ОАО «Светлана».

Дискретные полупроводниковые приборы и микросхемы

В мировой электронной технике на смену приемно-усилительных ламп в середине 50-х годов стали приходить полупроводниковые приборы.

Решением советского правительства был образован в 1953 году НИИ-35 (в настоящее время ОАО «НПП Пульсар»), основным направлением деятельности которого стала разработка транзисторов и диодов. Естественно встал вопрос об организации серийного производства разрабатываемых изделий. Выбор пал на «Светлану». По-видимому, главными причинами выбора стали: предыдущее развитие ряда поколений электровакуумных приборов, формирования научно-технических и производственных кадров и развитая инфраструктура производства.

За прошедшие 55 лет со времени организации первого производственного цеха «Светлана» разрабатывала и производила полупроводниковые приборы в следующих классах: биполярные маломощные высокочастотные транзисторы, цифровые интегральные биполярные схемы ТТЛШ и ЭСЛ типов, КМОП интегральные схемы коммутаторов и аналоговых ключей и, наконец, микропроцессоры и микроконтроллеры, в том числе однокристальные на больших интегральных схемах по КМОП технологии.

Транзисторы

Первое поколение транзисторов – сплавные германиевые маломощные приборы с предельной частотой $f_т$ до 20 МГц (П407). Всего за период с 1956 до 1964 года разработано и освоено в производстве более 15 типов транзисторов, в том числе, низкошумящие (П27-П28), особо ударопрочные (П25-П26), высокочастотные (П12, П406, П407), а также

специализированные высоконадежные (шифры «Лиман»и «Енисей»), за разработку и организацию производства которых была присуждена Государственная премия СССР Боровскому А.И., бывшему в то время начальником опытного участка выпуска высоконадежных приборов.

Второе поколение транзисторов – кремниевые диффузионные транзисторы по планарной технологии.

За период с 1965 по 1974 год было разработано более 20 типов, которые формируются в 2 класса: усилительные и переключающие. Максимальные результаты в классе усилительных достигнуты в транзисторе КТ3101: предельная частота усиления по току $f_т$=5 ГГц, коэффициент шума $К_ш$=3,5 дБ на частоте $f_{раб}$=2,25 ГГц и коэффициент усиления $К_у$=10 дБ на частоте $f_{раб}$=2,25 ГГц. Широкое применение этот транзистор (выпущено более 300 тысяч штук) нашел в антенных усилителях как общегражданского, так и специального применения.

Ряд типов транзисторов, разработанных ранее чем КТ3101, квалифицируются как низкошумящие ($К_ш$=2-3 дБ) и работают в различных диапазонах частот (КТ368, КТ3168, КТ399, КТ382, КТ3106). Оригинальной была разработка транзистора (КТ371) с малой выходной емкостью. Он нашел широкое применение в системах связи. Уровень разработок «Светланы» практически совпадал с работами, проводимыми в НИИ-35, творческие контакты с разработчиками института существенно помогали работам светлановцев.

В части разработок переключающих транзисторов за аналогичный период также был достигнут значительный прогресс. Параметры транзисторов КТ(2Т)306, КТ(2Т)307, КТ316, КТ325, КТ325, КТ355 показывают степень совершенствования изделий. Основной параметр переключения – постоянная цепи конденсатора $r_б C_к$ – снижена с 500 нс для первых типов до 60 нс для КТ355. Объём выпуска только бескорпусного транзистора 2Т307 составлял до 1 млн. шт. в год. В настоящее время предприятием выпускается более 20 типов кремниевых транзисторов, в т.ч. биполярных планарно-эпитаксиальных n-p-n транзисторов; бескорпусных планарно-эпитаксиальных пар n-p-n транзисторов; электрически изолированных друг от друга и др.

Цифровые биполярные интегральные схемы

Опыт разработки транзисторов позволил достаточно быстро перейти к созданию интегральных схем. Такие работы начались на «Светлане» в начале семидесятых годов, при этом пришлось практически прекратить дальнейшие разработки транзисторов.

Более того, курс Министерства электронной промышленности СССР был направлен на воспроизведение иностранных аналогов микросхем, поэтому усилия разработчиков сосредоточивались только на выполнении заданий министерства. Работая в тесном контакте с НИИМЭ (г. Зеленоград) и используя положительный опыт работы по транзисторам с НИИ-35, специалисты «Светланы» создали более 30 типов интегральных схем серий 533 и 555 (технология ТТЛШ) – аналоги знаменитой американской серии SN54(74)S, а также более 30 типов быстродействующих интегральных схем серий 100, 500, 700 (схемотехника ЭСЛ) – аналоги серии MECL10000 (фирма «Моторола», США). Кроме того, были созданы ИС серии 553 в качестве интерфейсных схем.

Задания были выполнены, серии созданы, аналоги воспроизведены, но настоящий творческий успех ждал светлановских разработчиков и производственников в работе над инициативно выбранным направлениями: КМОП коммутаторы и аналоговые ключи, и микропроцессорные приборы.

КМОП интегральные схемы коммутаторов и аналоговых ключей

Это направление работ явилось весьма перспективным, т.к. коммутация используется при большинстве преобразователей электромагнитных сигналов.

Разнообразие типов коммутаторов серий 190, 590 и 591 по характеристикам: число каналов, сопротивление открытого канала, быстродействие, номинал переключаемого напряжения позволили предоставить потребителям широкий выбор электронных средств коммутации.

Применение современной КМОП технологии обеспечило высокий технический уровень производства.

Венец работ по этому классу – серия 1127, обеспечивающая высокую радиационную стойкость и применяемая в большинстве находящихся на боевом дежурстве оборонных противоракетных систем и космических аппаратов.

В статье подробно обсуждается ход и перспектива использования результатов работ, проводимых в ОАО «Светлана» по радикальному (в 1000 раз) повышению радиационной стойкости приборов этого класса.

Одной из важнейших задач, поставленных перед нами радиоэлектронной отраслью, и, в первую очередь, разработчиками космической техники, является повышение радиационной стойкости выпускаемых нами линейных и интерфейсных кремниевых КМОП микросхем.

В результате комплексных исследований на «Светлане» завершается разработка базового технологического процесса, предусматривающего формирование радиационно стойкого подзатворного диэлектрика и других конструкторско-технологических решений, которые обеспечивают указанное повышение параметры радиационной стойкости микросхем.

На основе этой базовой технологии разрабатывается уже частично освоена в серийном производстве серия микросхем с повышенной радиационной стойкостью, что позволило обеспечить необходимой элементной базой отечественного производства космическую аппаратуру с длительными сроками эксплуатации (15÷20) (систем «Глонасс», «Экспресс» и др.), а также ракетную технику стратегического назначения «Тополь-М», «Булава» и др. При этом значительно повышены не только технические параметры по радиационной стойкости, но также долговечность и надежность этой важнейшей аппаратуры.

Микропроцессоры и микроконтроллеры.

Второй пример творческого и оригинального подхода разработчиков фирмы – разработка микропроцессоров и микроЭВМ семейства «Электроника С5».

Микропроцессоры этой серии (первоначально в технологическом исполнении Р-МОП) были созданы в 1974 году, а вслед за этим в 1975 году была создана первая с Советском Союзе микроЭВМ на больших интегральных схемах.

В последующие годы был разработан ряд БИС, на основе которых созданы одноплатные микроЭВМ С5-11, С5-12, С5-21, С5-22 и как венец этой серии – однокристальная 16 разрядная микроЭВМ С5-31, параметры которой не уступали созданной в этот же период (1978 г.) американской микроЭВМ 9940 фирмы Texas Instruments. За работы по созданию серий БИС для ЭВМ был удостоен Государственной премии СССР светлановец В.И. Селиванов (в то время – главный инженер ЛКТБ).

Одной из последних разработок этого направления была микросхема Л1875ВЕ1 – 16 разрядный контроллер, изготовленный по КМОП технологии. Она применяется в случаях, когда технологическая независимость (оборонные проекты) и для реализации структур и функций, определяемых российскими заказчиками.

Конечно, «удар девяностых» годов по промышленности России не мог не сказаться в том числе на полупроводниковом научно-производственном секторе «Светланы».

Существующее в настоящее время в составе СКТБ ЗАО «Светлана-Полупроводники» отделение по разработке СБИС выполняет функции дизайн-центра по проектированию микросхем следующих типов:

- микропроцессорные СБИС;
- микроконтроллеры;
- контроллеры каналов передачи данных;
- контроллеры для цифровых сетей передачи данных;
- СФ-блоки для СнК.

Проектирование производится с использованием современных средств САПР и использованием правил проектирования и библиотек стандартных элементов, предоставляемых фабриками, изготавливающими пластины, - таких как ОАО «НИИМЭ и Микрон», ОАО «Ангстрем», НИИ СИ РАН, ОАО «Интеграл» (г.Минск, Республика Беларусь).

В последние годы разработаны и освоены в производстве: комплекты микросхем для цифровых систем передачи данных, микросхема адаптера цифровых каналов ввода/вывода информации, микросхема контроллера – функционального аналога микросхемы 80386 EX, микросхемы драйверов для управления дискретными СВЧ элементами модулей АФАР.

Основные перспективы полупроводниковой тематики «Светлана» в настоящее время связывает с развитием полупроводниковых СВЧ приборов различных классов на основе широкозонных материалов А3В5.

СВЧ приборы

СВЧ-приборы с рабочими частотами от одного до десятков гигагерц являются одним из основных научно-технических направлений в ОАО «Светлана».

Достаточно быстро (с конца 1940-х до 1970-х гг.) на «Светлане» сформировалась школа по проектированию и разработке СВЧ-приборов различных классов, при этом на долговременной основе в этих работах стали участвовать специалисты ЛПИ, ЛЭТИ (в первую очередь кафедры Радиотехнической электроники), ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ОАО «НПП «Исток» им. Шокина» и др.

Основные направления работ по СВЧ-приборам в ЗАО «Светлана-Электронприбор» в настоящее время:

- твердотельные генераторы малой и средней мощности в диапазоне частот от 2,5 до 40 ГГц и комплексированные устройства на их основе;
- усилители средней мощности на пролетных клистронах и комплексированные устройства на их основе;
- гибридно-интегральные диодные управляющие устройства СВЧ (фазовращатели, ключи и переключатели);

- защитные устройства и комплексированные устройства на их основе;
- гибридные, монолитные и гибридно-монолитные комплексированные устройства СВЧ;
- СВЧ-транзисторы на основе нитрид-галлиевых наногетероструктур и комплексированные устройства на их основе.

В целом по всем классам электровакуумных, газонаполненных, кремниевых и арсенид-галлиевых СВЧ-приборов, а также по комплексированным устройствам на их основе, обеспечивается технический уровень параметров, соответствующий зарубежному техническому уровню («Tyc El», США; «Rhaton», США; «Varian», США и др.).

Разработанные и выпускаемые ОАО «Светлана» СВЧ-изделия используются более чем в 60-ти системах и устройствах важнейшего применения: «Тор», «Муссон», «Буран», «Бук-3М», «Тополь-М», «Панцирь С1», СУ-25, СУ-27, СУ-34, С-300, «Шилка» и другие.

Особое внимание уделяется в настоящее время развитию перспективных направлений:

- однофункциональных и многофункциональных комплексированных устройств СВЧ (КУ СВЧ) типа «система в корпусе»;
- СВЧ-транзисторов на основе нитрид-галлиевых наногетероструктур и КУ на их основе.

Применение КУ СВЧ в аппаратуре позволяет существенно улучшить ряд еепараметров и характеристик (увеличить полосу частот, уменьшить массо-габаритные параметры, уменьшить уровень шумов, повысить надежность и др.).

В качестве характерных примеров КУ СВЧ, разрабатываемых и выпускаемых «Светланой», можно привести следующие:

– малошумящие усилители (МШУ) с защитой по входу на разные уровни падающей мощности, при этом в зависимости от уровня защиты защитные элементы могут быть или полупроводниковыми, или газонаполненными;

– клистроны с выходной импульсной мощностью до 100 кВт с твердотельным усилителем на входе или клистроны с синтезатором частоты на входе, например, для нижней части см-диапазона (до 6 ГГц);

– полуактивные приемо-передающие модули (ППМ) с высоким уровнем импульсной и средней мощности (режимы с малой скважностью) здесь реализуется преимущество «Светланы» по сравнению с конкурентами, т.к. она владеет технологией производства кремниевых p-i-n диодов с высоким пробивным напряжением (до 1,5 кВ).

При проектировании МШУ и КУ СВЧ на их основе имеют место две тенденции:

– переход от ГИС исполнения к МИС на отдельных кристаллах;
– упаковка чипов МИС в СВЧ корпуса типа СМД (для поверхостного монтажа).

Перспективными являются также работы по дальнейшему освоению миллиметрового диапазона, которые осуществляются в двух основных направлениях:

– продвижение по шкале рабочих частот (более 47 ГГц);
– создание сверхширокополосных защитных устройств.

В частности, к настоящему времени в восьмимиллиметровом диапазоне достигнуты следующие характеристики высокочастотых генераторов: долговременная стабильность частоты (уход частоты не более $2*10^{-4}$), уровень частотных шумов (не более -10^{5} дБ/Гц при отстройке 10 кГц от несущей.

Переход СВЧ ЭКБ на новые материалы, в первую очередь на нитрид-галлиевые гетероструктуры, – знаковое событие в развитии этой тематики, так как оно открывает новые горизонты совершенствования и создания новых видов радиолокационной, связной и телекоммуникационной аппаратуры.

В первую очередь на таких гетероструктурах осуществляется разработка мощных транзисторов и микросхем СВЧ-диапазона.

Выход на новые материалы необходим для повышения важнейших характеристик СВЧ-приборов: удельной мощности, рабочих частот, радиационной стойкости, рабочей температуры и др.

Отечественное ростовое оборудование для разработок и производства наногетероструктур ЗАО «Светлана-Рост»

При этом их характеристики не менее чем на 50 % определяются исходным полупроводниковым материалом. Следует учитывать, что на новые вышеупомянутые материалы и соответствующее оборудование существует эмбарго на закупки со стороны наиболее промышленно развитых стран мира.

Вложения в создание СВЧ-техники являются определяющими для обеспечения технологической и оборонной безопасности страны, и в этих вложениях не менее 25-30 % составляют работы по разработке технологии производства соответствующих материалов.

С этой целью в 2004г. было организовано предприятие ЗАО «Светлана-Рост», которое к настоящему времени стало одним из ведущих в отрасли по разработкам и производству приборных структур как на арсенидных, так и на нитридных материалах $A^{III}B^{V}$.

Существенной новизной при проведении в ОАО «Светлана» при участии ЗАО «Светлана-Рост» ОКР по разработке нитридгаллиевых транзисторов является использование в разработке стандартизованных гетероструктур AlGaN/GaN, обеспечивающих возможность моделирования характеристик создаваемой ЭКБ на основе набора параметров, определяемых с помощью методик приборного тестирования.

Одним из основных факторов, сдерживающих разработку в отрасли GaN транзисторов, с требуемыми комплексами параметров (в первую очередь в обеспечение новейших видов ВВСТ), является отсутствие промышленного выпуска отечественных полуизолирующих подложек SiC.

В период 2011÷2013гг. в ОАО «Светлана» разработана и внедрена в производство промышленная технология изготовления кристаллов карбида кремния и полуизолирующих подложек из них для СВЧ-приборов. Решена одна из важнейших задач по импортозамещению в СВЧ-подотрасли.

Более детально этот вопрос, а также современное состояние и перспективы развития СВЧ-приборов в ОАО «Светлана» отражены в докладе (и, соответственно – в публикации) директора ЗАО «Светлана-Электронприбор» к.ф.-м.н. Вьюгинова В.Н.

Перспективные планы развития «Светланы» предусматривают дальнейшее развитие рентгеновской техники (рентгеновских трубок новых классов и рентгеновской аппаратуры на их основе), СВЧ-приборов и устройств (в первую очередь многофункциональных комплексированных устройств для радиолокации, систем телекоммуникации и связи на основе нитрид-галлиевых гетероструктур), радиационно-стойких ключей и аналоговых мультиплексоров, медицинской техники различного направления.